

**ENERGY-
EFFICIENCY
IN CIVIL
ENGINEERING
AND
ARCHITECTURE**

SCIENTIFIC AND
TECHNICAL JOURNAL
ISSUE

9

Ministry of Education and Science of Ukraine
Kiev National University of Construction and Architecture

**ENERGY-EFFICIENCY
IN CIVIL ENGINEERING
AND ARCHITECTURE**

Scientific and technical journal

Issue No. 9

KYIV 2017

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет будівництва і архітектури

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ
В БУДІВНИЦТВІ
ТА АРХІТЕКТУРІ**

Науково-технічний збірник

Випуск № 9

КИЇВ 2017

Scientific and technical journal “Energy-efficiency in civil engineering and architecture”. Chief editor P. Kulikov. K. : KNUCA, 2017. Issue No. 9. 280 p.

ENG / Articles is devoted to the investigation of various aspects of the complex implementation of save-energy principles in the civil engineering and architectural objects. Collection is intended for researchers, designers, high school teachers, post-graduate students etc.

Науково-технічний збірник “Енергоефективність в будівництві та архітектурі”. Відповідальний редактор П. М. Куліков. К. : КНУБА, 2017. Випуск 9. 280 с.

UKR / В збірнику розміщено статті, присвячені різним аспектам комплексного впровадження принципів енергозощадження в об'єктах будівництва та архітектури. Збірник розрахований на працівників науково-дослідних і проектних організацій, викладачів, аспірантів та докторантів.

Научно-технический сборник “Энергоэффективность в строительстве и архитектуре”. Ответственный редактор П. М. Куликов. К. : КНУСА, 2017. Выпуск 9. 280 с.

RUS / В сборнике размещены статьи, посвященные различным аспектам комплексного внедрения принципов энергосбережения в объектах строительства и архитектуры. Сборник рассчитан на работников научно-исследовательских и проектных организаций, преподавателей, аспирантов и докторантов.

Editorial board:

P. Kulikov. (chief editor),
V. Ploskyi (deputy editor),
S. Kozhedub (managing editor),
V. Skochko (technical editor),
V. Bazhenov,
P. Glamazdin,
V. Dovgaliuk,
T. Kashchenko,
V. Korbut,
A. Kravchuk,
E. Malkin,
O. Panko,
O. Pidgornyi,
O. Pryimak,
V. Sednin,
O. Sergeychuk,
V. Sharapov,
O. Sleptsov,
G. Sobchuk,
V. Tovbych.

Редакційна колегія:

Куліков П. М. (відп. редактор),
Плоский В. О. (заступник відп. редактора),
Кожедуб С. А. (відп. секретар),
Скочко В. І. (технічний редактор),
Баженов В. А.,
Гламаздин П. М.,
Довгалоук В. Б.,
Кашченко Т. О.,
Корбут В. П.,
Кравчук А. М.,
Малкін Е. С.,
Панько О. М.,
Підгорний О. Л.,
Приймак О. В.,
Седнін В. О.,
Сергейчук О. В.,
Слепцов О. С.,
Собчук Г.,
Товбич В. В.,
Шарапов В. И.

Recommended for publication
by the Academic Council of Kyiv National
University of Construction and Architecture,
Protocol No. 53 of 31.03.2017

Рекомендовано до видання
вченою радою Київського національного
університету будівництва і архітектури,
протокол № 53 від 31.03.2017 року

Typeset editor: A. Heher
Cover design: O. Pronevych
Linguistic consultant: I. Ermakovych

Редактор набору: Гегер А. Д.
Дизайн обкладинки: Проневич О. В.
Лінгвістичний консультант: Єрмакович І. А.

Editorial Office address: off. 419, KNUCA, Povitroflotskyi ave., 31, Kyiv, Ukraine, 03037,
editorial phone: (044) 244-96-37

Адреса редакції: к. 419, КНУБА, Повітрофлотський проспект, 31, м. Київ, Україна, 03037,
телефон редакції: (044) 244-96-37

Scientific edition / Наукове фахове видання
ISSN 2310-0516

© Kyiv national university of construction and architecture
© Київський національний університет будівництва та архітектури

УДК 728.03

Аль-Ахмаді Саер Аднан*Аспірант кафедри архітектурних конструкцій НУ «Львівська політехніка», ORCID: 0000-0001-9778-3723**Приватне підприємство «Алекс-проект», Чернівці*

ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОМОДЕРНІЗАЦІЇ БУДІВЕЛЬ ІСТОРИЧНИХ АРЕАЛІВ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТИВ, ЗАНЕСЕНИХ ДО СПИСКУ ІСТОРИЧНИХ МІСТ УКРАЇНИ (на прикладі міста Чернівці)

***Анотація.** Одною з найбільш важливих проблем України на шляху енергоінтеграції є відсутність підходів та методів до енергетичної модернізації будівель історичної спадщини. Всі спроби вирішення проблеми носять локальний індивідуальний та несистемний характер. Аналіз існуючої ситуації дозволить наблизитися до комплексного розуміння та вирішення проблеми для всіх історичних міст ...*

***Ключові слова:** енергетична модернізація; комплексна програма; будівлі історичного ареалу; історична спадщина.*

Постановка проблеми

Однією з найбільш важливих проблем України на шляху енергоінтеграції є відсутність підходів та методів до енергетичної модернізації будівель історичної спадщини. Питання стосується не тільки пам'яток архітектури, містобудування історії та культури. Мова йде про всі будівлі розташовані в межах історичних ареалів населених міст, занесених до Списку історичних населених міст України.

Згідно закону України «про охорону культурної спадщини» історичний ареал – територія, яка повинна розглядатися як специфічний об'єкт містобудівного проектування.[1]

Суть і зміст специфічності мають бути деталізовані, окремо для кожного ареалу, в науково-проектній документації щодо визначення меж та режимів використання зон охорони пам'яток архітектури та містобудування. Для кожного історичного ареалу визначаються режим використання та конкретні обмеження господарської діяльності на його території, які встановлюються правилами охорони та використання історичних ареалів населених місць. Правила охорони та використання історичних ареалів населених місць повинні враховуватися під час розроблення місцевих містобудівних програм, містобудівної документації. [2]

В переважній більшості історичних міст таких програм і досі не існує, а містобудівна документація на історичні ареали обмежується історико-архітектурним опорним планом. В більшості міст відсутні детальні плани територій, що включені в історичні ареали. Картографічна база не

векторизована, в більшості випадків існує лише на паперових носіях, і до того ж безнадійно застаріла.

Коли мова йде про історичне середовище основна увага, як правило, зосереджується на пам'ятках культурної спадщини і, на жаль, поки що мало уваги приділено правилам роботи з будівлями так званої «фонові забудови». Саме завдяки цим будівлям формується історичний контекст. Крім того, більшість з них погано вивчені і, можливо, в майбутньому деякі з них можуть бути визнані пам'ятками місцевого значення. Тому вкрай важливо визначити принципи та методи, що можуть бути застосовані в даному випадку.

Ні для кого не секрет, що фактично всі історичні будівлі не відповідають сучасним вимогам енергозбереження, енергоощадності та енергоефективності. Утримання таких будівель з усіх точок зору, і в першу чергу економічної, дуже обтяжливе для всіх категорій власників. Крім того, населення, що проживає в межах історичного ареалу прагне таких самих комфортних умов проживання як і жителі нових районів міста. А застосування нових технологій вимагає інтегрування інженерно-технічних систем в конструктивні елементи будівель та розміщення технічних приладів на зовнішніх огорожувальних конструкціях або покрівлі. Все це істотно змінює не лише наші уявлення про збереження автентичності при реконструкції історичних будівель, але й їх зовнішній вигляд.

Враховуючи що більшість будівель «фонові забудови» за роки незалежності повністю або частково перейшли в приватну власність, величезною проблемою стає збереження

історичного вигляду традиційного середовища.

Проблема знаходиться на перетині багатьох дисциплін і стосується не лише елементів енергомодернізації, але й усіх технічних та інженерних засобів. В її вирішенні зацікавлені архітектори містобудівники, реставратори, історики, охоронці пам'яток, інженери-проектувальники,

Аналіз основних досліджень та публікацій

При проведенні досліджень було проаналізовано результати опублікованих з цієї проблеми робіт вітчизняних та іноземних авторів: Г.А.Андрес, О.Плामеницької, Н.А.Лещенко, М.М.Габреля, В.А.Смілки, О.І.Яненко, Г.О.Осиченко, Л.О.Шулдан, М.О.Бродського,

Формулювання мети статті

Основною метою публікації є аналіз практичних проблем енергомодернізації будівель в межах історичних ареалів.

будівельники, управлінці, міські комунальні підприємства, дотичні до проблеми державні служби та установи. Тобто необхідне комплексне вирішення проблеми на всіх рівнях і у всіх напрямках.

М.В.Бевз, С.Г.Кравченко, В.О.Джаман, П.В.Колядинського, В.Д.Холодок. Опрацьовані дослідження з термомодернізації житлового фонду колективу під керівництвом В.Бригілевича, матеріали міжнародного проекту Spine: «Енергетична ефективність і планування міського розвитку», досвід європейських партнерів по проекту Spine в реновації історичних будівель. Матеріали дослідження з розроблення режимів використання буферної зони Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО резиденції Буковини і Далмації НДІ пам'яток охоронних досліджень. Аналіз наукових праць [6-19] дає змогу зробити висновок, про відсутність в Україні повноцінної нормативної бази для енергомодернізації історичних будівель.

Основна частина

З усіх населених пунктів України 401 місто занесене до Списку історичних міст. Історичні ареали визначені в 75 містах, 10 з яких знаходяться в АР Крим та 2 на даний момент на тимчасово окупованих територіях сходу країни.[3]. Ці цифри характеризують наскільки невеликою і цінною є та категорія об'єктів про яку піде мова.

В цій публікації пропонується розглянути частину законодавчих, адміністративних, пам'яток охоронних правових, містобудівних,

соціальних, економічних, методологічних та технічних аспектів, що мають суттєвий вплив на впровадження заходів з енергетичної модернізації будівель історичних ареалів.

Аналізуючи комплекс законодавчих і нормативних документів, стосовно будівель, що не визначені як пам'ятки історичної спадщини, але розташованих в історичних ареалах, доводиться визнати, що для цих об'єктів фактично відсутні конкретизовані умови та обмеження як в плані будівництва та реконструкції, так і в плані енергомодернізації. Повноваження в вирішенні цих питань делеговані місцевим органам управління, які не можуть повноцінно виконувати свої обов'язки в цьому напрямку в зв'язку з низкою прогалин в законодавстві.

За два десятиліття наша держава прийняла низку важливих для майбутнього країни документів щодо енергозбереження, енергоощадності, енергоефективності, альтернативних джерел енергії. Але жоден з цих документів не регламентує впровадження цих напрямків в умовах історично сформованого, традиційного середовища історичних міст.[4,5]. Жоден з напрямків не відображений в документах, що регулюють розроблення, затвердження та погодження нормативно-правових актів, розроблення та погодження державних містобудівних програм та програм з охорони культурної спадщини. Діяльність в цьому напрямку органів управління архітектури і містобудування та відділів охорони культурної спадщини на місцях обмежена відсутністю законодавчих актів та затверджених методик. Тож, якщо перейти на практичну площину, ми можемо пересвідчитись в практично повній відсутності будь-якої можливості впроваджувати ці напрямки без порушення діючого законодавства, яке при цьому їх ніяк не регулює.[6,7].

До прикладу, незрозуміло які саме норми і правила застосовувати до об'єктів різної категорії цінності, які (на сьогоднішній день) не визначені як пам'ятки, але розташовані в межах історичних ареалів: реставраційні чи загально-будівельні? Очевидно, що застосування нових технологій та матеріалів при реконструкції істотно змінює конструкції та зовнішній вигляд будівель, не кажучи вже про втрату автентичності.

Якими нормативними документами мають користуватись *всі учасники* містобудівного процесу при запровадженні енергозберігаючих заходів для будівель в межах історичних ареалів? У всіх законодавчих актах ця категорія винесена «за дужки». Відтермінування розробки нормативних документів з цього приводу відкриває дорогу

самовільним втручанням в конструкції і зовнішній вигляд будівель, що найчастіше виправдовується «поліпшенням комфортності умов проживання».

Дуже багато питань до моменту погодження проектів реконструкції, реставрації, реабілітації та ремонту – всі вони не можуть бути повноцінно погоджені на місцях. Адже прийняття кінцевих рішень з будь-яких питань реконструкції в межах історичних ареалів, як і надання дозволів, залишається у повноваженні центральних органів управління, в даному випадку міністерства культури та міністерства регіонального розвитку. [1]. В цьому моменті є три особливості: по-перше, питання

Сумніви викликає питання нагляду за виконанням робіт з консервації, реабілітації, реставрації, ремонту, пристосування пам'яток та інших робіт на пам'ятках, власне на місцях. Все це згідно з ЗУ «про охорону культурної спадщини» відноситься до повноважень міністерства культури, які ним нікому не делегуються.[1].

Неодноразово піднімалося питання постійного моніторингу стану історичних будівель на місцях та порушень пов'язаних з виконанням самовільних робіт в межах історичних ареалів. Для цього у місцевих відділах немає ні повноважень, ні штатних виконавців. До прикладу Чернівецький відділ охорони культурної спадщини має штат що складається з керівника та трьох працівників. Запропоноване законом використання безкоштовних громадських інспекторів є недовірливим та безперспективним.

В контексті законодавчих та адміністративних питань не можна не згадати правові. Більшість будинків цінної та малоцінної забудови знаходяться у тій чи іншій формі приватної власності. З точки зору власників, це надає їм більші (а іноді їм здається, що необмежені) повноваження щодо реконструкції, переобладнання, ремонту, термомодернізації, зміни функціонального призначення та інших змін. Такі дії найчастіше призводять до самовільного втручання в конструкції, планування, оздоблення фасаду, інженерні системи будівлі. З правової точки зору, при додержанні норм і правил, не існує перешкод в реалізації прав власника. Але, реалізація цього права без чіткої регламентації в контексті збереження традиційності середовища, призведе до непоправної втрати історичного вигляду міста.

Питання регламентації нерозривно пов'язане з питанням *всебічного* містобудівного аналізу історичної частини міста. Що стосується історичних ареалів, то певна частина цих досліджень проводиться на етапі визначення меж та режимів використання.

дозволу може вирішуватись надзвичайно довго; по-друге, як правило, при прийнятті рішення не враховується реальна ситуація на місцях; по-третє, відкриваються можливості для корупції. Найчастіше довгострокові очікування приводять до відтермінування робіт і, найчастіше, втрати інвестора, або зацікавленості у власника. Прийняття рішень без комплексного бачення ситуації - до дисгармонійного впливу, а іноді до руйнування традиційного середовища. Явний корупційний підтекст - до обурення громадськості та громадських протестів, які частішають в останні роки.

В Чернівцях такі дослідження проводилися інститутом «Укрзахідпроектреставрація» в 1989-1991 рр. В лютому 2007 року були затверджені межі історичного ареалу, комплексної охоронної зони, охоронних зон пам'яток, зони регульованої забудови. В період з 1991 по 2014 рік Чернівці переживали декілька будівельних підйомів. При цьому змін зазнали і ділянки що включені в історичні ареали. Комплексний аналіз цих змін фактично не проводився. В 2014 році були розпочаті дослідження для розроблення режимів використання буферної зони Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО резиденції митрополитів Буковини і Далмації Науково-дослідним інститутом пам'яткоохоронних досліджень. На сьогодні завершується перша частина першого етапу – розроблення програми впорядкування територій та історичної забудови в межах західного сектору буферної зони. Дослідження включає в себе хронологію розвитку забудови, розвиток вуличної мережі, дорожні покриття та озеленення, описує стилістику, збереженість фасадів, покрівлі будівель, дисгармонійні об'єкти, надає рекомендації з впорядкування. Дослідження цікаве і вчасне, але з точки зору сьогодення необхідно досліджувати не лише історичну складову. Аналізу потребують: технічний і енергетичний стан будівель, автомобільна транспортна мережа, схеми громадського сполучення, благоустрій, системи енерго- водо- газо- постачання, телефонні та інтернет- мережі, системи регулювання і саме головне *зв'язки між цими системами*. Практично всі міста України, з точки зору містобудування, потребують постійного всебічного моніторингу і багаторівневого комплексного структурного аналізу. [14]. Міста з історичними ареалами – в першу чергу.

Але, якщо користуватися старими методами та підходами до містобудівного аналізу виконання цього завдання, з врахуванням швидкоплинності сьогоденних процесів, нездійсненне. Для швидких змін в цьому напрямку необхідно переходити до

використання сучасних електронних систем моніторингу і відслідковування змін, спостереження і аналізу, проектування і прогнозування, документування і розповсюдження інформації. [15].

З точки зору автора публікації одним з варіантів рішення могло б стати сканування і проектне тримірне відтворення моделі історичної частини міста з використанням технологій BIM. Таке відтворення в стані утримувати інформацію про всі системи міста, надає необмежені можливості для аналізу і прогнозування, утримує інформацію про всі об'єкти, швидко корегується, може бути об'єднано з іншими інформаційними системами. В цьому контексті є сенс створювати міський містобудівний проектний підрозділ, що міг би взяти на себе виконання функції моніторингу та аналізу існуючого стану й формування пропозицій для вирішення позачергових проблем, зв'язка з реставраційними майстернями міста. Місто Чернівці ніколи не мало свого містобудівного проектного відділу, всі містобудівні програми розроблялися містобудівними проектними організаціями інших міст.

Розробка містобудівних програм, що прямо або побічно стосується кожного жителя міста не може не викликати уваги громадськості. Про зацікавленість в збереженні традиційного вигляду історичних міст свідчить низка петицій «про тимчасовий мораторій на будівництво в межах історичних ареалів», що були зареєстровані в Києві, Одесі, Львові, Чернівцях. Теми, що стосуються історичної спадщини та пов'язаних з нею проблем, фактично не сходять зі сторінок соціальних мереж. Можна стверджувати, що соціальні мережі сьогодні стали як інструментом громадського контролю, так і засобом тиску та маніпулювання. [16]. Фактично частина громадськості на сторінках соціальних мереж веде неоголошену війну з державними установами в особі їх керівників. І в цій війні використовуються всі можливі приводи, методологічні прогалини, неконкретизованість або подвійне трактування законодавчих та нормативних документів.

До прикладу, багато питань викликає поняття «предмету охорони» пам'ятки, який фактично виділяє якусь її частину, ігноруючи цілісність. Якщо «предметом охорони» визначений фасад будівлі, такий підхід дає можливість проводити глобальну реконструкцію всієї будівлі пам'ятки, але при цьому практично не дає реставрувати сам фасад.[17]. Що стосується енергомодернізації то найпростішим та найдешевшим способом могла б бути термомодернізація будинків.[18]. Але в нормативних документах України, реставраційних

нормах, відсутня методологія термомодернізації історичних будівель.

Зрозуміло, що можливість термомодернізації, для будівель - пам'яток історії та культури, за рахунок утеплення огорожувальних конструкцій, як правило, проблематична у зв'язку з наявністю фасадів що охороняються, або фасадів та інтер'єрів одночасно. Але це не означає що такої можливості взагалі не існує, тим більше для будівель «фонові забудови». Для вирішення енергетичної проблеми в історичних містах необхідно враховувати наявність будівель з низькою енергоефективністю і розробляти методи для їх теплодернізації.

Вивчаючи можливості енергомодернізації будівель в межах історичних ареалів автор прийшов до висновку, що саме будівлі «фонові забудови» могли б слугувати основою для впровадження технологій на основі використання альтернативних джерел енергії. Розміщення в цих будівлях солярних елементів та геотермальних установок могло б істотно змінити ситуацію з енергоспоживанням, як в цих самих будівлях, так і в пам'ятках, що розташовані поруч. [19].

Перші ж обстеження будівель історичного центру виявили низку проблем, що знижують вірогідність застосування такого підходу. В першу чергу обстежувались багатоквартирні будинки центральної частини історичного ареалу. Основним місцем розташування солярних елементів є дахи будівель, при цьому технологічне обладнання мало б розміщуватися на горищах будинків. Але виявилось, що в період з 1991 по 2016 роки більшість з обстежених горищ частково або повністю пристосовані під житлові приміщення, на що були видані висновки та рішення відповідних органів міської влади. Такі ж невтішні результати дало обстеження підвалів – місць де могли б бути розміщені геотермальні системи. Більшість з них знаходиться в довгостроковій оренді або приватній власності, що унеможливує розміщення в них обладнання, яке б забезпечувало весь будинок. Таким чином, поспішні рішення, що приймаються міським керівництвом, безпосередньо впливають на саму можливість енергоефективних змін.

Наша держава не перша хто проходить тяжкий шлях змін і трансформацій. Існує величезний пласт зарубіжного досвіду з енергомодернізації, який необхідно опрацювати, засвоїти і впроваджувати.

Висновки

Для створення самої можливості енергомодернізації будівель історичних ареалів необхідно докласти чимало зусиль.

Але вже сьогодні зрозуміло, що для досягнення

успіху в цьому напрямку перш за все необхідно:

- внести доповнення та уточнення в законодавчі акти, стосовно будівель «фонові забудови»;
- розробити методіку щодо енергомодернізації пам'яток культурної спадщини;
- створити нормативні документи або доповнити існуючі в контексті енергомодернізації пам'яток культурної спадщини та будівель різної категорії цінності, що розміщені в історичних ареалах;
- провести комплексний всебічний структурний містобудівний аналіз територій включених в історичні ареали;
- обмежити передачу в довгострокове, або постійне користування приміщень підвалів та горіщ;
- провести енергетичний аудит будівель розміщених на території історичних ареалів і оцінку можливих змін в контексті енергозбереження;
- створити системи і підрозділи постійного моніторингу, контролю і прогнозування змін; Впровадження сучасних технологій в будівлях історичних міст потребує впровадження сучасних методів на основі виважених комплексних рішень.

Література

1. Закон України про охорону культурної спадщини // Пам'яткознавство: правоохорона культурних надбань: зб. док. / упоряд.: Л. В. Прибєга (кер. проекту) [та ін.]. – К.: Ін-т культурології Акад. мист. України, 2009. – С. 40–71. Останню версію зі змінами див.: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1805-14>
2. Постанова Кабінету Міністрів України від 13 березня 2013 року №318 «Про затвердження Порядку визначення меж та режимів використання історичних ареалів населених місць, обмеження господарської діяльності на території історичних ареалів населених місць» - [Електронний ресурс] Офіційний веб-портал ВР України - Режим доступу до ресурсу: // <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/318-2002-%D0%BF>
3. Інформація щодо затвердження меж та режимів використання історичних ареалів історичних населених місць (Станом на 16.01.2017) [Електронний ресурс] // Офіційний веб-портал Міністерства культури України - Режим доступу до ресурсу: // http://195.78.68.75/mcu/control/uk/publish/article?art_id=244995501&cat_id=244993460
4. Закон України про енергозбереження : за станом на 1 квіт. 2017. / Верховна Рада Україн.– .– Київ. : Відомості Верховної Ради України, 1994.– с.– (Бібліотека офіційних видань).Останню версію зі змінами див.: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80>
5. Закон України про альтернативні джерела енергії : за станом на 1 квіт. 2017. / ВР України .– .– Київ. : Відомості Верховної Ради України, 2003.– с.– (Бібліотека офіційних видань). Останню версію зі змінами див.: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/555-15>
6. Кравченко С. Г. Державна політика щодо збереження пам'яток національного значення в умовах урбанізованого середовища / Кравченко С. Г. // зб. наук. пр. Теорія та практика державного управління Харків. регіональний ін-т держ. упр. Нац. акад. держ. упр. при Президентові України –Харків - 2014 - №1 (44) С31-36.
7. Холодок В. Д. Інституційне забезпечення управління охороною культурною спадщиною в Україні / Холодок В. Д.// зб. наук. пр. Теорія та практика державного управління Харків. регіональний ін-т держ. упр. Нац. акад. держ. упр. при Президентові України – Харків - 2011 - №3 (34) С. 1-8.
8. Андрєс Г. А. Охорона культурної спадщини України в контексті світових інтеграційних процесів: автореф. дис. канд. історичних наук : спец. 26.00.05 / Андрєс Г.А. – НАН України Київ, 2009. – 24 с.
9. Вечерський В. В. Проблеми збереження історичного образу міста / Вечерський В. В. // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2010. – № 716 : Архітектура. – С. 68–73
10. Джаман В.О., Колядинський П. В. До проблеми вдосконалення функціонально-територіальної структури великого міста (на прикладі Чернівців) / Джаман В.О. // Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету ім. М. Коцюбинського. – Серія: Географія. – Вінниця, 2007. – Вип. 13. – С. 188-195
11. Осиченко Г. О. Методичні основи реконструкції композиційних структур історичних міст: автореф. дис. канд. арх. наук : спец. 18.00.01 / Осиченко Г.О. – ХДТУБА Харків, 2006. – 27 с.
12. Бєвз В. М. Проблеми збереження та охорони ландшафту дахів та панорами історичного міста / В. М. Бєвз. // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". – 2011. – №716. – С. 5–14.
13. Леценко Н. А. Збереження та оновлення історичного середовища в контексті сталого розвитку міста /Леценко Н. А. // Науково-технічний збірник «Сучасні проблеми архітектури і містобудування». К.:КНУБА. – 2017. – №47. – С. 111-115
14. Габрель М. М. Структурний підхід до аналізу проблем та діагностування стану містобудівних систем / Габрель // Науково-технічний збірник «Сучасні проблеми архітектури і містобудування». К.:КНУБА. – 2017. – №47. – С. 288-307
15. Смілка В. А. Синтез кадастру та моніторингу в містобудуванні / Смілка В. А. // Науково-технічний збірник

- «Сучасні проблеми архітектури і містобудування». К.:КНУБА. – 2017. – №47. – С. 407-412
16. Яненко І. О. Перспективи використання соціальних мереж в архітектурі / Яненко І. О. // Науково-технічний збірник «Сучасні проблеми архітектури і містобудування». К.:КНУБА. – 2017. – №47., – С. 552–557
17. Пламеницька О. Казус «предмету охорони» пам'ятки архітектури як методологічна проблема [Електронний ресурс] / О. Пламеницька // Зб. дослідницьких та науково-методичних праць НАОМА.– 2013.– № 21.– С. 133-145.– режим доступу: http://naoma.edu.ua/ua/academy/zbrnik_doslidnitskikh_ta_naukovo-metodichnikh_prats/21_2013.pdf.– дата звернення: 03-04-2017.
18. Шулдан Л. О. Архітектура громадських будівель та проблеми енергозаощаджування / Л. О. Шулдан, М. О. Бродський // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2010. – № 674 : Архітектура. – С. 335–340
19. Шулдан Л. О. Прийоми використання солярних елементів в будівлях історичного центру міста / Л. О. Шулдан, С. А. Аль-Ахмаді. // Науково-технічний збірник «Сучасні проблеми архітектури і містобудування». К.:КНУБА. – 2016. – №43., Ч.2 – С. 435–441

Стаття надійшла в редколегію 05.04.2017

Рецензент: док. арх., проф. Ю. Р. Діба, Національний університет «Львівська політехніка», Львів

Аль-Ахмаді Саєр Аднан

Аспирант кафедри архітектурних конструкцій НУ «Львовская политехника»,

ORCID: 0000-0001-9778-3723

Частное предприятие «Алекс-проект», Черновцы

**ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОМОДЕРНИЗАЦИИ ЗДАНИЙ ИСТОРИЧЕСКИХ АРЕАЛОВ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ВНЕСЁННЫХ В СПИСОК ИСТОРИЧЕСКИХ ГОРОДОВ УКРАИНЫ
(на примере города Черновцы)**

***Аннотация.** Одной из самых болезненных проблем Украины на пути энергоинтеграции является отсутствие подходов и методов к энергетической модернизации зданий исторического наследия. Все попытки решения проблемы носят локальный индивидуальный и несистемный характер. Анализ существующей ситуации позволит приблизиться к комплексному пониманию и решению проблемы для всех исторических городов ...*

***Ключевые слова:** энергетическая модернизация; комплексная программа; здания исторического ареала; историческое наследие*

Al-Akhmmadi Saer Adnan

Postgraduate student, department of architectural constructions, Natsionalnij universitet Lvivs'ka politekhnika, ORCID: 0000-0001-9778-3723

Private Enterprise "Alex-project", Chernivtsy

**PROBLEMS OF ENERGY MODERNIZATION FOR BUILDINGS SITUATED IN HISTORICAL AREAS OF SETTLEMENTS INCLUDED TO THE LIST OF HISTORICAL CITIES OF UKRAINE
(On the example of the city of Chernivtsi)**

***Abstract.** One of the most urgent problems of Ukraine towards energy integration is the lack of methods and approaches to energy modernization of buildings of historical heritage. All attempts to solve the problem are local, individual and not systemic. Analysis of the current situation will come closer to complexed understanding and solution for all historical cities ...*

***Keywords:** energy modernization; complex program; buildings of historical area; historical heritage*

УДК 514.18

Андропова Ольга Володимирівна

*Магістр архітектури, асистент кафедри архітектурних конструкцій,
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ*

КЛАСИФІКАЦІЯ БУДИНКІВ І СПОРУД ЗА ВИМОГАМИ ДО НОРМ ІНСОЛЯЦІЇ

***Анотація.** Сучасна архітектура розвивається швидкими темпами та потребує зменшення часу на виконання проекту та подальше будівництво. Інсоляція є важливим оздоровчим фактором і повинна виконуватися в усіх житлових і основних громадських будівлях та на території житлової забудови. Оптимальна ефективність інсоляції для її загальнооздоровчого, психофізіологічного, бактерицидного та теплового ефекту досягається при забезпеченні щоденного безперервного 3-4-годинного опромінення прямими сонячними променями приміщень та територій. Інсоляція нормується у період року з 22 березня по 22 вересня, з урахуванням характеру забудови. Дотримання нормативних вимог досягаються відповідним розміщенням, орієнтацією і плануванням будинків.*

***Ключові слова:** Класифікація будинків і споруд за тривалістю інсоляції; інсоляційні норми*

Постановка проблеми

Нормування і розрахунок інсоляції є зараз, мабуть, одною з найбільш гострих світлотехнічних, економічних та соціально-правових проблем. Після переходу землекористування та будівництва на ринкову основу нормативні вимоги до інсоляції приміщень стали одним із основних чинників, що стримують прагнення інвесторів, власників і орендарів земельних ділянок до переуцільнення міської забудови з метою отримання максимального прибутку.

Інсоляції в житлових та громадських будівлях в першу чергу повинна враховувати вимоги національного санітарного законодавства, яке побудоване на вивчені природно-кліматичних умов різних регіонів України, для створення необхідних умов життєдіяльності та охорони здоров'я населення.

Процес проектування починається з розробки об'ємно-планувальних рішень нового будинку. Потім проводиться інсоляційний розрахунок з використанням сонячної карти або інсоляційної лінійки [6,12]. Вибір методу і схеми розрахунку залежить від попереднього аналізу типу будинку за нормами інсоляції. Основною проблемою на сьогодні є проблема використання старих нормативних документів. Це призводить до помилок у проектуванні, розрахунках тривалості інсоляції та відповідності до дійсним норм і правил.

У зв'язку з цим виникає потреба аналізу умов забезпечення в Україні інсоляцією приміщень і територій протягом року в умовах сучасної

збудови, і встановлення методичних підходів до забезпечення нормативних показників при використанні новітніх архітектурно-будівельних рішень містобудування.

Аналіз основних досліджень та публікацій

Санітарні норми і правила являються одною з основних умов при проектуванні нового будинку. Вони враховують гігієнічні норми інсоляції [7,8,10]. Існує значна база нормативної документації, яка повинна враховуватися при проектуванні нових будинків та споруд [1,2,3,4,5,9,11]. В них встановлюються правила проектування різних типів будинків та споруд. Проектант в процесі проектування повинен врахувати всі обмеження, в тому числі і з тривалості інсоляції.

Формулювання мети статті

Метою статті є розроблення класифікації будинків за вимогами до норм інсоляції. Принцип проектування будинків та споруд набагато спрощується, якщо використовувати схеми з класифікації усіх типів будинків за нормами інсоляції. Це дає можливість врахувати норми інсоляції в короткий термін та не витратити час на подальший пошук інформації по усім існуючим нормативним документам.

Основна частина

Враховуючи санітарні норми та правила,

можна запропонувати класифікацію будівель за вимогами до інсоляції. За цією ознакою будівлі можна поділити на такі типи:

- **перший тип:** будівлі, приміщення в них та прилегла територія, в яких нормується тривалість інсоляції.;

- **другий тип:** будівлі, приміщення в них та прилегла територія, в яких тривалість інсоляції не нормується;

- **третій тип:** будівлі, приміщення в них в яких інсоляція недопустима.

Найчастіше будівля має частину приміщень з обов'язковою інсоляцією та частину – з необов'язковою інсоляцією.

До першого типу відносяться:

• **Житлові будинки.** У них тривалість інсоляції повинна виконуватись не менше, ніж в одній житловій кімнаті 1-, 2-, 3- кімнатних квартир і не менше, ніж в двох житлових кімнатах 4- і більше кімнатних квартир. В спальнях гуртожитків (не менше, ніж в 60%).

Розташування і орієнтація житлових кімнат повинні забезпечувати тривалість безперервної інсоляції приміщень в нормований період не менше 2,5 годин на день.

Для житлових будинків меридіонального типу, де інсолуються всі кімнати квартири, а також при реконструкції житлової забудови або при розміщенні нового будівництва в особливо складних містобудівних умовах (історично цінне міське середовище, дорога підготовка території, зона загальноміського і районного центрів) допускається скорочення тривалості інсоляції на 0,5 години

В умовах багатоповерхової забудови (9 і більше поверхів) допускається одноразова переривчастість інсоляції приміщень житлових будинків за умови збільшення сумарної тривалості інсоляції протягом дня на 0,5 години [11,9]

• **Громадські будівлі.** Розміщення і орієнтація основних функціональних приміщень дитячих дошкільних установ (гральні), загальноосвітніх шкіл (класи та кабінети), шкіл-інтернатів (класи, кабінети та спальні), будинки закладів соціального захисту населення, лікувально-профілактичних установ, санаторно-курортних та інших оздоровчих закладів повинні забезпечувати обов'язкову тривалість безперервної інсоляції приміщень в нормовані періоди не менше 3 годин в день [2,3,4].

• **Території** дитячих ігрових майданчиків та спортивних майданчиків житлових будинків, групових майданчиків дошкільних установ, спортивної зони, зони відпочинку та навчально-

дослідної зони загальноосвітніх шкіл та шкіл-інтернатів.

До другого типу відносяться громадські будівлі та споруди: фізкультурно-оздоровчі та спортивні; культурно-видовищні, підприємств торгівлі та громадського харчування; підприємств побутового обслуговування; науково-дослідних установ, проектних і громадських організацій; управління; транспорту; комунального господарства; багатофункціональні [11].

До третього типу відносяться громадські будівлі, промислові і сільськогосподарські споруди, інсоляція приміщень яких недопустима [7,5,11].

Важливим питанням є обмеження надмірної теплової дії. Ці вимоги поширюються на:

а) житлові кімнати і кухні квартир, спальні кімнати гуртожитків, приміщення громадських будівель, дитячих дошкільних установ, навчальних приміщень загальноосвітніх шкіл, шкіл-інтернатів, ПТУ та інших середніх спеціальних навчальних закладів, лікувально-профілактичних та оздоровчих закладів і т. [7,8,11];

б) на території житлової забудови, розташованої в II і V кліматичних районах, захист від перегріву повинна бути передбачена не менше, ніж для половини гральних майданчиків, місць розміщення гральних пристроїв, спортивних знарядь і лавок для відпочинку і не менше, ніж для двох третин тротуарів і пішохідних доріжок.

У житлових будинках, розташованих в II і V кліматичних районах [13,14], не допускається орієнтація квартир, в яких всі вікна житлових кімнат виходять на одну сторону будинку, в межах сектора горизонту 200° - 290° . Зазначена орієнтація допускається в одно- і двоповерхових будинках, всі вікна та балконні двері яких обладнані зовнішніми регульованими сонцезахисними пристроями. В одноповерхових будинках сонцезахист допускається забезпечувати засобами озеленення.

У громадських будівлях, які розташовані в II і V кліматичному районі, повинні бути передбачені сонцезахисні пристрої в отворах вікон, балконних дверей, лоджій і веранд, звернених на сектор горизонту в межах 200° - 290° . У громадських будівлях з підвищеним відсотком скління зовнішніх стін сонцезахисні пристрої передбачаються для приміщень з орієнтацією на 200° - 290° у всіх кліматичних районах. Заходи щодо обмеження надмірної теплової дії інсоляції не повинні призводити до порушення норм природного освітлення приміщень.

Цілорічне затінення фасадів будівель і територій житлової забудови не допускається.

Піврічні тіні (з 22 вересня по 22 березня) не повинні перевищувати 10% загальної площі вільних від забудови територій житлових масивів, комплексів лікувально-профілактичних і оздоровчих установ. У

таблиці 1 враховані усі нормативні обмеження та вказані рекомендації до проектування різних типів будівель.

Таблиця 1

Класифікація будинків і споруд за вимогами до норм інсоляції

Типи будинків, споруд, прилеглої території та приміщень в них	Класифікація за вимогами до норм інсоляції			Захист від перегріву
	Будівлі, приміщення в них та прилегла територія, в яких нормується тривалість інсоляції	Будівлі, приміщення в них та прилегла територія, в яких тривалість інсоляції не нормується	Будівлі, приміщення в них в яких інсоляція недопустима	Кліматичний район I-V
Житлові будинки	<p>В 1-,2-,3- кімнатних квартирах у 1 житловій кімнаті; В 4-,та більше-кімнатних квартирах у 2- житлових кімнатах; В спальнях кімнат у гуртожитках не менше 60% Повинна виконуватися нормована тривалість інсоляції 2,5 год. за день</p>	-	-	<p>Не дозволяється орієнтація на одну сторону будинку всіх вікон житлових кімнат у межах сектора горизонту від 200⁰-290⁰ Не допускається проектування лоджій перед кімнатами, що є розрахунковими (2)* Передбачаються сонцезахисні пристрої на світлопрозорих конструкціях, орієнтованих на південно-західний та західний сектори горизонту в межах (200⁰-290⁰) При відсотку скління (менше ніж 18%) у I, III і V архітектурно-будівельних кліматичних районах - зовнішні чи між скляні; у II та IV архітектурно-будівельному кліматичному районі - зовнішні сонцезахисні пристрої</p>
Громадські будівлі та споруди	<p>Розміщення і орієнтація основних функціональних приміщень дитячих дошкільних установ (гральні), загальноосвітніх шкіл (класи та кабінети), шкіл-інтернатів (класи, кабінети та спальні), будинків закладів соціального захисту населення, лікувально-профілактичних установ, санаторно-курортних, закладів охорони здоров'я та відпочинку.</p>	<p>Фізкультурно-оздоровчі та спортивні; культурно-видовищні, підприємств торгівлі та громадського харчування; підприємств побутового обслуговування; науково-дослідних установ, проектних і громадських організації; управління; транспорту; комунального господарства; багатофункціональні</p>	<p>В операційних, передопераційних, реанімаційних залах, залах лікарень, виставочних залах музеїв, хімічних лабораторіях вищих навчальних закладів, науково-дослідних інститутів, книгосховищах, архівах</p>	<p>Встановлюються сонцезахисні пристрої для дитячих дошкільних закладів (стаціонарні або такі, що трансформуються,) на вікнах ігрових, спальних, залів для музичних та фізкультурних занять, палат ізолятора, залу кухні, заготівельного цеху і пральні, при орієнтації вікон 130⁰-275⁰, північніше 48⁰ пн.ш. та 90⁰-200⁰ для 45⁰-48⁰ пн.ш. Для приміщень закладів охорони здоров'я орієнтованих на сектор горизонту 200⁰-290⁰ При відсотку скління (менше ніж 25%) у I, III і V архітектурно-будівельних</p>

	Повинна виконуватися нормована безперервна тривалість інсоляції 3 год. за день			<p>кліматичних районах - зовнішні чи між скляні; у II та IV архітектурно-будівельному кліматичному районі - зовнішні сонцезахисні пристрої</p> <p>Обов'язкове розташування тінювих навісів для ігрових майданчиків санітарно-курортних закладів.</p> <p>Південніше 47,5⁰ Будинки повинні бути облаштовані сонцезахисними пристроями в віконних отворах, балконних дверей, лоджій та веранд, звернених на сек-тор горизонту 200⁰-290⁰</p> <p>Не дозволяється орієнтація на одну сторону нормованих приміщень, що виходять на один бік будинку, в межах сектора горизонту від 200⁰-290⁰</p> <p>Приміщення з особливими технологічними умовами та приміщення з охолодженням повітря необхідно облаштовувати сонцезахисними пристроями незалежно від орієнтації</p>
Території навколо будинків	Територія дитячих ігрових майданчиків, спортивних майданчиків житлових будинків, групових майданчиків дошкільних установ, шкіл, спортивної зони, зони відпочинку та ділянки спортивних басейнів слід орієнтувати у напрямку північ-південь із забезпеченням тривалості інсоляції 3 год. щонайменше 50% території (1)*	-	Промислові території та сільськогосподарські території	Захист від перегріву повинен бути передбачений у 50% ігрових площадок, місць розташування ігрових пристроїв, спортивних приладів, майданчиків для відпочинку, та не менше ніж 2/3 тротуарів і пішохідних доріжок
Промислові споруди	-	-	Промислові споруди	Виробничі приміщення
Сільськогосподарські споруди	-	-	Сільськогосподарські споруди	Виробничі приміщення

Примітка 1. Для розрахунку тривалості інсоляції використовується сонячна карта для 45^0 та 52^0 пн. ш. Нормована тривалість інсоляції забезпечується на період з 22 березня по 22 вересня.

Примітка 2. Геометричні параметри сонцезахисних пристроїв необхідно розраховувати за допомогою комплексних сонячних карт.

Примітка 3. В умовах багатопверхової забудови (9-ти і більше поверхів) допускається одноразова переривчастість інсоляції житлових приміщень за умови збільшення сумарної тривалості інсоляції протягом дня на 0,5 год. відповідно до кожного кліматичного району.

Примітка 4. У житлових будинків меридіонального типу, де інсолюються всі кімнати квартири, а також при реконструкції житлової забудови або при розміщенні нового будівництва в особливо складних містобудівних умовах (історично цінне міське середовище, дорога підготовка території, зона загальноміського і районного центрів) допускається скорочення тривалості інсоляції на 0,5 години

Примітка 5. Цілорічне затінення фасадів будівель і території житлової забудови не допускається. Піврічні тіні (з 22 вересня по 22 березня) не повинні перевищувати 10% загальної площі вільних від забудови територій житлових масивів, комплексів лікувально-профілактичних і оздоровчих установ.

Примітка 6. Приміщення орієнтовані на північ сонцезахисними пристроями не повинні бути обладнані.

Примітка 7. При підвищеному відсотку засклення зовнішні сонцезахисні пристрої необхідно передбачати у всіх архітектурно-будівельних кліматичних районах.

Примітка 8. В одноповерхових будинках сонцезахист дозволяється забезпечувати засобами озеленення.

*Допускається відхилення від орієнтації майданчиків по повздовжнім осям не більше ніж на 20^0 в кожен із боків.

*При проектуванні у житлових будинках літніх приміщень (лоджії) перед розрахунковими кімнатами їх слід розташовувати зміщеними відносно вікон: у кімнатах східної і західної орієнтації – у північному напрямку, у кімнатах південної орієнтації – у будь-якому напрямку.

Висновки

Запропонована класифікація архітектурних об'єктів відповідно до норм інсоляції дає можливість проєктанту скоротити час на визначення

нормативних вимог. Подальші дослідження будуть спрямовані на вдосконалення нормативної бази та впровадження у практику методів розрахунку інсоляції з використанням схеми по класифікації будинків та споруд за нормами інсоляції...

Література

1. Подгорний А.Л. Разработка ДСТУ-Н «Расчет инсоляции объектов гражданского назначения»/ А.Л. Подгорный, В.С. Буравченко, О.В. Сергейчук., О.В. Андропова// Прикл. Геометрия та інж. графіка : між від. наук.-техн. зб. – К.:КНУБА, 2008- вип.80.-С. 209-213.
2. Будинки та споруди дитячих дошкільних закладів: ДБН В.2.2-4-97 / Мінрегіонбуд України.– К. : Укарбудінформ, 1997. – 46с. – (Державні будівельні норми України).
3. Будинки та споруди навчальних закладів: ДБН В.2.2-3-97 / Мінрегіонбуд України.– К. : Укарбудінформ, 1997. – 101с. – (Державні будівельні норми України).
4. Громадські будинки та споруди. Основні положення: ДБН В.2.2-9-2009 / Мінрегіонбуд України.– К. : Укарбудінформ, 2009. – 47с. – (Державні будівельні норми України).
5. Заклади охорони здоров'я: ДБН В.2.2-10-2001 / Мінрегіонбуд України.– К. : Укарбудінформ, 2001. – 166с. – (Державні будівельні норми України).
6. Настанова з розрахунку інсоляції об'єктів цивільного призначення : ДСТУ-Н Б В.2.2-27:2010 / Мінрегіонбуд України.– К. : Укарбудінформ, 2010. – 81с. – (Національний стандарт України).
7. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів : ДСП 173. [Затверджені наказом МОН України від 19 червня 1996 р.] / МОН України. — К. : МОН України, 1996. — 65 с. — (Державні санітарні норми України).
8. Державні санітарні правила розміщення, улаштування та експлуатації оздоровчих закладів. ДСП 172 [Затверджені наказом МОН України від 19 червня 1996 р.] / МОН України. — К. : МОН України, 1996. — 28 с. — (Державні санітарні норми України).
9. Житлові будинки. Основні положення: ДБН В.2.2-15-2005 / Мінрегіонбуд України.– К. : Укарбудінформ, 2005. – 44с. – (Державні будівельні норми України).
10. Природне і штучне освітлення: ДБН В.2.5-28-2006 / Мінрегіонбуд України.– К. : Укарбудінформ, 2006. – 76с. – (Державний стандарт України).

11. *Планування і забудова міських і сільських поселень: ДБН 360-92** / Мінрегіонбуд України.– К. : Укарбудінформ, 2002. – 136с. – (Державні будівельні норми України).*
12. *Світлопрозорі огороження будинків : навч. посібник для студ вищ. навч. закл. / О. Л. Підгорний, І. М. Шенетова, О. В. Сергейчук, О. М. та ін. ; під ред. О. Л. Підгорного — К. : Домашевська О.А., 2005. — 282 с.*
13. *Будівельна кліматологія. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі: ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 / Мінрегіонбуд України.– К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 131с. – (Державний стандарт України).*
14. *Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2016 / Мінрегіонбуд України.– К. : Укарбудінформ, 2017. – 30с. – (Державні будівельні норми України).*

Стаття надійшла в редколегію 04.04.2017

Рецензент: д.т.н., проф. О.В. Сергейчук, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Андропова Ольга Владимировна

*Магістр архітектури, асистент кафедри архітектурних конструкцій,
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ*

КЛАССИФИКАЦИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОТНОСИТЕЛЬНО НОРМ ИНСОЛЯЦИИ

***Аннотация.** Современная архитектура развивается быстрыми темпами и требует уменьшения времени на выполнение проекта и дальнейшее строительство. Инсоляция является важным оздоровительным фактором и должна выполняться во всех жилых и основных общественных зданиях и на территории жилой застройки. Оптимальная эффективность инсоляции для ее общеоздоровительного, психофизиологического, бактерицидного и теплового эффекта достигается при обеспечении ежедневного непрерывного 3-4-часового облучения прямыми солнечными лучами помещений и территорий. Инсоляция нормируется в период года с 22 марта по 22 сентября, с учетом характера застройки. Соблюдение нормативных требований достигаются соответствующим размещением, ориентацией и планировкой домов.*

***Ключевые слова:** Классификация зданий и сооружений по продолжительности инсоляции; инсоляционные нормы*

Andropova Olga

*Assistant Department of Architectural Constructions,
Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kyiv*

CLASSIFICATION BUILDINGS TO SOLAR RADIATION NORMS

***Abstract.** Modern architecture is developing very fast and requires a reduction in project implementation time and further construction. Solar radiation very important health factor and should be carried out in all residential and basic public buildings and in the residential area. Solar radiation for health, psychophysiological, bactericidal and thermal effect achieved by providing a daily continuous 3-4-hour irradiation by direct sunlight in rooms and territories. Solar radiation is standardized during the year from March 22 to September 22, taking into account the type of the buildings. The fulfillment of standards are achieved by appropriate placement, orientation and layout of buildings.*

***Keywords:** Architectural and structural metal grids, ventilated facade, shading devices.*

УДК 514.18

Андропова Ольга Володимирівна

Асистент кафедри архітектурних конструкцій,

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Рубан Олена Володимирівна

Студент 3 курсу архітектурного факультету

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Бончик Вікторія Юріївна

Студент 3 курсу архітектурного факультету

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

АНАЛІЗ ЗОВНІШНІХ СОНЦЕЗАХИСНИХ ПРИСТРОЇВ НА ПРИКЛАДІ АРХІТЕКТУРНО-ПРОСТОРОВІ МЕТАЛЕВІ СІТКИ

***Анотація.** Використання архітектурно-просторових металевих сіток у проектуванні та будівництві будинків та споруд дають можливість вирішувати питання сонцезахисту та покращити зовнішній вигляд будинку надаючи йому неповторний індивідуальний характер. Основними функціональними характеристиками архітектурних сіток можна вважати: захист від сонця, природна вентиляція, довговічність. Це сприяє підвищенню енергоефективності будинку.*

***Ключові слова:** архітектурно-просторова металева сітка, навісний фасад, сонцезахисні пристрої.*

Постановка проблеми

Сучасна архітектура розвивається швидкими темпами та потребує різні методи вирішення питань інсоляції та сонцезахисту приміщень.

Обмеження надмірної теплової дії інсоляції приміщень і територій в теплий період року має забезпечуватися відповідним плануванням і орієнтацією будівель, благоустроєм території, застосуванням сонцезахисних пристроїв та при необхідності - кондиціонуванням та внутрішніми системами охолодження.

Найбільш ефективними, з теплотехнічної точки зору, є зовнішні сонцезахисні пристрої. Крім захисту від сонячної радіації вони також являються ефективним засобом зниження тепловтрат з приміщення. Ефективність сонцезахисних пристроїв всіх типів залежить від грамотного проектування, що враховує кліматичну зону будівництва, географічні характеристики, положення сонця на небосхилі в різні періоди року, орієнтацію фасаду будівлі та інші параметри [5,9].

Існує багато варіантів сучасних конструктивних рішень сонцезахисних пристроїв для енергоефективних будівель. Тому з'являється необхідність їх комплексного аналізу та методів використання в залежності від конструктивних, теплотехнічних та архітектурних потреб. Завдяки

розмаїттю їх конфігурацій, кожна будівля отримує свій неповторний індивідуальний характер.

Аналіз типів зовнішніх сонцезахисних пристроїв та методів використання їх на території України дає можливість скоротити час на пошуки потрібної системи.

Такі рішення повинні бути прийняті на стадії проектування, оскільки навантаження від різних систем істотно впливають на несучі елементи будівлі.

Аналіз основних досліджень та публікацій

В архітектурі велику увагу приділяють деталям. При проектуванні будинку з сонцезахисними пристроями потрібно враховувати їх властивості. Існує багато розробок сонцезахисних пристроїв по конструктивним рішенням, теплотехнічним та естетичним, що задовольняють усі ці вимоги. Серед усіх варіантів найчастіше в Європі використовуються металеві сітки [1,2,3,4].

До основних переваг архітектурної сітки можна віднести: індивідуальність фасаду, сонцезахисні властивості, наявність природної вентиляції, довговічність, різноманіття форм та багато-розмірність.

Неповторність рішення обумовлюється великою кількістю видів архітектурних сіток, способів їх кріплення, кольоровим оформлення та можливістю створення прозорого медіа-фасаду. В залежності від кута зору та конфігурації сітки, вона може здаватися прозорою, не погіршуючи вид з вікна.

Обов'язковим при виборі системи являється дотримання інсоляційних норм і правил [6,7,9,8].

Формулювання мети статті

Проаналізувати існуючі зовнішні сонцезахисні прилади на прикладі архітектурних металевих сіток, та запропонувати методи їх використання при проектуванні будинків на території України.

Основна частина

Архітектурна сітка забезпечує ефективний сонцезахист при великих кутах падіння сонячного опромінення влітку, що істотно знижує ступінь перегріву приміщень. Взимку, при малому куті падіння, сонячна енергія проникає всередину, що допомагає підтримувати необхідний температурний режим в приміщенні. Використання такого конструктивного рішення сприяє природній вентиляції. Простір між будівлею і сіткою та її перфорація запобігає накопиченню гарячого повітря перед фасадом. Все це створює комфортний мікроклімат в приміщеннях. Для додаткової мінімізації впливу зовнішніх факторів на температурний режим приміщень, простір між конструкцією і фасадом, або ж і саму сітку, використовують для організації вертикального озеленення.

За допомогою перетворення та комбінації однієї модульної одиниці на рисунку 1 можна побачити декілька варіантів розбивки сітки. Поєднуючи модуль, конструктивне рішення та бажаний зовнішній вигляд, в результаті утворюються найрізноманітніші варіанти фасадного рішення рисунок 2. Прикладом може слугувати модуль 1, до якого застосовано конструктивне рішення для озеленення фасадів. Таких комбінацій існує досить багато.

У таблиці 1 проаналізовані основні види сонцезахисних пристроїв за основними параметрами: архітектурний вигляд, тип сонцезахисного пристрою, конструктивні рішення, матеріали та теплотехнічні характеристики.

Було розглянуто: висувні ліктьові маркізи (ковшеві або з падаючим ліктьом), маркіза (пергола або рулонна), рафштора, рефлексолі, широкі ламелі

(нерухомі, рухомі механічні та рухомі електричні)

Основний матеріал що використовується для маркізів є алюміній, сталь та тканина, для рафштор алюміній для рефлексолей алюміній, ПВХ, сталь та тканини, для ламелей алюміній та скло.

Для об'єктивного визначення сонцезахисту, використовують такі ключові одиниці, як g – фактор - загальний коефіцієнт пропускання енергії, який визначається як відношення сонячної енергії що проходить через прозорі частини фасаду. На прикладі вікна можна побачити, при значенні g – фактор 0,6 означає, що 60% енергії проходить в приміщення як прямі сонячні промені. Взаємодія фасадної системи з архітектурною сіткою разом з подвійним заскленням світлопрорізу сприяє хорошему сонцезахисту.

Питання, які враховуються при виборі сонцезахисних пристроїв:

1. тип скла;
2. кут падіння сонячного світла;
3. відстань між сіткою та фасадом;
4. матеріал;
5. тип сітки

При падіння сонячних променів під кутом 60° і звичайним подвійним склом більшість типів архітектурних сіток відбивають від 40% до 70% сонячної енергії.

Якщо поєднати з відповідним сонцезахисним склінням показник g може дорівнювати інтервалу з 0,02 - 0,18 при ідентичним куті падіння. На прикладі сітки Largo Twist 2045 можливо зменшити передачу енергії більше ніж на 90% рисунок 3.

При виготовленні цих сіток використовують нержавіючу сталь, тому таке оздоблення не піддається корозії, не потребує регулярних опоряджувальних робіт та при впливах висок температур не змінює свою конфігурацію.

Така металева сітка, являється не дешевим варіантом але завдяки її багато-розмірності, є можливість створювати елементи з досить великою площею, що дозволяє закріплювати її на фасаді практично по всій висоті будівлі. Завдяки цьому, в порівнянні з іншими матеріалами, істотно знижуються витрати на несучі елементи. Для під конструкції достатньо лише верхнє і нижнє кріплення. Проміжні конструкції з'являються тільки при виникненні додаткового вертикального навантаження. Це є перевагою не тільки в економічному аспекті, але й впливає на діапазон застосування архітектурної сітки.

Особливість кріплення архітектурної сітки, без безпосередньої взаємодії з фасадом, робить можливим її застосування до вже готових будівель і споруд, а також може використовуватись при

реконструкції та модернізації архітектурних пам'яток.

В таблиці 2 розглянуті два основних типи кріплення: за допомогою стрижнів та за допомогою плоских натяжних профілів.

Перший тип кріплення ґрунтується на системі круглих стрижневих елементів, які пронизані через сітку і кріпляться до трикутних кронштейнів, що в свою чергу закріплені на фасаді. В якості альтернативи, для з'єднання з фасадом можуть використовуватись рим-болти закріплені в безперервному профілі. На кожному проміжному рівні застосовуються круглі стрижні з маятниковими затискачами, що кріпляться до кронштейнів. Альтернативою проміжної конструкції є дротяні з'єднувачі які огортають стрижень розташований в сітці. З'єднувачі утримують стрижні ззаду, що робить таке кріплення майже не помітним на фасаді. Нижнє кріплення подібне до верхнього, де круглий стрижень пронизаний крізь сітку і кріпиться з допомогою рим-болтів до особливих кронштейнів, завдяки чому можна регулювати натяг полотна. Другим варіантом є рим-болти інтегровані в безперервний профіль.

Верхня конструкція другого типу складається з натяжної смуги, оснащеної болтами з засувкою. Вони використовуються безпосередньо для утримання сітки, а також для натягу полотна у верхній точці кріплення. Для проміжної під конструкції використовується кругла трубка, з'єднана з сіткою ззаду за допомогою дротяних з'єднувачів. Така монтажна система майже не видима. Для нижніх кріплень рекомендується використовувати плоскі натяжні профілі.

Правильний натяг досягається за допомогою гвинтів з хрестоподібним шліцом, які кріпляться до профілю. Для застосувань на фасаді, структурні характеристики вимагають використання додаткових пружин тиску. Вони надають достатню еластичність сітці для мінімізації впливу різних навантажень.

Якщо сітка не може бути натягнута по всій висоті фасаду, використовують обрамлені елементи - модулі. Це дозволяє зменшити необхідну площу полотна, дозволяє проводити вибірккову заміну елементів, використовувати акустичні та медіа елементи. Для місць, де є безпосередній доступ до конструкції, сітку можна інтегрувати в розсувні або відкидні рами, що дозволить жителям самостійно вибирати ступінь освітленості та видимості приміщення.

Висновки

В Україні розвиток енергоефективного будівництва після прийняття галузевої програми 2030 диктує норми та правила щодо врахування усіх факторів, що впливають на енергозбереження. У зв'язку з цим все частіше проєктанти звертають увагу на існуючі аналоги та можливість адаптації при використанні на території України.

Аналіз існуючих сонцезахисних пристроїв та використання їх при різних умовах на території України дають можливість проєктантам більш точно вибрати систему, яка задовольнить усі вимоги при проєктуванні.

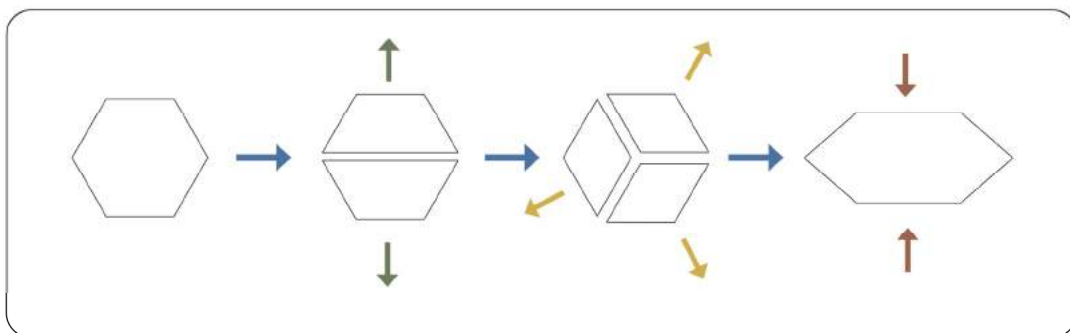


Рисунок 1 – Модульна розбивка елементів

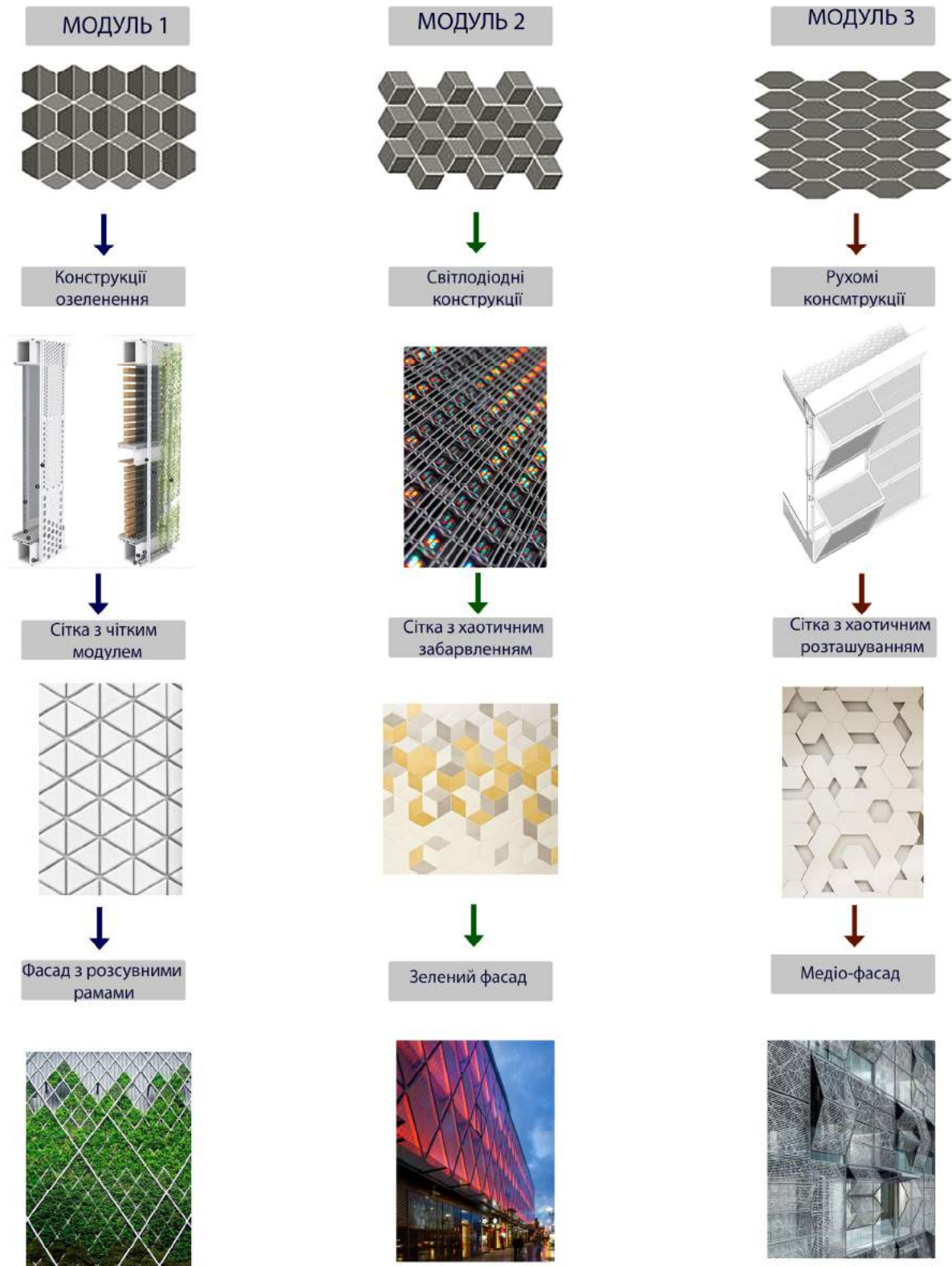

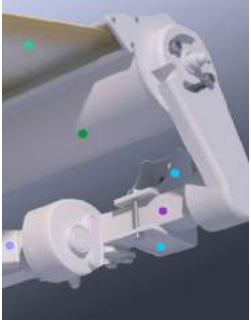

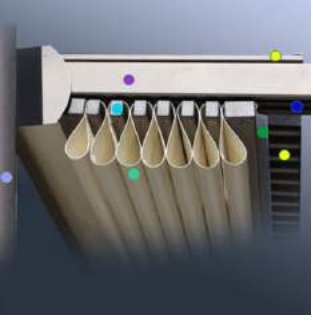

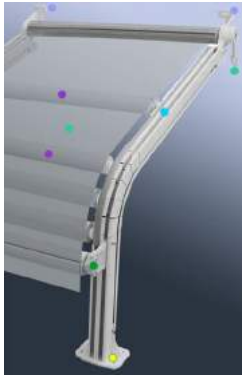

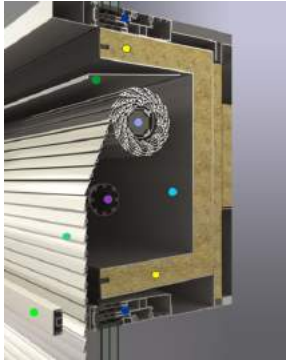



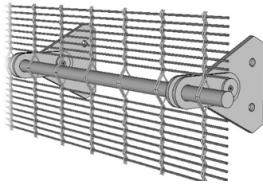
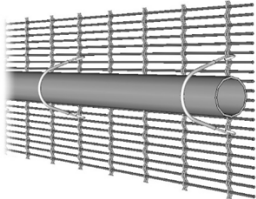
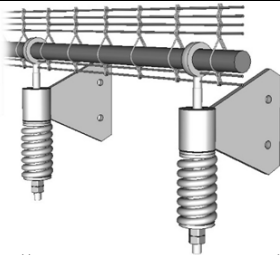
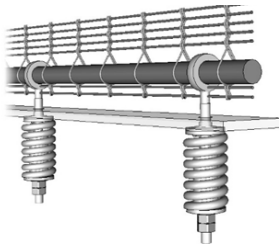
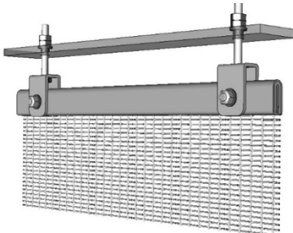


Рисунок 2 – Конструктивне рішення модульних сіток

№	Найменування	Зовнішній вигляд	Конструктивне рішення	Матеріали	Кліматичний район, умови
1	Висувні ліктвові маркізи (ковшеві або з падаючим ліктвом): оптимальне рішення для затінення терас і балконів середніх і великих розмірів		<ul style="list-style-type: none"> ➤ полотно тканини ➤ лікті маркізи ➤ сталевий несучий профіль 40x40 мм ➤ монтажні кронштейни ➤ сталевий вал з тканиною 	Алюміній, сталь + різні види тканин	Кліматичний район - II-V, сектор рекомендованої орієнтації - 135 ⁰ - 225 ⁰
2	Маркіза пергола: відноситься до стаціонарних навісів, які можуть бути як окремими спорудами, так і продовженням будівлі.		<ul style="list-style-type: none"> ➤ алюмінієвий профіль каркаса ➤ поздовжні профілі (ребра) жорсткості ➤ профіль водостоку ➤ покрівельний козирок ➤ направляючий профіль 	Алюміній + різні види тканин	Кліматичний район - II-V, сектор рекомендованої орієнтації - 90 ⁰ – 270 ⁰
3	Маркізи рулонні, ефективна і надійна сонцезахисна конструкція, використовується для зимових садів, яка складається з двох симетрично розта-		<ul style="list-style-type: none"> ➤ полотно тканини ➤ монтажні кронштейни ➤ направляючі вали ➤ профіль каркаса ➤ рухомий кронштейн ➤ фланцевий з'єднувач 	Алюміній, сталь + різні види тканин	Кліматичний район - III-V, сектор рекомендованої орієнтації - 135 ⁰ - 225 ⁰

	шованих карнизів і тенту				
4	Рафштори : Алюмінієві профільні ламелі, застосовуються в якості затінення вертикальної площини скління - вікон, фасадів		<ul style="list-style-type: none"> ➤ алюмінієві ламелі сонцезахисного полотна ➤ основний вал ➤ направляючий вал ➤ короб ➤ захисний козирок ➤ утеплювач ➤ несучий алюмінієвий профіль ➤ алюмінієвий обмежувальний профіль 	Алюміній	Кліматичний район - II-V, сектор рекомендованої орієнтації - $0^{\circ} - 360^{\circ}$, $45^{\circ} - 315^{\circ}$
5	Рефлек-солі: тканинний сонцезахист рулонного типу, призначений для огороження відкритих і закритих просторів (зимових садів, терас) від надлишкової сонячної енергії.		<ul style="list-style-type: none"> ➤ тканина сонцезахисна ПВХ ➤ профіль (спрямовує тканину вниз) ➤ сталевий трос ➤ напрямні тросів ➤ кронштейн ➤ вал 	Алюміній, сталь + ПВХ сонцезахисні тканини	Кліматичний район - II-V, сектор рекомендованої орієнтації - $45^{\circ} - 90^{\circ}$, $270^{\circ} - 315^{\circ}$
6	Широкі ламелі Schüco ALB нерухомі		Широкі ламелі Schüco ALB з нерухомим закріпленням	PH (Passive, Hollow Blade): порожнисті ламелі еліпсоїдної форми. PM (Passive, Metal	Кліматичний район - II-V, сектор рекомендованої орієнтації - $0^{\circ} - 360^{\circ}$, $45^{\circ} - 315^{\circ}$

				Blade): металеві ламелі еліпсоїд- ної форми (закриті або одно- шарові, незамк- нуті)	
7	Широкі ламелі Schüco ALB Рухомі механічні		Система сумісна з віконними і фасадними конструкціями 	АН (Active, Hollow Blade): порожни- сті ламелі, алюміній	Клімати- чний район - II-V, сектор рекомендо- ваної орієнтації - 0 ⁰ – 360 ⁰ , 45 ⁰ – 315 ⁰
8	Широкі ламелі Schüco ALB Рухомі електрич- ні		Рухоме закріплення і управління лінійним електроприводом 	Алюміній + скло	Клімати- чний район - II-V, сектор рекомендо- ваної орієнтації - 0 ⁰ – 360 ⁰ , 45 ⁰ – 315 ⁰
9	Металеві сітки За допо- могою стрижнів	верхня підконструкція	 круглі стрижневі елементи, які пронизані через сітку і кріпляться до трикутних кронштейнів, що в свою чергу закріплені на фасаді рим-болти закріплені в безперервному профілі 	Сталь	Клімати- чний район - II-V, сектор рекомендо- ваної орієнтації - 0 ⁰ – 360 ⁰ , 45 ⁰ – 315 ⁰

		<p>проміжна підконструкція</p> 	<p>круглі стрижні з м'ягкими затисками, що кріпляться до кронштейнів</p>		
			<p>дротяні з'єднувачі які огортають стрижень розташований в сітці</p> 		
		<p>нижня підконструкція</p> 	<p>круглий стрижень пронизаний крізь сітку, що кріпиться з допомогою рим-болтів до особливих кронштейнів</p>		
			<p>рим-болти інтегровані в безперервний профіль</p> 		
10	<p>Металеві сітки</p> <p>За допомогою плоских натяжних профілів</p>	<p>верхня підконструкція</p>	<p>натяжна смуга, оснащена болтами з засувкою</p> 	Сталь	<p>Кліматичний район - II-V, сектор рекомендованої орієнтації - $0^{\circ} - 360^{\circ}, 45^{\circ} - 315^{\circ}$</p>

		<p>проміжна підконструкція</p>	 <p>кругла трубка, з'єднана з сіткою ззаду за допомогою дротяних з'єднувачів</p>		
		<p>нижня підконструкція</p>	<p>плоскі натяжні профілі і гвинти з хрестоподібним шліцом, які кріпляться до профілю</p> 		

Таблиця 1 – Аналіз сонцезахисних пристроїв

Література

- 3D Mesh Façades [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.architekturnayasetka.com/fileadmin/01_Haver_Boecker/HB_Dokumente/P24-7_3D_Mesh_Facade.pdf.
- HAYER Architectural Mesh. Weaving [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.architekturnayasetka.com/fileadmin/02-c-Hayer_Architekturgewebe/AG_Dokumente/P_24_E_22-12-2016_scrp.pdf.
- Institute of Technology, Sligo [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://itsligo.ie/>.
- Архитектурная сетка HAYER & BOECKER [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.architekturnayasetka.com/ru/>.
- Будівельна кліматологія. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі: ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 / Мінрегіонбуд України.– К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 131с. – (Державний стандарт України).
- Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів : ДСП 173. [Затверджені наказом МОН України від 19 червня 1996 р.] / МОН України. — К. : МОН України, 1996. — 65 с. — (Державні санітарні норми України).
- Планування і забудова міських і сільських поселень: ДБН 360-92** / Мінрегіонбуд України.– К. : Укарбудінформ, 2002. – 136с. – (Державні будівельні норми України).
- Світлопрозорі огороження будинків : навч. посібник для студ вищ. навч. закл. / О. Л. Підгорний, І. М. Щепетова, О. В. Сергейчук, О. М. та ін. ; під ред. О. Л. Підгорного — К. : Домашевська О.А., 2005. — 282 с.
- Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2016 / Мінрегіонбуд України.– К. : Укарбудінформ, 2017. – 30с. – (Державні будівельні норми України).

Стаття надійшла в редакцію 04.04.2017

Рецензент: д.т.н., проф. О.В. Сергейчук, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Андропова Ольга Володимирівна

Асистент кафедри архітектурних конструкцій,

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Рубан Олена Володимирівна

Студент 3 курсу архітектурного факультету

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Бончик Вікторія Юрївна

Студент 3 курсу архітектурного факультету

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

АНАЛИЗ ВНЕШНИХ СОЛНЕЦЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ НА ПРИМЕРЕ АРХИТЕКТУРНО-ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СЕТОК

Аннотация. Использование архитектурно-пространственных металлических сеток в проектировании и строительстве зданий и сооружений дают возможность решить вопросы по солнцезащите и улучшить внешний вид здания придавая ему неповторимый индивидуальный характер. Основными функциональными характеристиками архитектурных сеток можно считать: защита от солнца, естественная вентиляция, долговечность. Это способствует повышению энергоэффективности здания..

Ключевые слова: архитектурно-пространственная металлическая сетка, навесной фасад, солнцезащитные устройства.

Olga Andropova

Assistant Department of Architectural Constructions,

Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kiev

Elena Ruban

3-year student of the Architectural Faculty,

Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kiev

Victoria Bonchik

3-year student of the Architectural Faculty,

Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kiev

ANALYSIS OF EXTERNAL SHADING DEVICES OF ARCHITECTURAL AND STRUCTURAL METAL GRIDS

Abstract. Using of architectural and structural metal grid for design and construction of buildings make possible to solve the problem of shading devices and create individual buildings character. The main functional characteristics of architectural grids considered: shading devices, natural ventilation and their durability. Operation and maintenance to improve energy efficiency of buildings.

Keywords: Architectural and structural metal grids, ventilated facade, shading devices.

УДК 697.1

Басок Борис Іванович

*Доктор технічних наук, професор, завідувач відділом, ORCID: 0000-0002-8935-4248
Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ*

Лисенко Оксана Миколаївна

*Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, ORCID: 0000-0003-3981-9796
Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ*

Олійник Людмила Василівна

*Старший науковий співробітник, ORCID: 0000-0001-5641-5342
Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ*

Луїна Анастасія Олександрівна

*Науковий співробітник, ORCID: 0000-0002-3487-1272
Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ*

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОСПОЖИВАННЯ БУДІВЕЛЬ

***Анотація.** У зв'язку з постійним підвищенням вартості теплових послуг і обмеженою можливістю здійснювати їх оплату бюджетними організаціями виникає необхідність зменшення споживання теплової енергії будівлями, тобто ефективнішого її використання. В статті досліджується теплоспоживання будівель Інституту технічної теплофізики НАН України після впровадження деяких заходів, а саме зменшення загальної опалювальної площі будівель без порушення умов праці для співробітників. В результаті досліджень отримано ряд експериментальних даних параметрів, на основі яких були побудовані графічні залежності та визначені особливості теплоспоживання. Також було розраховано середньодобове споживання теплової енергії будівлями за досліджуваній період в опалювальних сезонах 2015-2017 рр. та здійснено їх порівняння. На основі проведених досліджень встановлено, що після впровадження заходів щодо зменшення теплоспоживання вдалося зекономити майже 30% теплової енергії у порівнянні з попереднім опалювальним періодом.*

***Ключові слова:** теплоспоживання; система опалення; будівля; енергоефективність; енергозбереження*

Постановка проблеми

З постійним підвищенням цін на енергоносії і неспроможністю споживачів вчасно і повністю оплачувати за використану теплову енергію в сьогоденні тяжких умовах життя виникає нагальна потреба у використанні заходів щодо зменшення теплоспоживання, тобто ефективного використання теплової енергії в будівлях. Для вирішення поставленої проблеми необхідно провести дослідження теплоспоживання будівлі в реальних кліматичних умовах після впровадження відповідних заходів.

Аналіз основних досліджень і публікацій

Як відомо, втрати теплової енергії на котельнях становлять до 15 %, в зовнішніх тепломережах – 15-25 %, в житловому фонді – 30-45%. В роботі [1] розглянуто основні джерела енерговитрат в системі комунального тепlopостачання та показані основні шляхи вирішення проблеми підвищення енергоефективності тепlopостачання. Оскільки найбільші втрати теплової енергії становлять у кінцевого споживача (будівлях), тому саме в них потрібно впроваджувати заходи щодо зменшення теплоспоживання. Підвищення енергоефективності будівель можна досягнути комплексом заходів, що

включають в себе заміну вікон, утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій, реконструкцію і утеплення систем опалення і гарячого водopостачання, а також модернізацію теплових пунктів. Однак, це недоцільно проводити без попереднього енергоаудиту будівель [2-3]. Після впровадження вказаних заходів можливо досягнути зменшення теплоспоживання до 50 %. Відомий позитивний міжнародний досвід підвищення енергоефективності будівель та модернізації системи тепlopостачання [4-7].

Формулювання мети статті

Основною метою роботи є дослідження енергоефективності теплоспоживання будівель ІТТФ НАН України на основі отриманих експериментальних даних параметрів після впровадження заходів щодо зменшення споживання теплової енергії бюджетною установою. Для цього було вирішено зменшити загальну опалювальну площу, шляхом повного відключення від опалення одного з чотирьох корпусів, при цьому умови праці для співробітників не порушувались, так як попередньо були вжиті заходи із їх тимчасового оптимального ущільнення шляхом переселення на період зимового опалювального сезону в інші приміщення.

Виклад основного матеріалу

Дослідження проводились в ІТТФ НАН України, використовуючи за об'єкт дослідження будівлі ІТТФ НАН України по вул. Булаховського, 2, що включають в себе чотири однотипні корпуси, площа кожного з яких становить 3240 м². Слід відмітити, що всі будівлі мають систему теплопостачання елеваторного типу без регулювання подачі теплоти в залежності від температури зовнішнього повітря [8]. Однак у 2011 році було впроваджено в одному з корпусів (корпус №1) індивідуальний тепловий пункт, що забезпечує погодозалежне регулювання теплоспоживанням будівлі та зменшення витрат теплової енергії у періоди відсутності людини (нічний час, неробочі, вихідні та святкові дні) за рахунок зниження температури повітря в приміщеннях [9, 10]. При підготовці до опалювального сезону 2016-2017 рр. було проведено заходи стосовно зменшення споживання теплової енергії Інститутом, а саме було зменшено загальну опалювальну площу, шляхом повного відключення від опалення корпусу №3. Таким чином, до опалювальних будівель відносяться корпуси №1, №2 та третій поверх корпусу №4. Зазначимо, що в опалювальному сезоні 2015-2016 рр. опалювалися всі 4 корпуси.

На рис. 1 показано графічні залежності основних характеристик теплоспоживання будівель в реальних кліматичних умовах до впровадження заходів зменшення споживання теплової енергії, а на рис. 2 – після їх впровадження. З рис. 1 видно, що

максимальне споживання теплової енергії 4-а будівлями становило $E = 9,3$ Гкал/добу при температурі зовнішнього повітря $-10,0^{\circ}\text{C}$, при цьому температура подавального теплоносія дорівнювала майже $80,0^{\circ}\text{C}$, а витрати теплоносія $G = 287$ м³/добу. Як видно з рис. 2, максимальне споживання теплової енергії після зменшення загальної площі опалювання будівель становило $E = 7,3$ Гкал/добу при температурі зовнішнього повітря $-12,5^{\circ}\text{C}$, при цьому температура подавального теплоносія дорівнювала $77,0^{\circ}\text{C}$, а витрати теплоносія $G = 224$ м³/добу. Проведемо розрахунок середньодобового споживання теплової енергії будівлями за досліджуваний період в опалювальних сезонах 2015-2016 рр. та 2016-2017 рр., використовуючи тільки доби повноцінного опалення. Отже, в 2015-2016 рр. середньодобове споживання теплової енергії 4-х будівель становить 6,5 Гкал/добу за 60 діб при температурі зовнішнього повітря $+1,0^{\circ}\text{C}$, а в 2016-2017 рр. середньодобове споживання теплової енергії 3-х будівель становить 5,2 Гкал/добу за 28 діб при температурі зовнішнього повітря $-2,8^{\circ}\text{C}$.

Для визначення економії споживання теплової енергії після вжитих заходів стосовно зменшення теплоспоживання будівель в ІТТФ НАН України оберемо період (1 доба) при однакових умовах, в т.ч. кліматичних. Таким чином, добове споживання теплової енергії у 2016-2017 рр. зменшилось майже на 30% у порівнянні з попереднім опалювальним періодом.

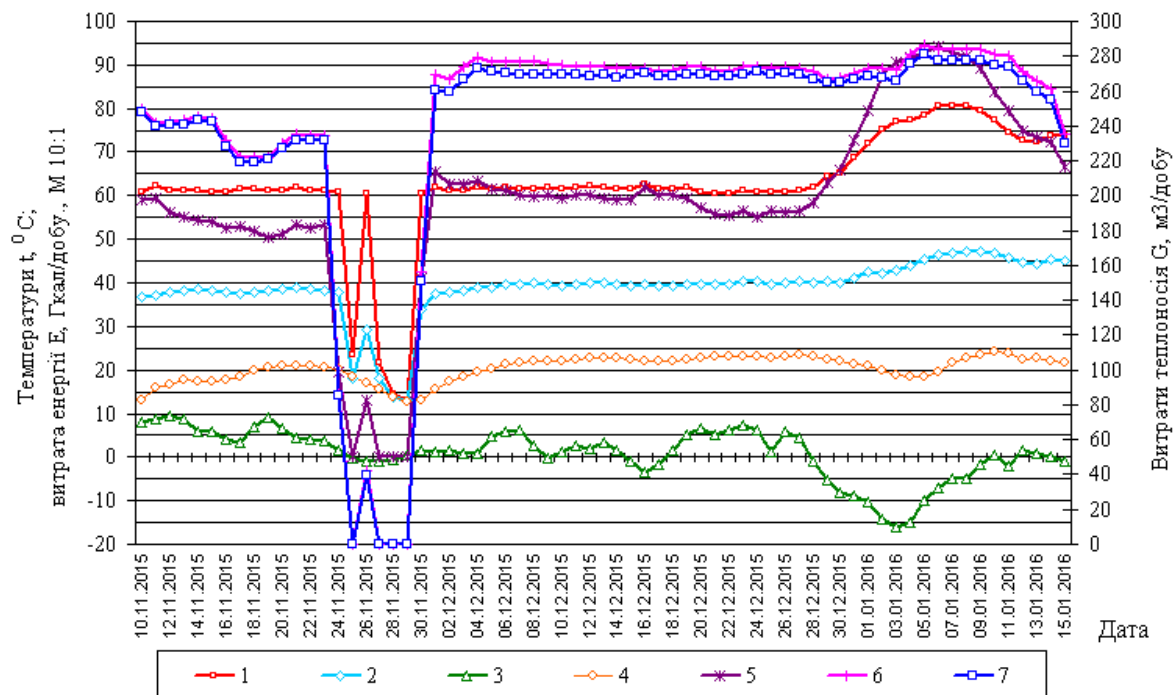


Рисунок 1 – Середньодобові характеристики системи теплоспоживання 4 будівель ІТТФ НАН України в опалювальному сезоні 2015-2016 рр.: 1 – температура теплоносія в подавальному трубопроводі; 2 – температура теплоносія в зворотному трубопроводі; 3 – температура зовнішнього повітря; 4 – температура внутрішнього повітря; 5 – витрата теплової енергії (масштаб 10:1); 6 – витрата теплоносія в подавальному трубопроводі; 7 – витрата теплоносія в зворотному трубопроводі

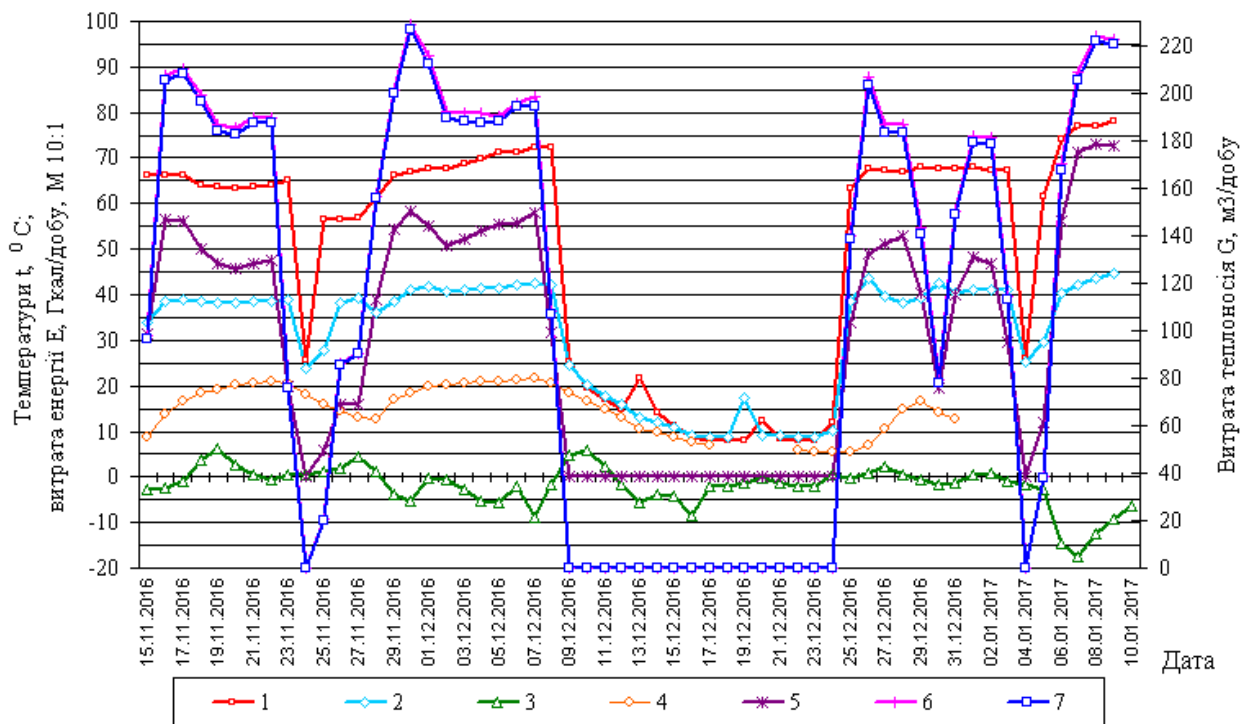


Рисунок 2 – Середньодобові характеристики системи теплоспоживання 3 будівель ІТТФ НАН України в опалювальному сезоні 2016-2017 рр.: 1 – температура теплоносія в подавальному трубопроводі; 2 – температура теплоносія в зворотному трубопроводі; 3 – температура зовнішнього повітря; 4 – температура внутрішнього повітря; 5 – витрата теплової енергії (масштаб 10:1); 6 – витрата теплоносія в подавальному трубопроводі; 7 – витрата теплоносія в зворотному трубопроводі

Висновки

В зв'язку з кризовою ситуацією фінансування комунальних витрат закладів науки і освіти в країні нагально потрібно впроваджувати заходи стосовно суттєвого зменшення споживання теплової енергії та електроенергії. Без додаткових фінансових затрат можливим стало тільки ефективніше використовувати загальну площу будівель при тимчасовому (на опалюваний період) ущільненні

розташування співробітників в кабінетних та офісних приміщеннях. В ІТТФ НАН України таким чином було зменшено опалювальну площу без суттєвих порушень недотримання умов праці співробітників. На основі отриманих експериментальних даних після впроваджених заходів з економії комунальних видатків вдалося зекономити до 30 % теплової енергії з відповідним зменшенням оплати за теплотабезпечення.

Література

1. Немировский И.А.. Энергоэффективность систем теплоснабжения / И.А.. Немировский // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2012. – №08 (102). – С. 25-29.
2. ДСТУ ISO 50002:2016 (ISO 50002:2014, IDT) Енергетичні аудити. Вимоги та настанова щодо їх проведення.
3. Лівінський О. М. Технічне обстеження та енергоаудит будинків і споруд / О. М. Лівінський, В. А. Євтушенко // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві – 2010. – №2 (9). С. 159-170.
4. Андреевко Н.А. Международный опыт повышения энергоэффективности зданий. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ecoproject.by/sites/default/files/International%20experience%20of%20energy%20efficiency.pdf> – назва з екрану.
5. Семенов В. Г. Опыт Польши в теплоснабжении – урок для России. [Електронний ресурс] / В. Г. Семенов // Эско. – 2007. – №8. – Режим доступу: http://esco-ecosys.narod.ru/2007_8/art123.htm – назва з екрану.
6. Наумчик Е. М. Оптимизация системы теплоснабжения Минска / Е. М. Наумчик // Энергосбережение. – 2011. – №1. – С 60-65.
7. Пярнасте В. Х. Опыт реализации проекта по реконструкции теплового хозяйства в городе Нарва / В. Х. Пярнасте, О. Е. Рыжаков // Новости теплоснабжения. – 2008. – №5 (93). – С. 15-19.
8. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети: [учеб. для вузов] / Е. Я. Соколов. – М.: МЭИ, 2001. – 472 с.
9. Пат. 70590 Україна, МПК (2012.01), F24D 15/00, F24D 3/02 (2006.01). Індивідуальний тепловий пункт / А. А. Долінський, Б. І. Басок, О.М. Лисенко, А.О. Авраменко, А.Р. Коба, А.І. Тесля, М.А. Хибина; заявник та власник Інститут технічної теплофізики НАН України. – № і 201109780; заявл. 08.08.2011; опубл. 25.06.2012, Бюл. № 12. – 3 с.

10. Лисенко О. М. Управління теплопостачанням будівлі на основі використання індивідуального теплового пункту оригінальної конструкції / О. М. Лисенко, Л. М. Кузьель, І. К. Божко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2015. – Т. 1, N 8(73). – С. 61-67. – Режим доступу: DOI: 10.15587/1729-4061.2015.37917.

Стаття надійшла в редколегію 07.04.2017

Басок Борис Іванович

Доктор технических наук, профессор, заведующий отделом, ORCID: 0000-0002-8935-4248
Институт технической теплофизики НАН Украины, Киев

Лысенко Оксана Николаевна

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ORCID: 0000-0003-3981-9796
Институт технической теплофизики НАН Украины, Киев

Олейник Людмила Васильевна

Старший научный сотрудник, ORCID: 0000-0001-5641-5342
Институт технической теплофизики НАН Украины, Киев

Лунина Анастасия Александровна

Научный сотрудник, ORCID: 0000-0002-3487-1272
Институт технической теплофизики НАН Украины, Киев

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЙ

Аннотация. В связи с постоянным повышением стоимости тепловых услуг и ограниченной возможностью осуществлять их оплату бюджетными организациями возникает необходимость уменьшения потребления тепловой энергии зданиями, то есть более эффективного ее использования. В статье исследуется теплопотребления зданий Института технической теплофизики НАН Украины после внедрения некоторых мероприятий, а именно уменьшение общей отапливаемой площади зданий без нарушения условий труда для сотрудников. В результате исследований получен ряд экспериментальных данных параметров, на основе которых были построены графические зависимости и определены особенности теплопотребления. Также было рассчитано среднесуточное потребление тепловой энергии зданиями за исследуемый период в отопительных сезонах 2015-2017 гг. и осуществлено их сравнение. На основе проведенных исследований установлено, что после внедрения мероприятий по уменьшению теплопотребления удалось сэкономить почти 30% тепловой энергии по сравнению с предыдущим отопительным периодом.

Ключевые слова: теплопотребление; система отопления; здание; энергоэффективность; энергосбережение

Basok Boris

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of department, ORCID: 0000-0002-8935-4248
Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev

Lysenko Oksana

Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, ORCID: 0000-0003-3981-9796
Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev

Oleynik Ludmila

Senior Researcher, ORCID: 0000-0001-5641-5342
Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev

Lunina Anastasia

Researcher, ORCID: 0000-0002-3487-1272
Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev

INCREASE ENERGY EFFICIENCY HEAT CONSUMPTION OF BUILDINGS

Abstract. In connection with the constant increase in the cost of thermal services and the limited ability to pay for them by budget organizations, there is a need to reduce the consumption of thermal energy by buildings, that is, more efficient use of it. The article studies the heat consumption of the buildings of the Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine after the introduction of some measures, namely the reduction of the total heated area of buildings without disturbing the working conditions for employees. As a result of the research, a number of experimental parameters were obtained, on the basis of which graphical dependencies were constructed and the features of heat consumption were determined. Also, the average daily heat consumption of buildings for the period studied in the heating seasons 2015-2017 was calculated and was compared them. Based on the studies conducted, it was found that after the introduction of measures to reduce heat consumption, it was possible to save almost 30% of the heat energy in comparison with the previous heating period.

Keywords: heat consumption; heating system; building; energy efficiency; energy saving

УДК 620:621

Басок Борис Іванович

член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор, завідуючий відділом ТОЕТ Інституту технічної теплофізики НАН України, ORCID 0000-0002-8935-4248,
 Інститут технічної теплофізики НАН України м. Київ, Україна

Недбайло Олександр Миколайович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу ТОЕТ Інституту технічної теплофізики НАН України, ORCID: 0000-0003-1416-9651,
 Інститут технічної теплофізики НАН України м. Київ, Україна

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СФЕРИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ УКРАЇНИ

Анотація. Розглянуто тенденції розвитку теплоенергетики світ і Європи та перспективи розвитку сфери теплозабезпечення населених пунктів України, включаючи основні правові, організаційні та технологічні заходи на дальній та ближній час.

Ключові слова: Теплоенергетика; енергетична стратегія; теплозабезпечення населення; енергоефективність

Постановка проблеми. На сьогодні в сфері теплоенергетики України [1], зокрема в галузі теплозабезпечення населених пунктів, найбільш акцентовано виділяються блоки із невирішених проблемних завдань, що наведені в табл. 1.

Таблиця 1

	Проблемні питання теплоенергетики	доля впливу на результат
1	Стратегія розвитку теплоенергетики України. Вдосконалення законодавчо-правової та нормативно-технічної бази.	0,25
2	Вдосконалення цінової і тарифної політики. Створення сприятливого інноваційного та інвестиційного середовища. Фінансово-економічна політика на шляху до ринкових відносин.	0,15
3	Вдосконалення системи управління комунальною теплоенергетикою.	0,10
4	Інноваційна технічна та технологічна політика. Розвиток паливної бази.	0,40
5	Підготовка, перепідготовка і підвищення кваліфікації кадрів в сфері комунальної теплоенергетики.	0,05
6	Пропаганда в суспільстві енергоекономічного стилю життя.	0,05

Наразі доля впливу організаційних, економічних, інформаційних та освітніх завдань на досягнення успішного стану теплоенергетики співрозмірна (і навіть дещо більша) з важністю вирішення суто технічних та технологічних проблем. А тому ретельне дослідження тенденцій розвитку, ефективних управлінських рішень, організаційних та еконо-

мічних підходів до розвитку теплоенергетики є надзвичайно актуальним.

В роботі розглядаються організаційно-економічні заходи і механізми щодо модернізації теплоенергетики в Україні, які включають: фінансово-економічні механізми залучення інвестицій в модернізацію систем тепlopостачання; механізми підвищення ролі держави у створенні стимулюючих заходів по реалізації інвестиційних проєктів, енергоефективних технологій і енергозберігаючих заходів; методи та програмні засоби організаційно-технологічного управління підвищенням ефективності існуючих систем тепlopостачання за критеріями сталого розвитку; ЕСКО та енергетичний менеджмент як механізми впровадження перспективних енергоефективних технологій в Україні.

Ці задачі підпорядковані таким цільовим орієнтирам, як збільшення інвестицій в оновлення теплозабезпечення, зниження витрат і підвищення якості надання послуг. Реалізація проєктів здійснюється через систему методів, механізмів та заходів з урахуванням кількісних і якісних індикаторів і показників енергетичної, економічної та екологічної ефективності процесів виробництва, транспортування і використання теплової енергії за умов переходу від енерговитратних механізмів до інноваційних технологій.

Світові тенденції розвитку теплоенергетики. Інновації в енергетиці мають ярко виражений інтернаціональний і характері глобальні тренди, що ґрунтовані на результатах багатьох наук і які створюють ідейні та науково-технічні умови для розвитку енер-

гетичної бази людства [2]. На прикладі застосування теплофізики і теплоенергетики це ілюструє рис. 1, який запозичений із [2]. Наведемо деякі висновки прогнозу МЕА [3], підготовленого майже 2000 спеціалістами країн, що входять в Організацію економічного співробітництва і розвитку OECD. Пріоритетами визнано 8 класів ключових технологій виробництва енергії (перша строчка в табл. 2) та 9 класів використання енергії (для теплоенергетики – три технології - це друга строчка, для транспорту(4 технології) та промисловості (дві) технології не наведені). Для кожного класу технологій розроблено детальні «дорожні карти» їх включення в інноваційну енергетику з термінами та обсягами науково-

дослідницьких та дослідно-конструкторських робіт, обсягами впровадження і необхідними для цього капіталовкладеннями [2]. Для теплоенергетики представлено тренд активного підвищення енергоефективності при кінцевому споживанні як теплоти, так і електроенергії, та застосування відновлюваних джерел енергії – інсоляції та енергії довікля через застосування теплонасосних технологій. Ще один вектор розвитку – це збільшення використання електроенергії як для прямого нагріву теплоносія, так і для теплонасосних систем (на основі електричного приводу) теплозабезпечення і охолодження будівель.



Рис. 1. Научно-технические аспекты теплоэнергетики.

Таблица 2

Витрати на дослідження та розробки по ключовим технологіям в енергетиці, в трлн. \$США, дані 2007 р., [1].

Ключові технології в енергетиці	Витрати
Виробництво електроенергії	3,2 - 3,8
1. Атомні електростанції	0,6 – 0,75
2. Вітрові електростанції	0,6 – 0,7
3. Вугільні установки з надкритичними параметрами пари	0,35 – 0,4
4. Парогазові електростанції з внутрішньоцикловою газифікацією вугілля	0,35 – 0,4
5. Парогазові електростанції з газифікацією біомаси	0,1 – 0,13
6. Перетворювачі сонячної енергії в біомасу	0,2 – 0,24
7. Концентратори сонячної енергії	0,3-0,35
8. Уловлювання та захоронення CO ₂ на теплових електростанціях	0,7 – 0,8
Споруди і будівлі (кінцеве споживання)	0,32 – 0,42
1. Енергоефективні будівлі та побутові прилади	Немає даних
2. Теплові насоси	0,07 – 0,12
3. Сонячне опалення та нагрівання води	0,25 – 0,3

Дані наведено для умови скорочення емісії парникових газів в 2050 р. до рівня 2005 р. (28 млн. т еквіваленту CO₂).

В сучасній світовій енергетиці реалізуються нові тенденції, що визначають зростання до середини XXI століття ролі трьох чинників: енергоефективності, нетрадиційних джерел енергії (в т. ч. поновлюваних і екологічно чистих) і пов'язаної з ними розподіленої генерації з так званими «інтелектуальними» мережами передачі енергії. Енергетичні експерти почали оперувати сучасними поняттями: «нова енергетика», «чиста енергетика», «нова енергія», «інтелектуальна енергія», «цифрова енергія», білінг, smart-системи, grid-технології, адитивні технології, «хмарні» технології, технології big data. Крім нових дефініцій з'явилися і нові вимоги до класичних процесів енергогенерації, наприклад, вискоелективна когенерація (яка забезпечує первинну економію енергії щонайменше в 10% в порівнянні з роздільним виробництвом тепла та електроенергії) або маломасштабна когенерація і мікрокогенерація; "ефективне централізоване тепlopостачання та охолодження" (означає центральне тепlopостачання або охолодження за допомогою, щонайменше, 50% поновлюваних джерел енергії, 50% відпрацьованого тепла, 75% тепла від когенерації або 50% від комбінації зазначених енергії і тепла) [4].

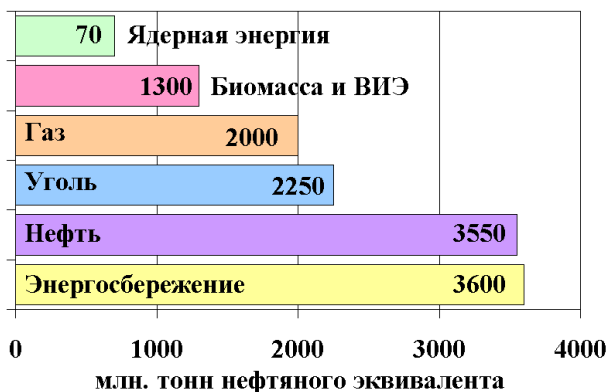


Рис. 2. Вклад енергоресурсів в світовому балансі [5].

На початку XXI століття енергоефективність стала одним з основних енергоресурсів в енергетичному балансі світу (рис. 2) і ЄС. У енергобаланс України цей енергоресурс поки ще не включений в належній мірі. В літературі [6] з'явився вже термін, що характеризує підвищення енергоефективності - «негаджоуль»: - него (латинь) – «заперечую», тобто це як би «віртуальний» джоуль. Оскільки «негаджоулі», що залучені в енергобаланс, не видобуваються з родовищ, не вилучаються з навколишнього середовища і вони, природно, не зазнають ніяких перетворень, то цей енергоресурс може бути віднесений до екологічно абсолютно чистих енергоресурсів. Як видно з рис. 1, енергоресурси у вигляді «негаджоулів» може бути співмірним з іншими енергоресурсами в структурному енергобалансі світу.

Підводячи проміжний підсумок, слід підкреслити сучасні стійкі тенденції розвитку світової енергетики:

- глобальне використання енергоефективності та енергозбереження;
- сталий розвиток суспільства, включаючи використання відновлюваної та альтернативної енергетики та підвищення її декарбонізації;
- інформатизація і інтелектуалізація енергетики;
- зміщення акцентів уваги з енергогенерації на ефективний розподіл і, особливо, на кінцевого споживача енергоресурсів - населення і економіку країни (світу). Перехід від «ринку продавця» до «ринку покупця». Зміна статусу споживача, можливість кінцевого користувача керувати енергосистемою.

На сьогодні в провідних країнах формується нова енергетична філософія, основні риси якої: енергоефективність; інтелектуальні енергетичні системи, побудовані відповідно до концепції Smart Grid; децентралізація енергетики; нові джерела енергії. Більш того, в деяких країнах почався перехід до енергетики 4-го інвестиційного циклу, а саме від моделі «енергоефективність +» (ренесанс існуючої енергетики (атомна, вугільна, ВДЕ) при демпфюванні її негативних сторін, запуск програм енергоефективності другої хвилі (на лінії управління споживанням), CCS, посилення в балансі відновлюваної енергетики тощо) до концепції моделі «ринок потужності» (лібералізація ринку в сфері генерації, розосереджена генерація; Smart Grid в версії «активні мережі», замість ринку енергетичних послуг і палива - ринок енергетичних потужностей і вихід на нього «покупця - продавця» (активні будинки, електротранспорт і т.п.); перебудова міст) [7].

Політика ЄС в сфері теплоенергетики. Зниження споживання енергії та усунення втрат енергії набуває все більшого значення для світу і, зокрема для ЄС. У 2007 році лідери ЄС вирішили знизити цільовий показник річного споживання енергії Європейського Союзу для 2020 року на 20%? Збільшити використання ВДЕ на 20% та зменшити викиди парникових газів теж на 20%. Заходи з підвищення енергоефективності все частіше проявляється як засіб не тільки досягнень сталого енергопостачання, скорочення викидів парникових газів, підвищення безпеки поставок і зниження витрат на імпорт, але і сприяння конкурентоспроможності європейських економік. Європейська Рада 21 березня 2014 підтвердила дієвість енергоефективності по зниженню витрат на енергію і рівня енергетичної залежності. Цьому передувала послідовна політика ЄС щодо встановлення стандартів енергоефективності, зокрема, були прийняті основні «енергетичні» директиви: 2006/32/ЄС про ефективність кінцевого викорис-

тання енергії; 2012/27/ЄС про енергетичну ефективність; 2004/8/ЄС про заохочення когенерації; 2009/28/ЄС про стимулювання використання енергії з відновлюваних джерел; 2010/31/ЄС про енергетичну ефективність будівель; 2003/87/ЄС про торгівлю квотами на викид парникових газів; 2009/72/ЄС про загальні правила для внутрішнього ринку електрики; 2009/73 ЄС про загальні правила для внутрішнього ринку природного газу; 2009/31/ЄС про геологічне зберігання вуглекислого газу; 2010/75/ЄС про промислові викиди; 2009/125/ЄС про введення правового регулювання для встановлення вимог екологічності до енергоспоживаючої продукції; 2008/1/ЄС про комплексне запобігання забрудненню і контролю над ним і деякі інші: 2004/18/ЄС 2009/125/ЄС, 2011/65/ЄС, 2012/19/ЄС а також стандарти сучасного енергетичного менеджменту ISO 500XX.

Розвиток тренду теплоенергетики в енергетичній політиці України. Моделювання стратегічного розвитку енергетики України надзвичайно складна задача, так як на динаміку енергетичних процесів прямо чи опосередковано впливає безліч стратегічних чинників як соціального, так і природного характеру (обсяги викопних палив, тенденції глобального потепління, кліматичні умови, стихійні явища тощо). До них відносяться аспекти як внутрішньої, так і зовнішньої політики; міжнародні відносини; тенденції світової економіки; інтеграційні чи антиглобалістські процеси; можливі загрози і ризики, в т.ч. територіальні суперечки та війни; стан інноваційного розвитку суспільства тощо. Значний вплив на динаміку розвитку енергетики здійснює економіка країни, бо енергетика, являючись судинною системою економіки, суттєво залежить від її структури. Тому адекватне і повне моделювання економіко-енергетичних процесів як на близьку, так і, що вкрай необхідно, на далеку перспективу - на декілька десятиліть вперед, є вкрай актуальним та важливим. Найбільш вживані в Україні моделі економічні моделі енергетичного прогнозування [1].:

1. Макроекономічна модель стратегії розвитку енергетики TIMES-Україна, ДУ "Інститут економіки та прогнозування НАН України".
2. Програма «ФОРСАЙТ», створена в інститут системного аналізу НТУУ «КПІ».
3. LEAP-модель (Long-range Energy Alternatives) - є інтегрованим інструментом моделювання, який можна використовувати для відстеження енергетичного споживання, виробництва і видобутку ресурсів для всіх секторів економіки.
4. Модель Хольта-Вінтерса, в якій потрійне експоненціальне згладжування застосовується для енергетичних процесів, які мають тренд і сезонну складову.

5. MARKAL/TIMES - технологічно дуже потужна енергетично/економічно/екологічна модель, яка була розроблена під егідою МЕА в рамках Програми аналізу енергетичних систем (ETSAP).

6. Моделі економічної фізики та еволюційної економіки, зокрема модель міжчасової рівноваги економіки (Росія).

Останнім часом в Україні в законодавчому полі і в політиці виконавчої влади активізувалася діяльність по пропаганді енергоефективності та реальним шляхам її реалізації в сфері теплоенергетики. До знакових заходів у цьому напрямку відносяться:

1. Проект «Енергетична стратегія України на період до 2035 року», підготовлений в 2014 р. Національним інститутом стратегічних досліджень, і проект «Нова енергетична стратегія на період до 2020 року: безпека, енергоефективність, конкуренція», підготовлений в 2015 р. Центром Розумкова, були в 2016 р. об'єднані в проект нової енергетичної стратегії України до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкуренція» та було проведено його обговорення в суспільстві. Слід зауважити, що в порівнянні зі стратегіями 2006 і 2013 років. в останньому об'єднаному проекті окремими блоками представлені: теплозабезпечення населення і промисловість, відновлювальна енергетика та енергоефективність, включаючи підрозділ підвищення енергоефективності будівель. Причому в матеріалах нової стратегії до 2035 року, в яких розглядаються конкретні сектори енергетики, на перше місце ставиться енергоефективність, далі йдуть електроенергетика, теплоенергетика, видобуток газу, вугілля, нафти, а потім відновлювальна енергетика. Так розставлені пріоритети впливу на ситуацію в енергетиці. Деякі прогностичні цільові індикатори нової стратегії до 2035 року та їх часові значення наведені в табл. 3.

2. Розробка та реалізація двох національних планів дій до 2020 року з відновлюваної енергетики та з енергоефективності з відповідними секторальними дорожніми картами. Значне місце в них займають проблеми теплоенергетики.

3. Розробка проектів декількох енергозначимих законів України: по енергоефективності будівель; по фонду енергоефективності; по енергоефективності; по комерційному обліку комунальних послуг; по житлово-комунальних послугам; по тарифу на теплоту при негазовій теплогенерації; по створенню конкурентного ринку теплової енергії; по енергосервісним компаніям (станом на 1 квітня 2017 р.).

4. Проекти науково-технічної та експертного середовища з прогнозування на далеку перспективу соціально-економічного розвитку України, включаючи дослідження спільної динаміки економіки і енергетики. До основних матеріалів останнього часу від-

носяться: Стратегія сталого розвитку "Україна - 2020" (Указ Президента України від 12 січня 2015 р., №5/2015); «Форсайт 2016» - сценарій соціально-економічного розвитку України до 2020 і 2030 років [8]; концепція реалізації державної політики у сфері

теплопостачання Мінрегіону України (2017 р.) [9]. Як характерний приклад в табл. 4 наведено етапи реалізації концепції Мінрегіону України та їх очікувані результати. Наразі концепція знаходиться на розгляді в КМ України.

Таблиця 3

Стратегічні цільові параметри енергетичної безпеки на період до 2035 р.

Опис ключового показника ефективності	2015	2020	2025	2030	2035
Енергоємність ВВП, ЗППЕ т н.е./тис. дол. ВВП (ПКС)	0.25	0.19	0.17	0.14	0.12
Споживання електроенергії домогосподарствами, МВт·годин/рік	2,2	2.1	≤2	≤2	≤2
Споживання тепла домогосподарствами, Мкал/м ² /рік	128	<118	<100	<90	<80
Витрати палива на відпущену електроенергію наТЕС, г.у.п./кВт·год	396	384	367	353	334
Питомі витрати при виробництві тепла котельнями, кг.у.п./Гкал	165	160	155	150	145
Частка втрат в електромережах, %	>12	10	9	8	<7.5
Частка втрат в тепломережах, %	>20	<17	<13	<11	<10
Тепломережі у аварійному стані, %	>20	<18.6	<4.4	<3	<1

Таблиця 4

Етапи реалізації концепції Мінрегіону України (2017 р.).

до 2018 року	до 2025 року	до 2035 року
<ul style="list-style-type: none"> покращення прозорості та ефективності взаємовідносин у галузі; стабілізація економічного стану та поліпшення умов для модернізації технічної бази підприємств теплоенергетики; визначення шляхів подальшого розвитку теплопостачання у населених пунктах держави. 	<ul style="list-style-type: none"> інвестиційно-інноваційний розвиток ТКЕ при масовій термомодернізації будівель (40 - 50 % будівель); переозброєння систем теплозабезпечення на всіх етапах технологічного процесу, досягнення середнього по країні рівня споживання теплової енергії в будівлях 60 -80 кВт/м²/рік; досягнення частки використання альтернативних джерел енергії в загальному балансі теплозабезпечення до 30 %; перехід на ринкові умови функціонування ТКЕ; розвиток реального конкурентного середовища в сфері теплопостачання. 	<ul style="list-style-type: none"> інвестиційно-інноваційний розвиток системи Теплокомуненерго (ТКЕ) при завершенні 100% термомодернізації будівель; переозброєння систем теплозабезпечення на всіх етапах технологічного процесу, досягнення середнього по країні рівня споживання теплової енергії в будівлях 40 -20 кВт/м²/рік; досягнення частки використання альтернативних джерел енергії в загальному балансі теплозабезпечення до 40 %.

Інноваційні технології теплоенергетики України на ближню перспективу. В проекті Постанови КМ України про визначення середньострокових пріоритетних напрямів інноваційної діяльності галузевого рівня на 2017-2021 рр. в напрямку №1 «Освоєння нових технологій транспортування енергії, впровадження енергоефективних, ресурсозберігаючих технологій, освоєння альтернативних джерел енергії» передбачається для піднапрямків:

1.2. – «Освоєння нових технологій створення енергогенеруючих потужностей на основі когенераційних установок» використання інноваційних технологій:

- освоєння технологій та устаткування для високо-ефективної когенерації;
- освоєння технологій та устаткування для когенерації на твердому біопаливі;
- освоєння технологій та устаткування для когенерації на біогазі сміттєзвалищ і полігонів ТПВ;

1.4. – «Освоєння нових технологій будівництва і експлуатації житлових та громадських будівель і споруд» використання інноваційних технологій:

- створення та експлуатація енергоефективних будівель та споруд (з витратою теплоти для потреб опалення, меншою 75 кВт·годин на 1 кв. м. за опалюваний період);
- створення та експлуатація будівель високої енергетичної ефективності (з витратою теплоти для потреб опалення, меншою 40 кВт·годин на 1 кв. м. за опалюваний період);
- пасивного типу (з витратою теплоти для потреб опалення, меншою 15...20 кВт·годин на 1 кв. м. за опалюваний період);
- створення та експлуатація будівель типу «0-енергії»;
- створення «розумних» («інтелегентних») будівель;

- створення будівель як Smart-систем. Впровадження білінггових систем.
 - створення енергоефективних міст. Створення Smart-City;
 - освоєння технологій облаштування теплової ізоляції стінових фасадів протягом всього календарного року;
 - освоєння технологій використання високоефективних світлопрозорих конструкцій з високим термічним опором теплопередачі та з локальною пасивною вентиляцією повітря;
 - освоєння низькотемпературних систем опалення будівель;
 - освоєння систем опалення будівель на основі використання теплових насосів;
 - освоєння централізованих систем холодопостачання будівель;
 - освоєння систем гарячого водопостачання на основі використання сонячної енергії;
 - освоєння рекуперативних систем вентиляції з додатковим догрівом припливного повітря;
 - освоєння пасивних систем повітряного теплозахисту будівель на основі використання ґрунтових теплообмінників;
 - створення і впровадження пристроїв автоматики для управління електроспоживанням кінцевим побутовим споживачем (населенням) в піковий період та в період нічного «провалу»;
- 1.5. – «Освоєння нових технологій отримання та накопичення енергії з відновлюваних джерел» використання інноваційних технологій:
- освоєння технологій ґрунтового акумулювання (добового, сезонного тощо) і вилучення скидної теплоти;
 - освоєння технологій добового акумулювання і використання теплоти на основі використання твердотільних нагрівальних приладів;
 - освоєння технологій акумулювання і використання теплоти на основі використання ефектів фазового переходу;
- 1.6. – «Освоєння нових технологій енергоефективного спалювання різних видів палива» використання інноваційних технологій:
- освоєння технологій та устаткування для спалювання рослинних пілет в киплячому шарі;
 - освоєння технологій та устаткування для спалювання стебел соняшника і кукурудзи;

1.7. – «Освоєння нових технологій в використанні теплових насосів» використання інноваційних технологій:

- освоєння вітчизняного серійного виробництва теплових насосів;
- створення технологій та устаткування багатоступеневих теплових насосів;
- створення технологій та устаткування для використання теплових насосів на теплоті водо обігових конденсаційних циклах електростанцій;
- створення технологій та устаткування для використання теплових насосів на теплоті термальних вод глибинних свердловин геотермальної енергетики;
- створення технологій та устаткування для теплозабезпечення на основі геліотеплонасосних систем.

Найбільший потенціал підвищення енергоефективності знаходиться в сфері теплопостачання житлово-комунального господарства (ЖКГ) країни. Головною метою для комунальної теплоенергетики України стає вибір стратегічно вивірених рішень щодо розвитку цієї сфери ЖКГ - розробка керівних документів державного значення (концепції, стратегії, програми) і формування на їх основі науково-технічної політики, створення комплексу нормативно-правових актів та науково-організаційних заходів, реалізація яких забезпечить енергоефективне використання енергоресурсів, енергетичну безпеку, сталий розвиток і ефективне функціонування системи теплозабезпечення населених пунктів України.

Висновки

Представлені результати досліджень відображають комплексний підхід до розробки реалістичних стратегій і планів розвитку теплоенергетики України (переважно сфери теплозабезпечення) з акцентом на розробку і вдосконалення організаційно-економічних механізмів модернізації цієї галузі. Представлені науково-обґрунтовані пропозиції вдосконалення управління в сфері теплоенергетики наразі ще не використані в повній мірі, їх реалізація, на думку авторів, дозволила б підвищити показники енергоефективності, економічності та екологічності систем теплозабезпечення з врахуванням сучасних вимог сталого розвитку.

Література

1. Організаційно-економічні механізми модернізації теплоенергетики України / під ред. Баска Б.І. - К.: – 2015. – 338 с.

2. *Фортвов В.Е., Макаров А.А.* Направления инно-вационного развития энергетики мира и России // Успехи физических наук. – 2009. – т. 179. – №12. – С. 1337–1352.
3. Energy Technology Perspectives. Scenarios & Strategies to 2050 (Paris: Intern. Energy Agency, 2008).
4. Директива ЕС 2012/27/ЕС от 25 октября 2012 г. об энергетической эффективности.
5. *Башимаков И.* Закон повышающейся энерго-эффективности. Энергоинформ, №27 (158), 2002.
6. Сам собі пан. Вісник української мережі “Енергоефективні міста”, №3-4, 2005. – С. 17.
7. *Денисюк С.П.* Світові тенденції модернізації енергетичної інфраструктури. Пріоритети для України. Презентація. Конф. «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – REMS’16. <http://pems.kpi.ua/>.
8. *Згуровський М.З.* «Форсайт 2016» Анотація. // – Київ: НТУУ “КПІ імені Ігоря Сікорського”. Видавництво “Політехніка”, 2016. – 20 с. <http://www.minregion.gov.ua/press/news/minregion-rozpochinaye-gromadske-obgovorennya-kontseptsiyi-realizatsiyi-derzhavnoyi-politiki-u-sferi-teplopostachannya/>

Стаття надійшла в редколегію 18.04.2017

Басок Борис Іванович

член-корреспондент НАН України, доктор технічних наук, професор, завідуючий відділом ТОЭТ Інституту технічної теплофізики НАН України, ORCID 0000-0002-8935-4248, Інститут технічної теплофізики НАН України, г. Київ, Україна

Недбайло Александр Николаевич

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу ТОЭТ Інституту технічної теплофізики НАН України, ORCID 0000-0003-1062-7336, Інститут технічної теплофізики НАН України, г. Київ, Україна.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СФЕРЫ ТЕПЛОБЕСПЕЧЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ УКРАИНЫ

Аннотация. Рассмотрены тенденции развития теплоэнергетики мира и Европы. а также перспективы развития сферы теплообеспечения населенных пунктов Украины, включая правовые, организационные и технологические мероприятия на дальнейшее и ближайшее время.

Ключевые слова: Теплоэнергетика; энергетическая стратегия; теплообеспечение населения; энергоэффективность

Basok Borys

Member of NAS Ukraine, Sc.D., professor, ORCID 0000-0002-8935-4248, head of department of Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Nedbailo Alexander

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, ORCID: 0000-0003-1416-9651, Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF HEAT SUPPLY OF THE POPULATION OF UKRAINE

Annotation. The tendencies of the development of the heat and power engineering of the world and Europe are considered. As well as the prospects for the development of the sphere of heat supply for the settlements of Ukraine, including legal, organizational and technological measures for the long and near time.

Keywords: Heat power engineering; energy strategy; heat supply of the population; energy efficiency

УДК 728.1

Бончик Вікторія Юріївна

Студентка 3-го курсу архітектурного факультету

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Кащенко Тетяна Олександрівна

Кандидат архітектури, доцент кафедри архітектурного проектування цивільних будівель і споруд,

ORCID: 0000-0002-8535-8399

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Селиванов Олексій Ігорович

Асистент кафедри архітектурного проектування цивільних будівель і споруд

ORCID: 0000-0001-9385-0060

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ОБ'ЄКТИ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ ЯК СКЛАДОВА АРХІТЕКТУРНО – ПРЕДМЕТНОГО СЕРЕДОВИЩА

Анотація: Перспективним напрямком енергозбереження у виробничій, транспортній та обслуговуючій сфері є перехід на електрифіковані види транспорту, що передбачає розвиток об'єктів архітектурно-предметного середовища, які функціонально призначені для обслуговування електромобілів.

Ключові слова: енергоефективність; електромобілі; станції обслуговування електромобілів; архітектурно – предметне середовище; архітектура; дизайн

Постановка проблеми

Неперервне зростання енергоспоживання - характерна риса для усього сучасного світу. Це відбувається із значним використанням невідновлювальних природних ресурсів, що супроводжується негативними екологічними наслідками. Для зменшення впливу цієї проблеми проводяться найрізноманітніші заходи, засновані на засадах енергоефективності.

В Україні, як і в більшості європейських країн перспективним напрямком енергозбереження в виробничій, транспортній та обслуговуючій сфері є перехід на електрифіковані види транспорту. Разом з тим, виникає нова функціональна особливість в обслуговуванні транспортних засобів, що вимагає розвитку типології архітектурних об'єктів транспортної інфраструктури. Все це призводить до удосконалення існуючої типології архітектурних об'єктів та до появи нових об'єктів промислового та середовищного дизайну.

Аналіз основних досліджень та публікацій

В архітектурно – природному середовищі механічні транспортні засоби можуть стати причиною фізичного та хімічного забруднення (шумове, теплове, запилення атмосфери, шкідливі

викиди вихлопних газів). Дослідження в галузі урбоекології вказують на проблему концентрації чадного газу (CO) в атмосфері, особливо негативною ця проблема стає для мегаполісів [1]. Встановлено, що більша частина шкідливих викидів при використанні транспорту, а саме 76%, відноситься до автомобілів [2,3]. Крім того викиди парникових газів, спричинені транспортними засобами, розглядаються фахівцями як один з суттєвих чинників глобальної зміни клімату.

Вирішення цієї проблеми експерти вбачають у зміні транспортної парадигми на основі трьох базових позицій: Avoiding-Shifting-Improving (унікати – змінювати – удосконалювати). «Уникання» передбачає відмову від зайвого використання автотранспорту, «змінування» - гнучкість та ефективність режиму перевезення, «удосконалення» - підвищення ефективності, покращення екологічних показників та розвиток технології [4]. Цій концепції відповідає розробка і впровадження сучасних електромобілів.

Електромобіль — автомобіль, що приводиться в рух одним або декількома електродвигунами з живленням від акумуляторів або паливних елементів, а не двигуном внутрішнього згоряння. На даний момент, розроблений новий концепт електромобіля, в конструкцію якого інтегровані

геліоколектори (рис 1) [5], а також активно впроваджуються електровелосипеди, електроскутери тощо.

Перевагами електромобілів є: відсутність шкідливих викидів, нижчі витрати на експлуатацію автомобіля, тиха робота, можливість підзарядки від побутової електричної мережі, економічна вигідність. Також, електромобіль має переваги в енергоефективному аспекті, адже може використовувати енергію, отриману сонячними електростанціями.

Зважаючи на актуальність даної проблеми, світові автоконцерни активно долучились до її вирішення, про що свідчить запровадження виробництва екологічних, енергоефективних електромобілів. Аналіз авторинку показав, що основними представниками електрокарів в Україні є: Nissan, Tesla та Mercedes-Benz. У 2016 році продаж електромобілів в Україні зріс на 155% у сегменті нових авто і на 550% серед уживаних машин [6]. Кількість зареєстрованих електромобілів в Україні на 2017 рік - 3161 [7].

Разом з тим, масове застосування електромобілів потребує відповідної інфраструктури для їх обслуговування, зокрема підзарядки акумуляторів.

Формулювання мети статті

Таким чином, розвиток енергозбереження призводить до створення нової типологічної одиниці в архітектурно-предметному середовищі. Зарядна електростанція одночасно виступає елементом промислового дизайну сучасного міста, малою архітектурною формою в просторовому середовищі та функціональною одиницею в містобудівному аспекті. Тому актуальним завданням є створення нових та модернізація існуючих станцій, які були б орієнтовані на обслуговування електромобілів.

Основна частина

Інфраструктура зарядних станцій для електромобілів може розвиватися в двох напрямках: гібридні та автономні. Гібридні станції, організовуються включенням зарядних експрес-станцій у вже існуючі АЗС (рис. 2). Автономні зарядні станції, можуть існувати у вигляді окремих комерційних пристроїв (рис. 3), і як повноцінні станції (окремі спеціалізовані споруди) (рис. 4).

Перевагою автономних установок є їхня компактність, що дає можливість розмішувати їх на мінімальних територіях (на звичайних парковках та в паркінгах), не обмежують експлуатацію навколишніх територій, на відміну від звичайних автозаправних станцій. Це дозволяє встановлювати їх в різноманітних громадських місцях, адже вони

вдало вписуються в сучасне архітектурне середовище, підсилюючи та модернізуючи його урбаністичний дизайн а також вони придатні для використання в історичній забудові міста.

Все це стає можливим завдяки відповідному дизайну та конфігурації таких зарядних пристроїв: різноманітні експрес-станції (використовуються на спеціалізованих станціях) (рис. 5), станції серії PostSmart, UrbanPost (комерційні) (рис 6), а також настінні серії WallBox (домашні) (рис. 7) [8].

Загалом в Україні вже обладнано 577 станцій для зарядки електрокарів, близько 140 у столиці. Спочатку, зарядні пункти розмішувалися на території стандартних «бензинових» заправок (ОККО, WOG, SHELL) чи біля великих торгових центрів, потім до них приєдналися деякі з готелів і ресторанів. Аналізуючи розвиток інфраструктури для EV в Україні, можна навести такі значення: станом на січень 2016 року, в Києві налічувалось 31 громадська станція, 7 домашніх, та жодної швидкісної, в Україні – 103 громадських, 12 домашніх і також не було швидкісних зарядних станцій; станом на січень 2017 року, в Києві 107 громадських, 19 швидкісних, 10 домашніх, в Україні 480 громадських, 44 швидкісних та 53 домашніх [7].

Для порівняння можна навести такі значення: США - 2600 зарядних станцій, Японія - 35000, Німеччина - 2000, Велика Британія – 3700.

В залежності від функціональної системи, зарядні пристрої можуть використовувати енергію електромережі, або ж працювати на базі сонячних колекторів. У випадках економічної доцільності перевага надається другій системі, адже екологічність такої станції очевидна - вона використовує енергію сонця і не залежить від загальної електромережі, дозволяючи зарядити машину не використовуючи викопні джерела енергії. Прикладом може слугувати проект станції швидкої зарядки для електромобілів з сонячними панелями (S.CH-150) (рис. 8) [9], одна з різновидів компактних стоянок-зарядок для електричних скутерів і електромобілів (E-Move Charging Station) (рис. 9), а також один із найбільш амбіційних проектів ефективної автостоянки електромобілів майбутнього (Solar Forest) (рис. 10) [10].

Доцільним рішенням є впровадження зарядних станцій в житлових будинках, особливо енергоефективних та орієнтованих на використання альтернативних джерел енергії. Сучасні концепції, такі як: «активний будинок», «будинок плюсової енергії», «пасивний будинок» передбачають досягнення позитивного річного енергетичного балансу. В «активному будинку» та «будинку плюсової енергії» отримується енергії більше ніж



Рисунок 1. Концепт електромобіля, в конструкцію якого інтегровані геліоколектори



Рисунок 2 Гібридна зарядна станція



Рисунок 3. Автономна зарядна станція



Рисунок 4. Окрема спеціалізована зарядна станція



Рисунок 5 Спеціалізовані зарядністанції



Рисунок 6 Зарядні комерційні станції серії PostSmart, UrbanPost



Рисунок7. Зарядні настінні станції серії WallBox

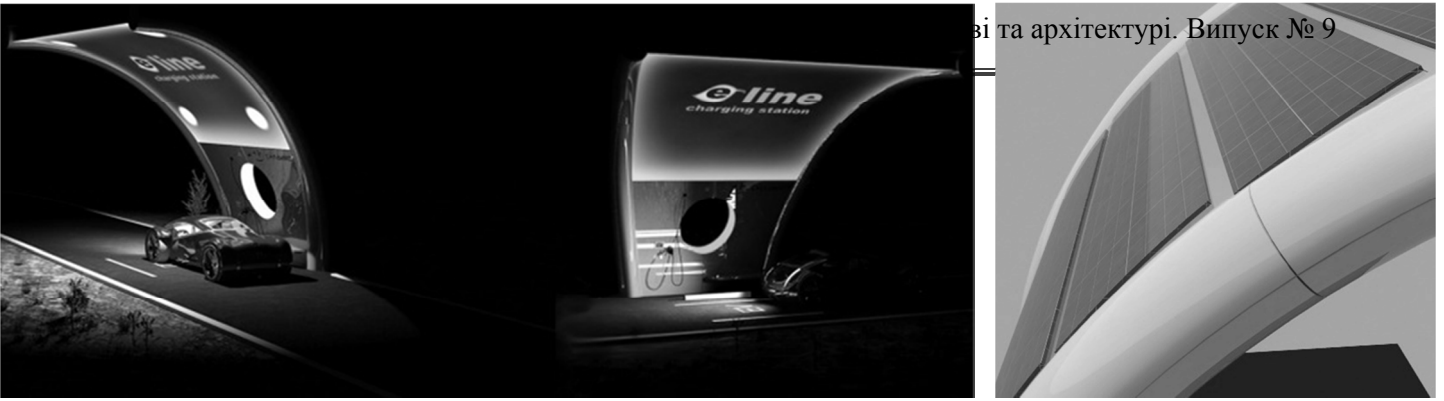


Рисунок 8. Проект станції швидкої зарядки для електромобілів з сонячними панелями (S.CH-150)

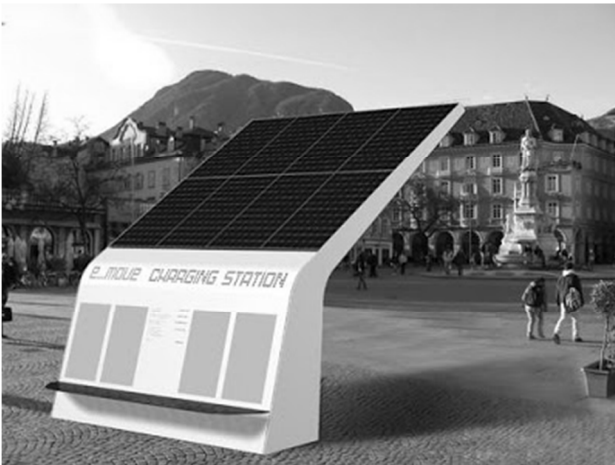


Рисунок 9. Компактна стоянка з зарядкою для електричних скутерів і електромобілів (E-Move Charging Station)

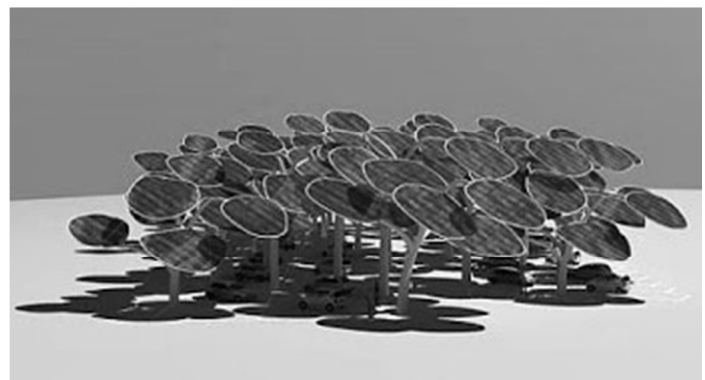


Рисунок 10. Автостоянки електромобілів майбутнього (Solar Forest)

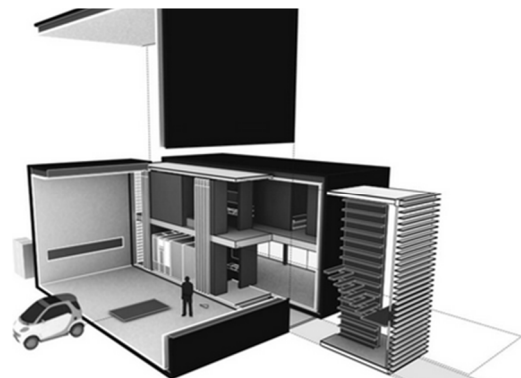


Рисунок 11. Будинок F87 з зарядною станцією для електромобіля. Арх. В. Собек

будівля потребує протягом року, для чого застосовується комплекс інженерного обладнання, зокрема, геліоколектори, теплові насоси, вітрогенератори. Сучасними стандартами «Пасивного будинку», впроваджених з 2015р. встановлено, що будинок «Passive House Plus» споживає 45 кВт•год/(м² на рік) та генерує 60 кВт•год/(м² на рік), а «Passive House Premium» споживає 30 кВт•год/(м² на рік) та генерує 120 кВт•год/(м² на рік). Таким чином, можна вважати, що є підстави для пропозиції влаштування зарядної станції для індивідуальних електромобілів.

Популяризацією такого підходу є, зокрема, вимоги конкурсу Solar Decathlon (Сонячне десятиборство) – масштабного міжнародного архітектурно-інженерного конкурсу зі створення енергоефективного житлового будинку. В конкурсі проект та прототип будинку оцінюється за десятьма категоріями: архітектура, конструктивні особливості будинку, альтернативні джерела енергії, баланс електроенергії, умови комфорту, побутові прилади та функціонування, комунікація та суспільна свідомість, ринкова привабливість, інновації, сталий характер проекту. Правилком конкурсу «4-8. Електротранспорт» визначається необхідність передбачити зарядку електромобіля.

Визначним прикладом цілісного підходу до інтеграції обладнання обслуговування електромобільного транспорту при проектуванні сучасних енергоефективних будинків є переможець конкурсу Efficiency House Plus with Electromobility. Це проект будинку F87, створений командою Інституту легких конструкцій та концептуального проектування (Institute for Lightweight Structures and Conceptual Design (ILEK) Штутгартського університету на чолі з архітектором В. Собеком та реалізований в 2011 р. в Берліні (Німеччина), як демонстраційний з впровадженням інноваційних технологій (рис. 11). В будинку передбачається

отримувати достатню кількість енергії, для обслуговування електромобіля.

Науково-дослідними закладами розробляються нові оптимальні способи зарядки за основними параметрами: швидкості, собівартості, доступності обладнання. Досліджуються варіанти станцій на основі використання альтернативних джерел енергії, як то: застосування сонячних колекторів, що особливо актуально для місцевості з великою кількістю сонячних днів, а також вітрогенераторів. Зарядні станції електромобілів розробляються в науково – дослідних та вищих навчальних закладах, випробовуються в безпосередній співпраці інженерів, дизайнерів та архітекторів, стають частиною архітектурно - предметного середовища, кампусів, житлової та промислової забудови.

Висновки

Перехід на електрифіковані види транспорту (таксі, громадський транспорт, приватні автомобілі) дозволить зменшити кількість викидів на 30%, що відчутно покращить якість повітря. Використання зарядних станцій для такого транспорту на базі сонячних колекторів не тільки позитивно вплине на екологічний стан міст, а й зробить свій внесок у розвиток енергозбереження країни.

Таким чином, розробка зарядних станцій електромобілів потребує вирішення питань:

- нормативно – законодавчих;
- містобудівних (розробка концепції створення мережі загальнодержавного, регіонального, місцевого та локального рівнів);
- архітектурно – типологічних та архітектурно – планувальних (створення нового типу спеціалізованих станцій, розробка гібридних станцій, модернізація існуючих);
- дизайну зарядних станцій (промисловий дизайн зарядних пристроїв, середовищний дизайн споруд зарядних станцій, графічний дизайн засобів ідентифікації та візуальної інформації).

Література:

1. Кучерявий В. П. Урбоекологія: Підручник / В. П. Кучерявий. – Львів: Світ, 2001. – 440 с.
2. Транспорт та зміна клімату. Стійкий розвиток транспортної системи - GTZ – 51 с.
3. <https://www.giz.de/expertise/html/4278.html>
4. Creating Universal Access to Safe, Clean and Affordable Transport - A Status Report on the Contribution of Sustainable Transport to the Implementation of Rio+20 - June 20 2013 – 70 p.
5. <http://radiomaster.org/news/worldnews/1122-koncept-novogo-elektromobilya-na-solnechnyh-batareyah-ford-c-max-solar-energi.html>
6. <https://www.autocentre.ua/ua/avtopravo/avtobiznes/samye-populyarnye-elektromobili-v-ukraine-337260.html>
7. <http://ecoautoinfo.com/statii/v-ukraini-kilkist-elektromobiliv-za-2016-rik-zbilshilasya-v-4-razi.html>
8. <http://www.e-on.com.ua/>
9. <http://e-line.ua/ru/shop/solar-station/>

10. <http://ecoconceptcars.ru/2011/02/solnechnaja-jenergija-dlja.html>

Рецензент: док. арх., проф. В.В. Куцевич, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Бончик Виктория Юрьевна

Студент 3-го курса архитектурного факультета

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

Кашченко Татьяна Александровна

Кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектурного проектирования гражданских зданий и сооружений,

ORCID: 0000-0002-8535-8399

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

Селиванов Алексей Игоревич

Ассистент кафедры архитектурного проектирования гражданских зданий и сооружений,

ORCID: 0000-0001-9385-0060

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

**ОБЪЕКТЫ ОБСЛУЖИВАНИЕ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ
АРХИТЕКТУРНО - ПРЕДМЕТНОЙ СРЕДЫ**

Аннотация: перспективным направлением энергосбережения в производственной, транспортной и обслуживающей сфере является переход на электрифицированные виды транспорта. Актуальным направлением является развитие объектов архитектурно-предметной среды, функционально предназначенные для обслуживания электромобилей.

Ключевые слова: энергоэффективность; электромобили; станции обслуживания электромобилей; архитектурно - предметная среда; архитектура; дизайн

BonchikVictoriaYurevna

Student 3 courses of Architectural faculty

Kiev National University of Construction and Architecture, Kiev

KashchenkoTetyana Oleksandrivna

Candidateofarchitecture, associateprofessorofarchitecturaldesignofcivilbuildingsandconstructions,

ORCID: 0000-0002-8535-8399

Kiev National University of Construction and Architecture, Kiev

Selivanov Alexey Igorevich

Assistanttodepartmentofarchitecturaldesignofcivilbuildingsandconstructions, *ORCID: 0000-0001-9385-0060*

Kiev National University of Construction and Architecture, Kiev

**OBJECTS OF ELECTRIC VEHICLES SERVICE AS THE COMPONENT OF
ARCHITECTURAL - SUBJECT ENVIRONMENT**

Summary: the perspective direction of energys avingin the production, transport and serving sphere is transition to the electrified means of transport.The urgent direction is development of objects of the architectural and subject environment, functionally intended for service of electric vehicles.

Keywords: energy efficiency; electricvehicles; stations of electric vehicles service; architectural – subject environment; architecture; design

УДК 721.01

Гетун Галина В'ячеславівна

Кандидат технічних наук, професор кафедри архітектурних конструкцій
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Кошева Вікторія Олександрівна

Аспірант, асистент кафедри архітектурних конструкцій
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

АКТУАЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ У БУДІВЕЛЬНОМУ СЕКТОРІ В УМОВАХ УКРАЇНИ

Анотація. В статті проаналізовано актуальність використання відновлювальних джерел енергії в будівельному секторі по всій території України. Проведен аналіз зростання споживання ВДЕ в світі та Україні потенційно ефективних галузей енергетики, таких як сонячна та вітрова енергетика, біоенергетика, низкопотенціальні джерела енергії.

Ключові слова: клімат; відновлювальні джерела енергії; сонячна енергетика; вітрова енергетика; біоенергетика.

Постановка проблеми

Відновлювальні джерела енергії (ВДЕ) є одним із пріоритетів політики низько вуглецевого розвитку та інструментів зменшення викидів вуглецю в атмосферу заради уникнення наслідків парникового ефекту. У рамках другого періоду Кіотського протоколу (2013 – 2020 рр.) Україна взяла на себе зобов'язання знизити викиди парникових газів на 20% (від рівня 1990 р.) і проголосила довгострокову ціль до 2050 р. – скорочення викидів до 50% порівняно з 1990 р. Досягнення цих результатів потребує від України значних зусиль з реформування економіки, основними напрямками якої мають стати енергоефективність у будівництві та збільшення частки відновлювальних і нетрадиційних джерел енергії. Територія України має значний потенціал щодо використання відновлювальних джерел енергії у будівництві житлових та громадських споруд (ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010).

Аналіз основних досліджень та публікацій

Темою аналізу використання відновлювальних джерел енергії займалися українські вчені Соловей О.І., Величко С.А., Житаренко В.М., Дудюк Д.Л., Козаченко С.В., Кибовський С.А., Кудря С.О., також зарубіжні науковці: Смірнов А.П., Андреев Е.И., Елистратов В.В., Ляшков В.И., Кузьмін С.Н., Треуов А.Л.

Основна частина

Енергоефективність та використання відновлювальних джерел енергії є актуальною потребою сучасності, оскільки сприяє розв'язанню проблем енергопостачання житлових і нежитлових будівель, а також екологічних, економічних та

Головними причинами впровадження відновлювальних джерел енергії при функціонуванні житлових та громадських будівель є:

- підвищення рівня енергетичної безпеки;
- зменшення використання традиційного палива (вугілля, нафти, газу);
- зниження негативного впливу енергетики на навколишнє середовище;
- збільшення зайнятості населення в секторі економіки;
- підвищення якості життя громадян.

За даними досліджень світове споживання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) значно зростає та досягне до 2040 р. позначки майже 3 млрд. тонн нафтового еквіваленту, з яких на виробництво електроенергії та тепла піде 2,7 млрд. т н.е., включаючи 0,5 млрд. т н.е. гідроенергії. Споживання різних видів енергії відновлювальних джерел зростатиме у наступні 30 років (рис. 1).

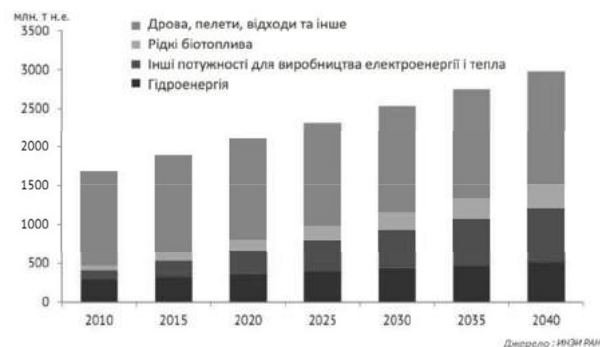


Рисунок 1 - Прогноз світового споживання ВДЕ за видами

Потенційно ефективні галузі енергетики для впровадження в будівельному секторі в умовах України

1. Сонячна та вітрова енергетика: Україна

соціальних проблем. Найпоширенішими та найдоступнішими видами ВДЕ для України є вітрова та сонячна енергетика, енергія біомаси та енергія малих річок, геотермальна та енергія доквілля.

Відновлювальні джерела енергії можна розділити на первинні та вторинні. До первинних природних нетрадиційних джерел енергії відносяться: сонячна радіація, енергія вітру, теплота повітря та вод (в тому числі підземних термальних), геотермальна енергія (грунту землі). Вторинні джерела енергії – біомаса природних та перероблених відходів (теплота від спалювання сміття, побутових відходів та виробництв, в тому числі сільськогосподарських), тепло, яке скидається теплоелектростанціями, промисловими та сільськогосподарськими виробництвами.

Для оптимізації енергетичного балансу житлових та нежитлових будівель досить перспективно є використання комплексних інтегральних систем, які поєднують в собі енергію Сонця, вітру, геотермальну енергію та інших відновлювальних джерел енергії. ВДЕ є досить різноманітними та використовуються на різних паливних ринках: біогаз конкурує на ринку газового палива, біоетанол та біодизель - на ринку рідкого палива, деревина та пелети – на ринку твердого палива.

За даними довгострокових прогнозів (до 2040 р.) споживання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) у житловому та нежитловому секторі значно зростає, а саме в сонячних колекторах на 3%, фотоелектричних установках на 15,7%, у вітрогенераторах на 14,7%, геотермальних теплових насосів на 4,3% (рис.2).

має широкі можливості використання сонячної і вітрової енергії практично по всій території. Сонячні батареї, сполучені з тепло-насосними установками, в змозі практично повністю забезпечити індивідуальні будівлі тепловою та електричною енергією.

Переваги:

- ✓ можуть слугувати джерелами електроенергії для віддалених населених пунктів;
- ✓ сонячна енергія може використовуватися для гарячого водопостачання об'єктів комунально-побутового та технологічного теплопостачання;

Що необхідно для більш широкого впровадження?

- ✓ масове спорудження «сонячних будівель»;
- ✓ зниження ціни на обладнання, монтаж та експлуатацію обладнання;
- ✓ розробка і впровадження механізмів взаємодії органів влади з бізнесом і споживачами;
- ✓ розробка прозорих і чітких правил функціонування ринку сучасних енергетичних установок і зацікавлення населення у їх впровадженні.

2. **Низькопотенціальні джерела енергії:**

теплова енергія ґрунту, повітря, водоймищ, ґрунтових вод, відпрацьоване тепло техногенного походження тощо. Потребує попереднього перетворення тепла за допомогою теплових насосів. Як джерело теплоти низького потенціалу можна використовувати ґрунтові води, ґрунт, артезіанську та водопровідну воду, теплову енергію різних водоймищ (рік, озер, морів), каналізаційні стоки, шахтні води.

Переваги:

- ✓ економічна ефективність;
- ✓ екологічна чистота;

Сектор та вид ресурсу	Значення витрат енергії по секторах (квартіліонів Btu/рік)							Річний приріст 2011-2040 (percent)
	2010	2011	2020	2025	2030	2035	2040	
Житловий сектор	0.03	0.04	0.20	0.21	0.22	0.24	0.27	6.9%
Сонячні колектори	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	1.6%
Геотермальні теплові насоси	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	4.3%
Сонячні фотоелектричні установки	0.01	0.02	0.14	0.15	0.17	0.18	0.21	9.1%
Вітрогенератори	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	7.0%
Комерційний сектор	0.10	0.11	0.20	0.22	0.24	0.28	0.32	3.7%
Сонячні колектори	0.08	0.08	0.09	0.10	0.10	0.11	0.12	1.4%
Сонячні фотоелектричні установки	0.02	0.03	0.10	0.12	0.13	0.16	0.19	6.6%
Вітрогенератори	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	7.7%

Рисунок 2 - Прогноз використання відновлювальних джерел енергії в житловому та комерційному секторах до 2040 р.

- ✓ безпека та надійність;
- ✓ теплонасосні агрегати можуть працювати у реверсному режимі, тобто забезпечувати влітку охолодження приміщень;

3. **Біоенергетика:** до біологічних різновидів енергії відносяться: біологічне моторне пальне (біодизель, біоетанол), енергія, одержана від спалювання біомаси (відходів деревини, лушпиння,

- ✓ за допомогою теплових насосів потужністю 70-100 кВт енергію ґрунту і ґрунтових вод можна використовувати для обігріву окремих невеликих будівель, для опалення більших будинків теплонасосні установки можуть об'єднуватись в секції;
- ✓ теплонасосне устаткування (ТНУ) тепловою потужністю від 20 до 110 кВт і більше може використовуватись для теплопостачання невеликих підприємств, баз відпочинку, санаторіїв, лікарень, шкіл, адміністративних будинків у негазофікованих районах України.

Що необхідно для більш широкого впровадження?

- ✓ запровадження спеціальних тарифів на електроенергію для ТНУ;
- ✓ спрощення погоджувальних процедур при заміні системи опалення;
- ✓ налагодження пропаганди використання екологічно чистих систем опалення;
- ✓ проведення реклами використання таких систем з ТНУ.

соломи та паливних пелетів, біологічні відходи промислового та сільськогосподарського виробництва.

Переваги: використання біомаси та твердих побутових відходів значно скоротить споживання природного газу. Біоенергетика є найперспективнішим ВДЕ в країні. Країна має значний потенціал біомаси – близько 31 млн т у.п./рік. Реалізація цього потенціалу до 2020 р. може сприяти заміщенню 7 млн т у.п./рік. Зараз біомаса в Україні використовується в основному при виробництві тепла. Населення у селах використовує дрова в традиційних печах – близько 74% загальної кількості використаних дров.

Кожний регіон України є переваги щодо впровадження того, чи іншого альтернативних джерел енергії, зумовлені природно-кліматичними особливостями, рівнем промислового розвитку та станом урбанізації регіону. Загалом усі області України мають потенціал для розширення використання ВДЕ (таб. 1).

Таблиця 1 – Сумарний технічно-досяжний потенціал ВДЕ по регіонах України

№ з/п	Області	Енергія сонця	Енергія вітру	Мала гідроенергетика	Геотермальна енергія	Енергія біомаси	Енергія домовля	Усього по областях
1	АР Крим	0,38	4,7	0,05	1,11	0,99	0,93	8,16
2	Вінницька	0,25	0,26	0,09	0,31	1,57	0,22	2,7
3	Волинська	0,18	0,2	0,03	0,24	1,11	0,29	2,05
4	Дніпропетровська	0,32	0,7	0,02	0,38	1,88	2,25	5,55
5	Донецька	0,27	2,27	0,05	0,32	1,39	2,79	7,09
6	Житомирська	0,26	0,3	0,08	0,36	1,19	0,29	2,48
7	Закарпатська	0,14	0,3	1,11	0,85	0,71	0,16	3,27
8	Запорізька	0,28	4,1	0,01	0,36	1,84	1,04	7,63
9	Івано-Франківська	0,13	0,27	0,1	0,18	0,77	0,29	1,74
10	Київська	0,26	0,28	0,05	0,35	1,37	2,23	4,54
11	Кіровоградська	0,23	0,5	0,04	0,29	1,6	0,47	3,13
12	Луганська	0,27	0,85	0,11	0,32	0,97	1,24	3,76
13	Львівська	0,22	1,27	0,44	0,79	1,03	0,52	4,27
14	Миколаївська	0,26	4,6	0,04	0,29	1,5	0,35	7,04
15	Одеська	0,37	0,7	0,01	0,41	1,7	0,66	3,85
16	Полтавська	0,26	0,4	0,1	0,88	1,54	0,63	3,81
17	Рівненська	0,17	0,2	0,07	0,74	0,93	0,17	2,28
18	Сумська	0,22	0,2	0,07	0,86	0,96	0,2	2,51
19	Тернопільська	0,15	0,14	0,1	0,17	0,93	0,15	1,64
20	Харківська	0,29	0,7	0,07	0,9	1,31	1,53	4,8
21	Херсонська	0,31	4,4	0,01	0,87	1,25	0,24	7,08
22	Хмельницька	0,2	0,2	0,07	0,25	1,11	0,29	2,12
23	Черкаська	0,21	0,2	0,08	0,25	1,37	0,4	2,51
24	Чернівецька	0,09	0,3	0,22	0,07	0,72	0,33	1,73
25	Чернігівська	0,28	0,3	0,04	0,47	1,26	0,33	2,68
	Усього	6	28,34	3,06	12,00	31,00	18,00	98,42

Висновки

1. Клімат території України має значний потенціал щодо використання відновлювальних джерел енергії у будівництві житлових і нежитлових будівель.

2. Потенційно ефективними для впровадження в будівництво є активне використання сонячної і вітрової енергетики, низькопотенціальних джерел енергії та біоенергетики.

3. Використання відновлювальних джерел енергії в будівництві потребує розробки нових об'ємно-планувальних і конструктивних рішень житлових і нежитлових будівель.

4. Слід прискорити темпи впровадження потужностей ВДЕ з одночасним зменшенням собівартості виробленої енергії на основі використання новітніх технологій, перед усім вітчизняних науково-технічних розробок. Нові технології і матеріали підвищать ефективність, надійність, економічність ВДЕ. Розвиток вітчизняної науки, її орієнтація на технічні та технологічні проблеми відновлювальної енергетики сприятиме вирішенню цього завдання.

Література

1. Аверьянов В.К., Кочнев А.П., Михайлов А.Г., Тютюнников А.И., Мелкжик А.А. Комплексная оценка энергоэффективности, экологической и санитарно-эпидемиологической безопасности жилых и гражданских зданий / Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий : сборник трудов III Всероссийской научно-технической конференции / Под научной редакцией Н.И. Ватина. – СПб. Изд-во Политехн. ун-та, 2011 стр 9-25. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.engstroy.spb.ru/library/sbornik_teplophysics2010.pdf4
2. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Технічні норми, правила і стандарти. Загальнотехнічні вимоги до життєвого середовища та продукції будівельного призначення. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 123 с.
3. Комплексна оцінка кліматичних умов житлової забудови / М.В. Тимофєєв, О.В. Сергєйчук, Г.В. Шамріна: навчальний посібник. – К., КНУБА, 2015. – 128с.
4. Пешко А. В., Белопольский Н. Г., Турченко Д. К. Концепция программы «Повышение эффективности использования энергоресурсов Украины» Киев – 2005.
5. Плоский В. О., Гетун Г. В. Архитектура будівель і споруд. Житлові будинки: Підручник. – Камінець-Подільський.: Рута. – 2017 р. – 736 с.
6. Прогнозы и перспективы развития «зеленого» строительства в Украине. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cre.in.ua>.
7. Стан і перспективи розвитку відновлювальної енергетики в Україні: аналіт. доп. / О. М. Суходоля, А. Ю. Сменкоський, А. І. Шевцов, М.Г. Земляний ; за ред. О.М. Суходолі. – К. : НІСД, 2013. - 104 с. – (Сер. «Економіка», вип. 12).
8. Ю.А. Табуницков, М.М. Бродач, Н.В. Шилкин Энергоэффективные здания. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003.- 200 с.
9. Getun G. The Peculiarities of climatic zoning of Ukraine area in terms of the best location for energy-active buildings/ Getun G., Kosheva V. // Construction of optimized energy potential, Politechnika Czestochowska Czestochowa University of Technology. – 2014. – vol. 1(13), s.28-32.
10. Annual Energy Outlook 2013 With Projection to 2040, DOE/EIA-0383(2013)| April 2013 – U.S. Energy Information Administration.

Стаття надійшла в редколегію 07.04.2017

Рецензент: д.т.н., проф. В. О. Плоский, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Гетун Галина Вячеславовна

Кандидат технических наук, профессор кафедры архитектурных конструкций
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

Кошева Виктория Александровна

Аспирант, ассистент кафедры архитектурных конструкций
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В СТРОИТЕЛЬНОМ СЕКТОРЕ ДЛЯ УСЛОВИЙ УКРАИНЫ

Аннотация. В статье рассмотрена актуальность использования возобновляемых источников энергии в строительном секторе по всей территории Украины. Проведен анализ роста использования ВИЭ в мире и Украине

потенциально эффективных отраслей энергетики, таких как солнечная и ветровая энергетика, биоэнергетика, низкопотенциальные источники энергии.

Ключевые слова: *климат; возобновляемые источники энергии; солнечная энергетика; ветровая энергетика; биоэнергетика.*

Hetun Halina

Doctor of Philosophy, Associate Professor

Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kiev

Kosheva Victoria

PhD student

Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kiev

THE RELEVANCE USING OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN THE BUILDING SECTOR OF UKRAINE

Abstract. *The article considers the relevance of the use of renewable energy in the construction sector on the whole territory of Ukraine. The analysis of the growth using of renewable energy in the world and in Ukraine is shown. Analyzed the most effective sectors of energy, such as solar and wind energy, bio energy, low-potential energy sources.*

Key words: *climate; renewable energy; solar energy; wind energy; bio energy.*

УДК 725

Гетун Галина В'ячеславівна*Кандидат технічних наук, професор**Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ***Лесько Ігор Миколайович***Аспіранткафедри архітектурних конструкцій**Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ*

ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ СУМІЩЕНОГО ПОКРИТТЯ КОМБІНОВАНОГО ТИПУ БАГАТОКВАРТИРНОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

Анотація. Експериментальним шляхом в натурних умовах визначено опір теплопередачі суміщеного покриття, яке виконане комбінацією класичного та інверсійного типів покрівель над житловим поверхом. Результати дослідження проаналізовані на відповідність нормативним вимогам та розрахунковим значенням.

Ключові слова: суміщені покриття; оцінка теплотехнічних параметрів огорожувальних конструкцій; експериментальний метод дослідження

Постановка проблеми

Для перевірки та контролю відповідності нормативним вимогам фактичних значень теплотехнічних параметрів огорожувальних конструкцій будівель і споруд необхідно проводити експериментальні дослідження. Експериментальні випробування можуть виконуватись в лабораторних або натурних умовах з дотриманням методики [5]. Основною перевагою натурних випробувань є те, що випробувальна конструкція перебуває в реальних умовах експлуатації довгий час (на відміну від лабораторних) за який в ній відбулися або відбуваються відповідні зміни тепловологісного стану. Недоліком даного методу являється відсутність доступу до внутрішніх шарів конструкції для визначення фактичних теплотехнічних параметрів та причин зміни опору теплопередачі.

Аналіз основних досліджень та публікацій

Більшість публікацій на тему експериментальних досліджень опору теплопередачі зорієнтована на стінові огорожуючі конструкції. Покриттям досі приділялося мало уваги.

Мета роботи

Провести дослідження теплотехнічних характеристик огорожувальної конструкції (суміщеного покриття) за допомогою експериментального методу в натурних умовах.

Проаналізувати відповідність даного покриття нормативним вимогам.

Основна частина

Для проведення натурних випробувань було обрано 24-ох поверховий житловий будинок у Києві (детальна адреса та технічні характеристики можуть бути надані після погодження із експлуатуючою організацією). Будинок (рис. 1) був введений в експлуатацію в 2015 році. Для дослідження обрано суміщене покриття на відмітці +79,480 м, яке розмежує опалювальні житлові приміщення та зовнішнє середовище.

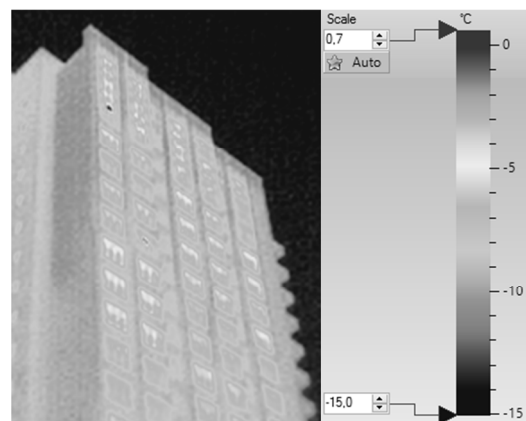
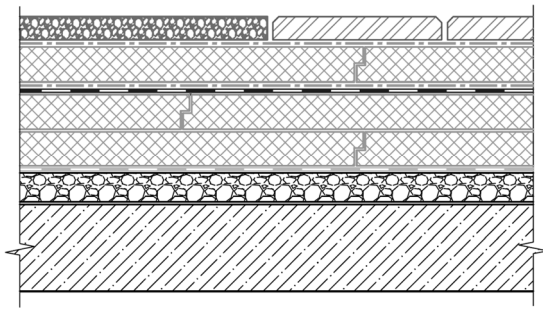


Рисунок 1 - Фото об'єкта. Тепловізійний знімок. Загальні параметри

Визначення теплотехнічних параметрів виконувалися у дворівневій квартирі протягом

48 год. Середня температура внутрішнього повітря складала 20,33 °С.



Конструктив (пошаровий склад) суміщеного покриття зображений на рис.2.

- тротуарна плитка/гравій
- розділовий шар геотекстилю
- утеплювач з екструдованого пінополістиролу
- розділовий шар геотекстилю
- гідроізоляція
- розділовий шар із склотканини
- утеплювач з екструдованого пінополістиролу
- пароізоляція
- похилоутворюючий шар з полістиролбетону - 20-394 мм
- з. б. плита перекриття

Рисунок2 - Склад плити покриття

Дослідження проводилися за допомогою мобільного комплексу для визначення енергоефективних характеристик конструкцій, тепловізора, пірометра, барометра та анемометра.

Мобільний комплекс має 4 групи

перетворювачів теплового потоку для визначення теплового потоку і поверхневої температури в чотирьох точках огорожувальної конструкції, та 12 термопар для визначення температури навколишнього середовища.



а)



б)

Рисунок3 - Розміщення датчиків (всього 18 шт.) ПТ та ПТП з внутрішньої (а) та зовнішньої (б) сторони конструкції

Обрану ділянку покриття було розбито на 4 зони площею по 0,25 м², по центру кожної були розташовані тепловізори та термопари згідно [5](рис. 3). Конструкція знаходиться в усталеному режимі експлуатації. Данні записувались мобільним

комплексом з інтервалом 1хвилина. В результаті обробки отриманих даних були отримані наступні усереднені показники (табл. 1).

Розподіл температур по зовнішній і внутрішній поверхнях покриття зображено на рис. 4-5.

Таблиця 1 – Результати теплотехнічних вимірювань

Назва величини	Усереднені значення
Температура навколишнього середовища внутрішня $T_{НС.ВН.}, ^\circ\text{C}$	20,33
Температура навколишнього середовища зовнішня $T_{НС.ЗОВ.}, ^\circ\text{C}$	-5,84
Температура поверхні внутрішня $T_{П.ВН.}, ^\circ\text{C}$	19,67
Температура поверхні зовнішня $T_{П.ЗОВ.}, ^\circ\text{C}$	-5,78
Поверхнева густина теплового потоку $q, \text{Вт/м}^2$	4,29

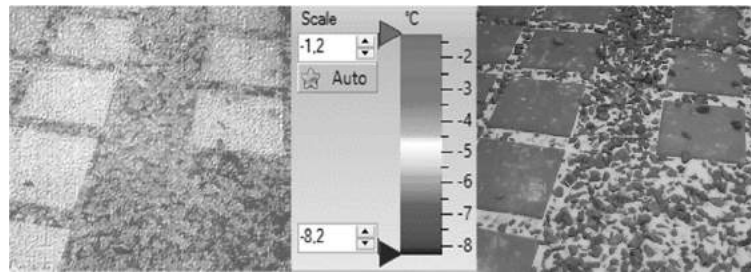


Рисунок 4 -Тепловізійний знімок. Розподіл температур по зовнішній поверхні покриття

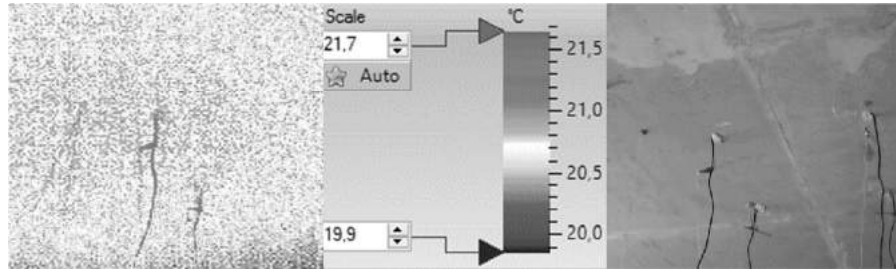


Рисунок 5 - Розміщення датчиків і розподіл температур з внутрішньої сторони конструкції

Згідно з [5] було визначено тепловий термічний опір $R_{OK} = 5,93 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ та сумарний опір теплопередачі $R_{\Sigma} = 6,1 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ конструкції покриття. Відносна похибка визначення опору теплопередачі не перевищує 5 % згідно [7].

Розрахунковий опір теплопередачі конструкції безпосередньо в зоні проведення дослідження складає $5,92 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ і коливається в межах покрівлі від $4,8 \text{ м}^2 \text{°C/Вт}$ (зона водозбору) до $8,46 \text{ м}^2 \text{°C/Вт}$ (парапетна зона).

Згідно з [4] мінімально допустиме значення опору теплопередачі суміщених покриттів для

І температурної зони повинно складати $6 \text{ м}^2\text{·К/Вт}$. Досліджувана конструкція на деяких ділянках покриття дещо не задовольняє вимогу $R_{\Sigma пр} \geq R_{q \text{ min}}$.

Температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції за час випробування не перевищував 1 °C , тобто умова $\Delta t_{пр} \leq \Delta t_{cr} = 3 \text{ °C}$, - також забезпечується.

Мінімальне значення температури внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції (рис. 6) було визначено в місці перетину її з фасадною стіною, і становило 13 °C ($t_{в \text{ min}} > t_{\text{min}} = 10,68 \text{ °C}$).

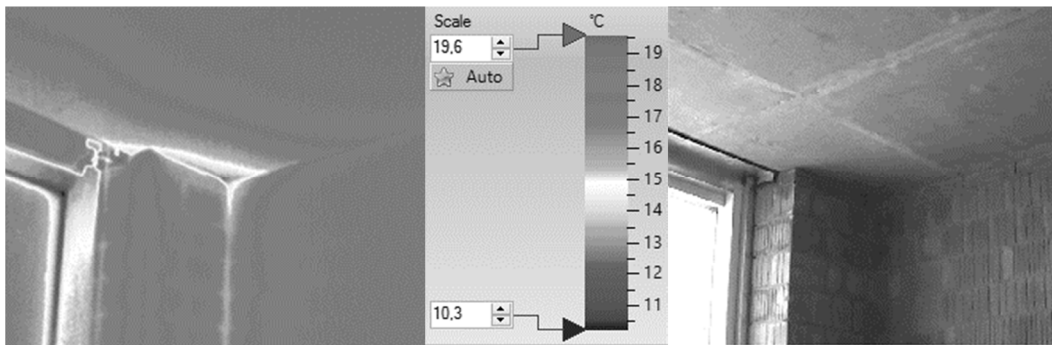


Рисунок 6 -Тепловізійний знімок. Ділянки з найменшими значеннями температури поверхні ($t = 10,3 \text{ °C}$ визначено на віконній рамі)

Висновки

Відповідно до результатів дослідження теплотехнічних параметрів суміщеного покриття фактичний опір теплопередачі відповідає розрахунковому (для квартири, у якій проводились вимірювання). Проте у місцях водозбору (де ухилоутворюючий шар має найменшу товщину) опір теплопередачі може бути нижчим за нормативний.

Температура поверхні стелі також знаходилась в нормативно допустимих межах. Виключенням являлась ділянка, площею до $0,5 \text{ м}^2$, у місці перетину покриття з фасадною стіною. Для усунення даного місця підвищених тепловтрат рекомендовано повністю утеплювати залізобетонні парапети з усіх сторін.

Натурні дослідження опору теплопередачі конструкцій показали реальну картину стану теплоізоляційної оболонки будівлі. В результаті дослідження за фіксовано відхилення від

розрахункових теплофізичних характеристик конструкції, тому постає питання визначення першопричин цих відхилень та їх вплив на конструкцію протягом всього терміну експлуатації. Для цього необхідно мати можливість доступу до внутрішніх частин конструкції для проведення додаткових вимірювань та взяття проб матеріалів покриття. В будівлях та спорудах, що

експлуатуються, отримати дозвіл від власників приміщень та відповідальних служб на розкриття конструкцій (навіть локально) є проблематичним. Тому проведення таких випробувань необхідно виконувати перед або паралельно з проведенням ремонтних робіт чи шляхом створення експериментальних частин будівель.

Література

1. Гетун Г.В. Архітектура будівель та споруд. Книга 1. Основи проектування: Підручник/ Гетун Г.В.– К.: КОНДОР, 2011. – 378 с.
2. ДБН В.2.6-14-97. Конструкції будинків і споруд. Покриття будинків і споруд. – К.: Держкоммістобудування України, 1998. – 150 с.
3. ДБН В.2.2-15-2005. Житлові будинки. Основні положення. – К.: Держбуд України, 2005. – 36 с.
4. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. – К.: Мінрегіонбуд України, 2016. – 36 с.
5. ДСТУ Б В.2.6-101:2010. Метод визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 84 с.
6. ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. – К.: Мінрегіонбуд України, 2013. – 52 с.
7. ДСТУ ГОСТ 8.207:2008. Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений.
8. Методика М00013184.5.023-01. Визначення теплових потоків крізь огорожувальні конструкції// Нормативний документ Державного комітету України з енергозбереження та Державного комітету України з будівництва та архітектури. - Київ: Логос, 2002. - 131 с.
9. Фаренюк Г.Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій: монографія/ Г.Г. Фаренюк. – К.: Гама-Принт. – 2009. – 211 с.
10. Mat Santamouris. *Advances in Building Energy Research*, vol 3, p.322. Published by Earthscan in the UK /London/ and USA /Sterling, VA/ in 2009.

Стаття надійшла в редколегію 18.03.2017

Рецензент: д.т.н., проф. В.О. Плоский, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Гетун Галина Вячеславовна

Кандидат технических наук, профессор

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

Леско Игорь Николаевич

Аспирант кафедры архитектурных конструкций

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ СОВМЕЩЕННОГО ПОКРЫТИЯ КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА

Аннотация. Экспериментальным путем в натуральных условиях определено сопротивление теплопередач совмещенного покрытия комбинированного типа. Результаты исследования проанализированы на соответствие нормативным требованиям проектным значениям.

Ключевые слова: совмещенные покрытия; оценка теплотехнических параметров ограждающих конструкций; экспериментальный метод исследования.

Getun Galina

Doctor of Philosophy, Professor

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Lesko Ihor

Postgraduate student architectural constructions

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

EVALUATION OF THERMAL RESISTANCE FOR RESIDENTIAL APARTMENTS COMBINED FLAT ROOF

Abstract. Residential apartments combined flat roof was tested by experimental method in real conditions. Results of the study were analysed and compared with regulatory requirements and the project values.

Keywords: combined flat roofs; evaluation of thermal parameters for envelope structures; experimental method.

УДК 697.4:553.2.

Гламаздін Павло Михайлович

*Доцент кафедри теплотехніки, дійсний член Академії будівництва України
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ*

Габа Крістіна Олексіївна

*Асистент кафедри теплотехніки
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ*

Давиденко Євгеній Павлович

*Аспірант кафедри теплотехніки
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ*

Вітковський Володимир Станіславович

НВО «Нафтохімекологія», Київ

«ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН В ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ ВОДИ ДЛЯ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ»

***Анотація.** Розглянуто перспективи використання поверхнево-активних речовин в технології підготовки води. Метод очистки теплообмінних поверхонь від накипних відкладень і продуктів корозії при використанні поверхнево-активних речовин. Приведені висновки використання ПАР для промивання котлів.*

***Ключові слова:** накипні відкладення; ПАР; модифікації води; приготування води; корозія*

Постановка проблеми

Не дивлячись на постійне зменшення обсягу централізованого теплопостачання в малих містах України на сьогоднішній день воно є основним постачальником теплоти для комунально-побутових споживачів і відтак одним з основних джерел втрат теплоти. Великі втрати теплоти, які є понаднормованими відносно офіційно рекомендованих [1], пояснюються як об'єктивними причинами - великим зносом обладнання систем централізованого теплопостачання, який сягає 80-85% [2], так і складними в експлуатації та достатньо дорогими методами підготовки води для СЦТ [3]. Нехтування або невміння правильно користуватися цими методами призводить до прискореної корозії сталевих елементів СЦТ та появи відкладень на поверхнях нагріву в котлах та теплообмінниках та трубопроводах теплових мереж.

Прискорена корозія призводить до аварійних пошкоджень, через які виникають витoki теплоносія, аварійні зупинки теплопостачання та позапланові витрати на ремонт. Швидке накопичення відкладень призводить до збільшення шорсткості поверхонь та звуження прохідних перерізів труб, що, в свою чергу, тягне за собою порушення гідравлічних режимів систем

теплопостачання та погіршення їх теплотехнічних показників і зрештою до підвищення питомих витрат палива та електроенергії [4]. При цьому корозія металів та зростання відкладень пов'язані між собою. Згідно [5] наявність відкладень на стінках елементів в СЦТ сприяє прискореному розвитку «виразкової» корозії. З іншого боку рихла структура оксидів заліза, що є продуктами корозії сталі, сприяє прискоренню зростання відкладень, бо є центрами накопування. Солі жорсткості, відкладаючись у порах продуктів корозії, «цементують» їх і відкладення стають більш щільними і міцними.

Аналіз основних досліджень та публікацій

Традиційно методи приготування води для СЦТ поділяються на два напрямки:

- методи видалення з води агресивних газів, а саме кисню та двоокису вуглецю;
- методи видалення з води «солей жорсткості», які створюють накипи та є основою для комплексних відкладень.

Видалення агресивних газів до останнього часу майже повністю здійснювалося термічним методом - чи то атмосферною деаерацією чи то вакуумною. Це енерговитратні процеси і до того вимагають

суворого дотримання технологічної дисципліни, тому їх часто виключають з експлуатації, особливо в групових та квартальних котельнях. Останнім часом почала поширюватись технологія хімічної деарзації підживлюваної води, за якою розчинений кисень зв'язується сульфідом натрію (Na_2SO_3), а двоокис вуглецю – лугом (NaOH). Ця технологія вимагає значно менших витрат енергії та дешевше приготування підживлювальної води [6].

Розробляється також технологія комплексної модифікації води з одночасним зв'язуванням агресивних газів та «солей жорсткості» [7].

Формулювання мети статті

Одним з найпоширеніших методів захисту теплоенергетичного обладнання від корозії та накипоутворення у теперішній час є модифікація води комплексами, в першу чергу для "великої" енергетики [8]. Для цього використовують, зазвичай, похідні етилендіамінтетраоцтової кислоти, частіше за все динатрову сіль (трилон Б), які використовуються як для запобігання корозії обладнання та накипоутворенню, так і для очистки обладнання "на ходу" та перед пуском [9]. На жаль, для впровадження трилонного водно-хімічного режиму для об'єктів "малої" енергетики є досить значні перешкоди, основна з яких – потреба великої концентрації трилону Б для надійного захисту від накипоутворення, в результаті чого цей процес стає не вигідним з економічної точки зору через досить високу ціну реагенту [10].

В кінці 20-го та на початку 21-го сторіччя було синтезована велика кількість сполук, які знайшли застосування для захисту теплоенергетичного обладнання об'єктів "малої" енергетики, у тому числі комплексонів, зокрема, фосфонатів, що показали ряд переваг перед іншими комплексами для вищезначених цілей. На відміну від трилону Б вони мають інший механізм дії при запобіганні накипоутворенню, а саме – інгібують процес накипоутворення на стадії виникнення зародку кристалу [11], тому працюють у субстехіометричних відношеннях, тобто їх робочі концентрації становлять 1-5 мг/дм³, що робить їх застосування економічно вигідним. Такі сполуки працюють навіть на "сирій" воді, що робить непотрібною стадію пом'якшення води, в наслідок чого різко зменшується використання кухонної солі, тим самим зменшуючи кількість стічної води, що у свою чергу благотивно впливає на довкілля.

Технології з використанням комплексонатів на основі органічних фосфонатів у теперішній час стали достатньо відпрацьовані у водопідготовці котельень малої та середньої потужності [12],

виробництво відповідних реагентів досить поширене, у тому числі і на Україні, наприклад, ТОВ "Технохімреагент" м. Запоріжжя. Але застосування цих реагентів навіть для об'єктів систем теплопостачання обмежується, по-перше, лужністю середовища: при рН більше 8.5 комплексонати лужноземельних металів, які частіше за інші сполуки застосовуються для захисту від корозії систем теплопостачання, наприклад, комплексонати цинку розпадаються до гідроксиду цинку та перестають виконувати свої функції по захисту від корозії; а по-друге, використання комплексонів на основі фосфонатів обмежене концентрацією іонів-накипоутворювачів, в основному, Ca^{2+} 10 мг-екв./дм³ [13]; по-третє відсутність в Україні нормативної документації, що регламентує використання методів стабілізаційної обробки води у системах теплопостачання [14]. Як результат, інженерно-технічний персонал не підготовлений до впровадження технологій реагентної обробки води. Таким чином комплексонатна обробка води потребує низки організаційно-технічних заходів для впровадження у теплоенергетичному комплексі, зокрема у системах теплопостачання, хоча окупність таких технологій досить висока, є дані, що капітальні витрати окупаються протягом опалювального сезону, або й за декілька місяців [6].

Основна частина

Принципово використання хімічних методів модифікації води для систем СЦТ дає позитивний ефект. Наполеглива робота на протязі декількох років підприємства «Житомиртеплокомуненерго» по впровадженню хімічної модифікації води призвела до зменшення витрат на підживлення більше, ніж в 3 рази, витрати солі для регенерації натрій-катіонітних фільтрів у 5 разів і зменшенню вартості теплоти що генерується в системі на 5 відсотків [2]. Означені хімічні методи впроваджувались послідовно на протязі декількох років і при очевидних позитивних якостях, вони мають і недоліки. Сульфід натрію з помітною швидкістю реагує з розчиненим у воді кіснем температури вище за 70⁰С, що вимагає або відповідних схемних рішень у водопідготовці, наприклад, підігріву підживлювальної води, або використання спеціальних каталізаторів [15], що ускладнює технологію. Постійні зміни складу живильної води, які носять як характер постійних трендів, що залежать від пори року, так і від випадкових метеорологічних факторів (довгі дощові періоди або засушливе літо) вимагають безперервного слідкування за її складом та

відповідного регулювання дозуючих станцій, а це складна задача. Досвід авторів з впровадження хімічної модифікації води на підживлення у великих системах з об'ємом води 5000 м³ і більше показав, що такі системи мають велику інерційність, яку поки що важко враховувати при спробах автоматизувати процес.

Відомі інші методи запобігання корозії та накипоутворенню, пов'язані з модифікуванням поверхонь елементів в СЦТ, що контактують із водою. Можливе використання легованих сталей для виготовлення елементів теплообмінників та котлів. Це дає змогу позбутися корозії, але ціна елементів СЦТ значно зростає. Не дивлячись на збільшення вартості обладнання такі приклади є. Це попередньо ізольовані труби для теплових мереж фірм «Casaflex», чи конденсаційні водогрійні котли фірм «Riello» та «Viessmann». Або водогрійні секційні котли з алюмінієвих сплавів фірми «De Dietrich» та «Bosch-Buderus». Можливо також використання пластмас для виготовлення труб для теплових мереж, але тільки для температур теплоносія не більше 95^oC. Відомі конструкції повітропідігрівачів котлів зі скляної труби [16], або з пластика [17]. Всі ці технології поки що достатньо дорогі і широкого впровадження не знаходять.

Можливі і менш радикальні засоби захисту від корозії, пов'язані зі створенням захисного покриття поверхонь елементів СЦТ. Можливе напилення на поверхні нелегованої сталі інших металів, що не кородують у водному середовищі, наприклад, легової сталі або кольорових металів. Для труб великого діаметру можливе застосування плакованої сталі, з верхнім шаром із легової сталі, а основне тіло труби - з чорної сталі. Але це теж дорогі технології. Пропонуються і методи створення захисних плівок з силікатних солей [18] або з магнію [19]. Але ці плівки не міцні, їх руйнує абразивне зношення, в теплоносії необхідно постійно додавати захисну речовину, тому розповсюдження вони не знайшли.

Однак, привабливість цих методів, що полягає в їх комплексній захисній дії і проти корозії і проти накипоутворення, обумовлює подальші пошуки в цьому напрямку. Одним з методів створення захисного бар'єру від впливу корозії та накипоутворення на поверхнях елементів СЦТ є створення плівки з поверхнево-активних речовин. Поверхнево-активні речовини входять у склад комплексу хімікатів, що застосовуються для модифікації живильної води. Їх додавання переслідує декілька цілей. Додавання ПАР у розчини фосфатів та фосфонатів повинно стабілізувати у воді продукти їх взаємодії з солями

твердості - суспензії. Також вони повинні запобігати прискореній появі повторних відкладень після відмивання. Але використання ПАР для реалізації означених цілей носить допоміжний характер. Відомі властивості ПАР заставляють нас шукати серед їх великої номенклатури [20] такі, що дозволять одночасно проводити відмивання старих відкладень і утворювати захисну плівку, яка б запобігала корозії та накипоутворенню. Кафедра теплотехніки декілька років проводить дослідження однієї з поверхнево-активних речовин, а саме естерів жирних кислот і отримала позитивні результати. Роботи почалися з визначення можливості використання цього класу ПАР для промивання котлів. Такі дослідження були проведені спочатку в лабораторних умовах, а потім і при промиванні котлів в діючих котельнях. Були отримані позитивні результати та визначені параметри процесу (температури, тиски, концентрація ПАР). В процесі цих досліджень було виявлено, що ці ПАР мають пролонговану дію і відмивання залишкових відкладень продовжується і після закінчення основного процесу під час експлуатації котлів. Подальші експерименти дозволили зробити висновок, що можна відмити котел і не зупиняючи його, якщо просто додавати в воду певну кількість ПАР.

В залежності від товщини відкладень їх повне відмивання здійснюється на протязі одного чи двох місяців, що фіксувалося падінням гідравлічного опору котла до паспортних величин [21].

Спостереження за величиною гідравлічного опору промитих котлів на протязі наступного опалювального сезону виявило, що він лишався стабільним. Зростання гідравлічного опору почалося тільки в середині другого після промивання опалювального сезону. Візуальні обстеження внутрішніх поверхонь нагріву після завершення опалювальних сезонів показало, що вони були вільними від відкладень після сезону, коли було здійснено разове введення ПАР (до 2% об'єму води в системі). Нові відкладення з'явилися під час наступного опалювального сезону. В системі термічна деаерація або хімічна дегазація не проводилась на протязі всіх трьох опалювальних сезонів, коли проводився експеримент. Отримані результати підштовхнули авторів до проведення лабораторних досліджень плівки, що з'являється по поверхні вуглецевої сталі при обробленні названим класом ПАР. Дослідження виявили, що на поверхні з'являється тонка (до 50 мкм) міцна плівка сірого кольору, що має діелектричні властивості. Вважаючи на електрохімічний характер реакції корозії, можна прийняти, що саме це і обумовлює її

протикорозійні властивості і в той же час запобігає появі центрів накипоутворення.

Висновки

Результати проведених досліджень показали, що деякі класи поверхнево-активних речовин здатні вирішувати задачі по захисту поверхонь елементів систем централізованого теплопостачання від корозії та накипоутворення, утворюючи міцну захисну плівку на них. Крім того вони здатні

відмивати застарілі відкладення в елементах СЦТ завдяки «ефекту Ребіндера» [22]. Економічний аналіз показав, що технологія використання ПАР дешевше, ніж традиційні технології роздільного деаерування води та пом'якшення хімічної підготовки [23]. Для широкого впровадження пропонуємої технології використання ПАР необхідно відпрацювати регламенти їх застосування та розробити відповідні нормативні документи.

Література

1. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування», Мінрегіон України, 2013, Київ.
2. Д. В. Рогожин, В. В. Бужинський, В. С. Вітковський, Н. А. Карпюк, О. А. Тур. Про досвід експлуатації теплових мереж з реагентною обробкою води для підживлення. Науково-технічний збірник «Енергоефективність в будівництві та архітектурі», вип. 7 – К.: КНУБА, 2015. — 65-68 с.
3. Ю.М. Кострикин, Н. А. Мецкерский, О. В. Коровина. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления. Справочник / М.: Энергоатомиздат, 1990. — 248 с.
4. Електронний ресурс www.icspawer.com.
5. Балабан-Ирменин, Ю. В. Защита от внутренней коррозии трубопроводов водяных тепловых сетей / Балабан-Ирменин, Ю. В., Липовских В. М., Рубашов А. М. – М.: Энергоатомиздат, 1999. – 248 с.
6. Петраш Р. І., Гламаздин П. М. Економічні аспекти заміни вакуумної деаерації мережної води на хімічну деаерацію. Науково-технічний збірник «Енергозбереження в будівництві та архітектурі», вип. 6 – К.: КНУБА, 2014. — 341-345 с.
7. В. С. Вітковський, П. М. Гламаздин, К. О. Цикал. Промивка теплової мережі на профілактика появи накипних відкладень – ефективний спосіб енергозбереження в системах теплопостачання. Житлово-комунальне господарство України, №2, 2013, . — 23-25 с.
8. Маргулова Т. Х., Мартынова О. И. Водные режимы тепловых и атомных электростанций. М.: Высшая школа, 1987, . — 25-29 с.
9. Маргулова Т. Х. и др. Очистка и защита поверхностей теплоэнергетического и технологического оборудования с помощью комплексонов. // Ж. ВХО № 3, 1985, С. 95-100.
10. Ф. Ф. Чаусов, Г. А. Раевская. Комплексонометрический водно-химический режим теплоэнергетических систем низких параметров. Практическое руководство. Ижевск: Удмуртский НЦ УрО РАН-УдГУ, 2002. . — 35-39 с.
11. Ф. Ф. Чаусов. К вопросу о механизме ингибирования кристаллизации органических фосфонатами. Препринт./ Под ред. С. С. Сванского. Ижевск: Удмуртский НЦ УрО РАН-УдГУ, 2004. . — 53-64 с.
12. Вітковський В. С., Павленко, П. Й., Бужинський В. В., Промивка теплової мережі та профілактика появи накипних відкладень – ефективний спосіб енергозбереження у системах теплопостачання. Житлово-комунальне господарство України, №3, 2014, . — 28-32 с.
13. Чаусов Ф. Ф. Ингибирование роста кристаллов солей щелочноземельных металлов в водных растворах. Теория и технические приложения. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата химических наук. Ижевск 2005.
14. Биков С. В., Вітковський В. С, Карпюк М. А. Про деякі аспекти водно-хімічного режиму експлуатації котлів та теплових мереж. Науково-технічний збірник «Енергоефективність в будівництві та архітектурі», вип. 8 – К.: КНУБА, 2016. — 45-49 с.
15. Каталог фірми «Технохімреагент».
16. О. Б. Корняков. Повышение эффективности использования топлива в котлах путем разработки и применения воздухоподогревателей из стеклянных труб. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук Москва, 1988.
17. Електронний ресурс <http://heatmatrixgroup.com>.
18. П. М. Гламаздин, О. М. Тарадай, С. И. Фоміч. Можливості зниження аварійності мереж централізованого гарячого постачання шляхом деаерації води. Науково-технічний збірник «Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання» вип. №19, – К.: КНУБА, 2016 р., 117-125 с.
19. Збірник керівних документів по захисту від корозії систем теплопостачання та гарячого водопостачання. Українська книга., Київ, 1999 р., 87-89 с.
20. Абрамзон А. А. Поверхностно-активные вещества: свойства и применение. – Лю: Химия, 1981. -304 с.

21. П. М. Гламаздин, К. О. Цикал. Досвід використання поверхнево-активних речовин для очищення систем тепlopостачання від відкладень. «Енергозбереження в будівництві та архітектурі споруд» Вип. №1, 2011 р., 79-83 с.
22. П. М. Гламаздин, К. О. Цикал. Фізичний механізм очищення накипних відкладень на поверхнях елементів централізованих систем тепlopостачання за допомогою ПАВ. «Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки». Науково-технічний збірник. Вип. 24. К.: КНУБА, 2014.- 56-62 с.
23. П. М. Гламаздин, К. О. Цикал. Порівняльний аналіз економічності технологій підготовки води для систем централізованого тепlopостачання. «Енергоефективність в будівництві архітектурі» Науково-технічний збірник. Вип. 7, К.: КНУБА, 2015р., 58-65 с.

Стаття надійшла до редколегії 06.04.2017

Рецензент: д.т.н., проф. О. В. Приймак, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Гламаздин Павел Михайлович

*Доцент кафедри теплотехники, действительный член Академии строительства Украины.
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев*

Габа Кристина Алексеевна

*Ассистент кафедры теплотехники
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев*

Давыденко Евгений Павлович

*Аспирант кафедры теплотехники
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев*

Витковский Владимир Станиславович

НПО «Нефтехимэкология, Киев

«ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ ВОДЫ ДЛЯ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ»

Аннотация. Рассмотрены перспективы использования поверхностно-активных веществ в технологии подготовки воды. Метод очистки теплообменных поверхностей от накипных отложений и продуктов коррозии при использовании поверхностно-активных веществ. Приведенные выводы использования ПАВ для промывания котлов.

Ключевые слова: *накипные отложения; ПАВ; модификации воды; приготовления воды; коррозия*

Pavel Glamazdin

*Associate Professor of Thermal Engineering, member of the Academy of Ukraine.
Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kyiv*

Gaba Christina

*Assistant of department of heat engineering
Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kyiv*

Davydenko Evgeny

*Postgraduate of department of heat engineering
Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kyiv*

Vladimir Witkowski

NGO "Naftohimekolohiya", Kyiv

«PROSPECTS OF USING SURFACE-ACTIVE SUBSTANCES IN WATER PREPARATION TECHNOLOGY FOR CENTRALIZED HEAT SUPPLY SYSTEMS»

Abstract. The prospects of using surfactants in water treatment technology are considered. Method of cleaning heat exchanger surfaces from scale deposits and corrosion products when using surfactants. The resulted conclusions of use of surfactants for washing of coppers.

Keywords: *scale deposits; surfactants; water modifications; water preparation; corrosion*

УДК 697.92

Гумен Олена Миколаївна

Доктор технічних наук, доцент, професор кафедри нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки, ORCID: 0000-0003-3992-895X

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

Довгалюк Володимир Борисович

Кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри теплогазопостачання і вентиляції, ORCID: 0000-0002-4836-5354

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Мілейковський Віктор Олександрович

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції, ORCID: 0000-0001-8543-1800

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОФІЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ ТА КОНЦЕНТРАЦІЇ ДОМІШОК ПРИМЕЖОВОГО ШАРУ МІЖ СУПУТНІМИ АБО ЗУСТРІЧНИМИ ПОТОКАМИ

Анотація. Для розробки енергоефективного обладнання опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, а також схем організації повітрообміну, необхідні аналітичні підходи до визначення параметрів турбулентних течій. Розглянуто спрощений підхід до визначення профілю температури та концентрації домішок у примежовому шарі між супутніми та зустрічними потоками на підставі підходу професора А. Я. Ткачука до моделювання турбулентних течій з турбулентною мікроструктурою. Запропоновано спрощену схему макроструктури примежового шару. Використано геометричний та кінематичний аналіз цієї схеми. На підставі цього підходу розглянуто примежовий шар початкової ділянки вільної струмини. Уточнена схема струмини з відмінною температурою або концентрацією домішок від параметрів навколишнього середовища. Ця схема враховує складні тепломасообмінні процеси за наявності великомасштабної вихрової структури. Показано хороший збіг отриманих результатів з відомими дослідними даними.

Ключові слова: примежовий шар змішування; турбулентний потік; турбулентна макроструктура; турбулентна струмина

Постановка проблеми

Енергоефективність опалення, вентиляції та кондиціонування повітря досягається ефективною роботою обладнання та оптимізацією організації повітрообміну в приміщеннях. Більшість потоків у цих системах є турбулентними, тобто параметри в кожній точці течії пульсують у часі. Одним з випадків є турбулентні потоки, що рухаються в одному напрямку або назустріч, наприклад:

- струминний примежовий шар початкової ділянки затопленої струмини (рис. 1) з рівномірним профілем швидкості на виході в потоку або нерухомому середовищі;
- зустрічні потоки нижньої підводки опалювального приладу однотрубною вертикальною системою опалення при перекритій верхній підводці.

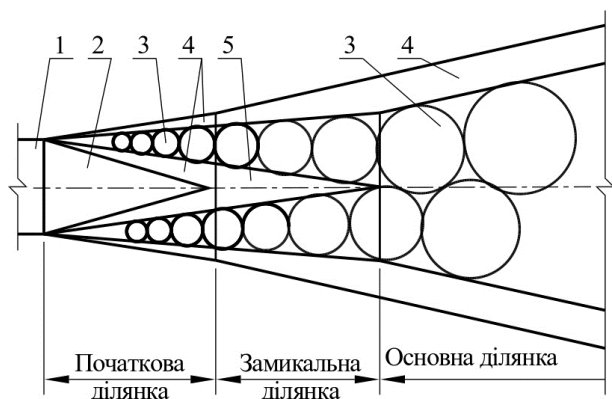


Рисунок 1 – Схема вільної струмини [1]:
1 – патрубок, 2 – ядро постійної температури й концентрації, 3 – вихровий примежовий шар, 4 – зони дрібновихрового тепломасопереносу, 5 – ядро постійної швидкості

Подібні течії характерні для технологічних апаратів, повітряних і водяних мас у природних умовах тощо. Тому результати досліджень актуальні не лише для інженерного забезпечення будівель, але і для екології, технологічного обладнання тощо.

Аналіз основних досліджень і публікацій

Для теоретичного визначення параметрів турбулентних потоків існує лише один точний метод, який не вимагає додаткових експериментальних констант і фіктивних фізичних величин. Це – пряме чисельне розв’язання рівнянь Нав’є-Стокса (DNS) з подальшим усередненням отриманих результатів [2]. Щоб не втратити інформацію щодо турбулентних пульсацій, крок сітки має бути меншим за розмір найменшого можливого вихору в потоку. Таким чином можливо змодельовувати лише невеликі за розміром об’єкти (з урахуванням обсягу пам’яті для зберігання сітки) за наявності потужних суперкомп’ютерів та достатніх часових ресурсів (порядку 10^4 - 10^5 годин процесорного часу [2]). У реальних умовах перше призводить до дорожчання продукції, а друге – до втрати її актуальності.

Для зменшення потреб у ресурсах крок сітки збільшують, а втрачену інформацію замінюють фіктивними величинами на кшталт турбулентної в’язкості, турбулентного числа Прандтля, а також експериментальними коефіцієнтами [3-7].

Для отримання простого аналітичного опису окремих випадків турбулентних течій приймаються спрощення. Одним з прикладів є подібність струминного примежового шару на основній та початковій ділянках струмини [1]. На підставі відомих [1] експериментальних досліджень (рис. 2) було показано [8], що примежовий шар на початковій ділянці не є подібним до основної

ділянки струмини. В середині початкової (та замикальної для неізотермічних струмин) ділянок залишається ядро постійної швидкості, яке звужується за ходом струмини. На його межах утворюється струминний примежовий шар у результаті взаємодії потоку ядра з навколишнім середовищем (нерухомим або рухомим). З обох боків від примежового шару вихрові структури є дрібномасштабними або відсутні. У примежовому шарі формуються великомасштабні вихори – клуби. Тому профіль швидкості близький до симетричного.

Незначна асиметрія (рис. 2) пов’язана з різним турбулентним станом у ядрі та навколишньому середовищі. Для більшості практичних задач опалення, вентиляції, кондиціонування повітря тощо цю асиметрію можна не враховувати. Це – примежовий шар між потоками.

На основній ділянці струмини ядра немає. Примежовий шар межує з одного боку з таким же примежовим шаром (з великомасштабною структурою), а з іншого боку – з навколишнім середовищем без клубів. Тому профіль швидкості є суттєво асиметричним [1].

У неізотермічних струмин та струмин з відмінною від навколишнього середовища концентрацією домішок різниця між примежовими шарами поглиблюється. Найбільш інтенсивний тепломасообмін іде у вихровому примежовому шарі 3, що містить великі вихори – клуби. Теплопровідність та дрібновихрова турбулентна дифузія відіграють другорядну роль.

Тепломасоперенос не може обмежитися вихровим примежовим шаром 3. Поза межами формуються зони 4 дрібновихрового тепломасопереносу, де ці процеси відбуваються за рахунок дії турбулентних пульсацій, теплопровідності та «фізичної» дифузії.

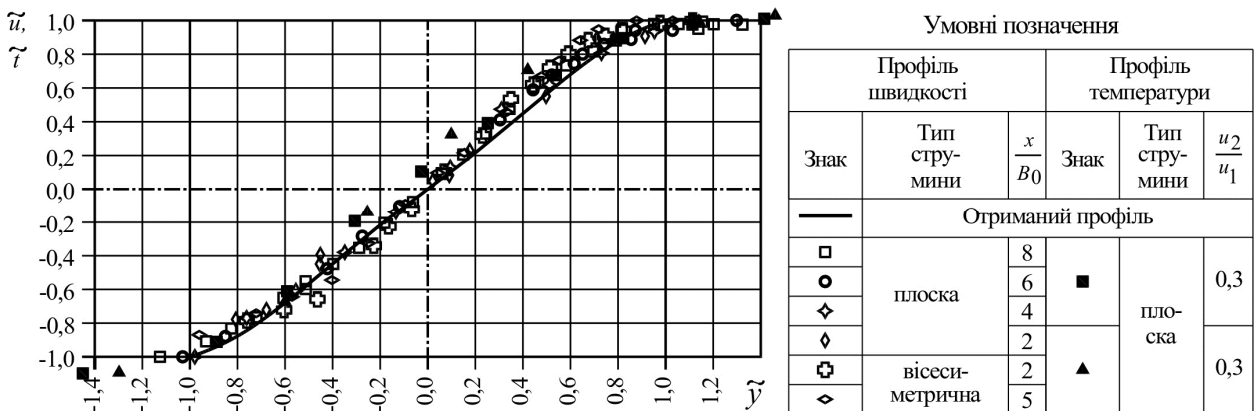


Рисунок 2 – Профіль швидкості та температури: суцільна лінія – отриманий профіль швидкості [9] та температури (13), точки – дослідні дані [1]

Таким чином, ядро постійної температури та концентрацій 2 (рис. 1) суттєво менше за ядро постійної швидкості.

Теплова та концентраційна ширина струмини суттєво більша за динамічну. На початковій ділянці є обидва ядра, а на замикальній [1] – лише ядро постійної швидкості. На обох цих ділянках вихровий примежовий шар 3 з обох боків охоплений зонами 4 дрібновихрового тепломасопереносу.

На основній ділянці такі зони є лише на зовнішніх межах шару 3, а на осі струмини вихрові струминні примежові шари проникають один до одного. Тому слід очікувати принципову різницю між примежовими шарами на основній та інших ділянках.

Для уникнення використання фіктивних величин та експериментальних коефіцієнтів професор кафедри теплогазопостачання і вентиляції Київського національного університету будівництва і архітектури А. Я. Ткачук [10, 11] виконав аналітичний опис примежових шарів без використання додаткових величин, але з урахуванням ролі турбулентних вихорів за методом особливостей.

За відомою теоремою гідродинаміки ідеальної рідини (газу) безперервний безвихровий рух нестисливої рідини (газу), що заповнює безмежний простір і перебуває нерухомим у нескінченності, можна викликати відповідною системою вихрових шнурів. Таким чином А. Я. Ткачук проаналізував пристінні примежові шари. Отримано хороший збіг з відомими дослідними та теоретичними даними.

Формулювання мети статті

Метою роботи є моделювання розподілу температури та концентрації домішок між потоками, що рухаються в одному напрямку або назустріч.

Основна частина

Розглянемо два турбулентних потоки 1 та 2 з рівномірним профілем швидкості, що рухаються в одному або протилежних напрямках з відповідною температурою $t_{п,1}$ та $t_{п,2}$ ($t_{п,1} \geq t_{п,2}$).

Узагальненням підходу А. Я. Ткачука на примежові шари з великомасштабною структурою є геометричний та кінематичний аналіз їхньої макроструктури. Для цього вважатимемо [8, 9, 12], що клуби мають правильну геометричну форму та відіграють визначальну роль у формуванні примежового шару.

Спрощена схема струминного примежового шару між плоскими потоками (рис. 3) передбачає вихрову пелену з великомасштабних вихрових

шнурів (клубів), що котиться потоками. Радіус клуба r відповідатиме половині ширини вихрового шару.

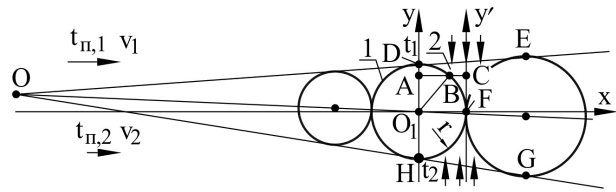


Рисунок 3 – Схема вихрового примежового шару між потоками: 1 – клуб, 2 – міжклубний шар

Розглянемо профіль усередненої температури в межах вихрового примежового шару. Початок координат (рис. 3) сумістимо з центром O_1 миттєвого положення окремого клубу 1. Вісь абсцис x відповідає напрямку руху одного з потоків. Вісь ординат y спрямуємо перпендикулярно до осі x у напрямку від потоку 2 до потоку 1.

Позначимо відносну температуру

$$\tilde{t} = \frac{t - t_k}{\Delta t}, \quad (1)$$

де t_k – середня температура потоків на межі (приблизно дорівнює температурі на лінії осі клубів)

$$t_k = \frac{t_1 + t_2}{2}; \quad (2)$$

t_1 та t_2 – температура, відповідно, потоку 1 та 2 біля межі клубів. За рахунок теплопровідності та турбулентних пульсацій у зоні дрібновихрового тепломасопереносу $t_{п,1} > t_1 > t_2 > t_{п,2}$; Δt – різниця між температурою t_k та температурою кожного потоку t_i :

$$\Delta t = |t_k - t_i| = \frac{t_1 - t_2}{2}, i = 1, 2. \quad (3)$$

Також позначимо відносну ординату $\tilde{y} = y/r$, де r – половина ширини примежового шару.

Вихрову пелену доцільно розглядати як сукупність клубів, між якими розташовані міжклубні шари [12]. Для усереднення температури достатньо взяти вздовж осі x діапазон, що містить половину клубу 1 – між осями y та y' .

Оскільки напрямок руху центрів клубів у загальному випадку не збігається з напрямком осі x , то точка перетину клубів F не збігається з точкою торкання осі y' . (на рис. 3 накладається на точку F). Але для достатньо широкого діапазону параметрів похибка від неврахування цього факту не перевищує 5%. З іншого боку, у реальних умовах між клубами не може бути точки торкання, а існує відстань, де формуються вторинні вихори. Тому вплив сусідніх клубів не враховується.

Середня температура визначається аналогічно вільним струминам [12] шляхом усереднення

швидкості за клубом і міжклубним шаром вздовж відрізка AC при довільному значенні y :

$$t = \frac{t_k |AB| + t_m |BC|}{|AC|} = t_k + t_m, \quad (4)$$

де t_k та t_m – середня температура, відповідно, у клубі 1 та міжклубному примежовому шарі 2 вздовж відрізків AB та BC; $|AB|$, $|BC|$ та $|AC| = r$ – довжина, відповідно, відрізків AB, BC та AC; $t_k = \bar{t}_k |AB|/|AC|$ та $t_m = \bar{t}_m |BC|/|AC|$ – складові середньої температури в клубі та міжклубному шарі.

Довжина відрізка AB знаходиться з розв'язання трикутника $\triangle ABO_1$, $|AO_1| = y$; $|BO_1| = r$; кут $\angle BAO_1$ прямий. Тоді

$$\frac{|AB|}{|AC|} = \frac{(r^2 - |y|^2)^{1/2}}{r} = (1 - |\tilde{y}|^2)^{1/2}. \quad (5)$$

Довжина відрізка BC визначається як різниця довжини відрізків AC та AB. Тому

$$\frac{|BC|}{|AC|} = \frac{|AC| - |AB|}{|AC|} = 1 - (1 - |\tilde{y}|^2)^{1/2}. \quad (6)$$

Визначення розподілу температури в клубі є достатньо складною задачею. Клуб ежектє рідину або газ із середовища, що його оточує. Тому на межах вихрового примежового шару він має відповідну температуру t_1 та t_2 .

У самому клубі для спрощення формули усередненої температури скористаємося найбільш простою інтерполяційною залежністю за двома граничними точками – лінійною (для основної ділянки струмини [12] така інтерполяція дає хороший збіг з дослідними даними):

$$t_k = \bar{t}_k + \tilde{y} \Delta t, \quad (7)$$

Розглянемо міжклубний шар. Аналогічно до зовнішньої частини міжклубного шару основної ділянки струмини (криволінійного трикутника EFA_{13} у роботі [12]), у криволінійних трикутниках DEF та FGH (рис. 3) відбувається підтікання до клубів. Можна вважати, що в цих трикутниках теплообмін на встигає відбутися. Тому температура в криволінійних трикутниках відповідатиме температурі відповідних потоків. З урахуванням формул (2) та (3):

$$\bar{t}_m = \bar{t}_k + \text{sgn}(\tilde{y}) \Delta t, \quad (8)$$

де sgn – функція, що дорівнює одиниці при додатному аргументі, мінус одиниці – при від'ємному – і нулю – при нульовому.

За висловлених припущень отримані рівняння (1) – (8) точно збігаються з відповідними рівняннями для визначення профілю швидкості [9], якщо замінити позначення швидкості u на температури t . Тому результат буде відповідати рівнянню (13) роботи [9] після заміни позначень:

$$\tilde{t}(\tilde{y}) = \frac{t - t_k}{\Delta t} = \text{sgn}(\tilde{y}) \left(1 - (1 - |\tilde{y}|^2)^{3/2} \right), \quad (9)$$

Профіль (9) збігається з експериментальними даними [1] (рис. 2). Для визначення температури t_1 та t_2 для кожної серії дослідів [1] виконувалася поліноміальна регресія експериментальних даних. Температура t_1 та t_2 визначалися за рівнянням регресії підстановкою ординат меж вихрового примежового шару початкової ділянки струмини.

Подібність експериментальних і аналітично отриманих профілів швидкості та температури показує принципову різницю між примежовим шаром початкової ділянки та основної, де профіль температури є більш наповненим.

У залежностях (1...4, 7...9) можна підставляти не тільки температуру в будь-якій однаковій розмірності ($^{\circ}\text{C}$, K, $^{\circ}\text{F}$ тощо), але і надлишкову температуру понад будь-яку (однакову). Від цього результат розрахунку не зміниться, що дозволяє використовувати отримані залежності для широкого класу задач.

З урахуванням подібності профілів температури t і концентрації C , для розрахунку останнього достатньо замінити в усіх залежностях t на C .

Перспективи подальших досліджень

Подальші дослідження спрямовані на аналітичний опис струмин, що взаємодіють між собою. На сьогодні виконано візуальні експериментальні дослідження двох затоплених струмин води, зафарбованих різними флуоресцентними фарбниками – флуоресцеїном натрію (ураніном), що світиться жовто-зеленим кольором, та оптичним відбілювачем для пральних порошоків Реатекс СХТ (ОБА 71), що світиться блакитним кольором.

Отримані фото та відеоматеріали аналізуються задля створення спрощеної схеми макроструктури таких струминних течій. Одним з отриманих результатів є збереження макроструктури струминних течій при їхній взаємодії.

Після завершення аналізу буде виконано аналітичний опис створеної схеми з отриманням параметрів результатних потоків залежно від параметрів струмин, що взаємодіють.

Висновки

На підставі аналізу спрощеної схеми макроструктури одержано профіль температури та концентрації домішок примежового шару між потоками, які рухаються з різною швидкістю в одному або протилежних напрямках. Одержаний профіль відповідає відомим експериментальним даним.

Підтверджено принципову різницю між розглянутим примежовим шаром та основною ділянкою вільних струмин. Різниця пояснюється тим, що на основній ділянці струмини з примежовим шаром межує такий же примежовий шар з великомасштабною вихровою структурою, а розглянутий у даній роботі примежовий шар межує лише з потоками з дрібновихровою структурою. На відміну від основної ділянки струмини профіль

температури розглянутого примежового шару значно ближчий до профілю швидкості.

Запропонований підхід дозволяє аналізувати примежові шари з турбулентною макроструктурою без залучення фіктивних величин та експериментальних констант. У майбутньому буде проаналізовано струмини, що взаємодіють між собою.

Література

1. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй / Г.Н. Абрамович. - М.: Гос. изд-во физ.-мат лит., 1960. - 715 с.
2. Ahlman D. Direct Numerical Simulation of a Plane Turbulent Wall-Jet Including Scalar Mixing / D. Ahlman, G. Brethouwer, A. V. Johansson // *Physics of Fluids*. – Vol. 19, No. 6. – 2007. – P. 065102-1–065102-13. DOI: 10.1063/1.2732460
3. Алямовский А. А. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А. А. Алямовский, А. А. Собачкин, Е. В. Одинцов, А. И. Харитонович, Н. Б. Пономарёв. – Санкт-Петербург.: БХВ-Петербург, 2005. - 800 с.
4. Gutierrez, L.F. RANS Simulation of Turbulent Diffusive Combustion using Open Foam / L. F. Gutierrez, J. P. Tamagno, S. A. Elaskar // *Journal of Applied Fluid Mechanics*. – Vol.9, No.2. – 2016. – P. 669-682.
5. T. Cebeci. *Computational Fluid Dynamics for Engineers* / T. Cebeci, J. P. Shao, F. Kafyke, E. Laurendeau. – Long Beach, Heidelberg: Springer, Horizons Publishing, 2005. – XIV, 396 p.
6. T. J. Chung. *Computational Fluid Dynamics* / Chung T. J. – Cambridge: Cambridge University Press, 2002. - xiii, 1012 p.
7. J. C. Tannehill. *Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer* / R. H. Pletcher, J. C. Tannehill, D. Anderson. – Third edition. – Washington.: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2012. – xx, 774 p.
8. Мілейковський В.О. Аналітичні дослідження макроструктури примежового шару між потоками, що рухаються з різною швидкістю / В.О. Мілейковський // Науково-технічний збірник “Енергоефективність в будівництві та архітектурі”. - К.: КНУБА, 2013. - Вип. 5. - С. 90-98.
9. Гумен О.М. Геометричне обґрунтування профілю швидкості примежового шару між супутніми або зустрічними потоками / Гумен О.М., Мілейковський В.О. // Гідраліка і гідротехніка: Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2012. – Вип. 66. – С. 11-18.
10. Ткачук А.Я. Розрахункова модель усередненого руху в турбулентній зоні плоских і вісесиметричних пристінних примежових шарів / А.Я. Ткачук // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: Науково-технічний збірник. – К.: КНУБА, 2001. – Вип. 2. – С. 3-18
11. Ткачук А.Я. Системы отопления. Проектирование и эксплуатация / А.Я. Ткачук, Е.С. Зайченко, В.А. Потапов, А.П. Целев. - К.: Будівельник, 1985. - 136 с.
12. Мілейковський В.О. Визначення розподілу температури та концентрації в струминному примежовому шарі з використанням геометричного підходу / В.О. Мілейковський // Вентиляція, освітлення і теплогазопостачання: Науково-технічний збірник. - К.: КНУБА, 2009.- Вип. 13. - С.3-8.

Стаття надійшла в редколегію 05.03.2013

Рецензент: д.т.н., проф. В. М. Михайленко, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Гумен Елена Николаевна

Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графики, ORCID: 0000-0003-3992-895X

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев

Довгалоук Владимир Борисович

Кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, ORCID: 0000-0002-4836-5354

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

Мілейковський Віктор Александрович

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, ORCID: 0000-0001-8543-1800

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

**ОБОСНОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСЕЙ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ
МЕЖДУ СПУТНЫМИ ИЛИ ВСТРЕЧНЫМИ ПОТОКАМИ**

Аннотация. Для разработки энергоэффективного оборудования отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, а также схем организации воздухообмена, необходимы аналитические подходы к определению параметров турбулентных течений. Рассмотрен упрощённый подход к определению профиля температуры и концентрации примесей в пограничном слое между спутными и встречными потоками на основании подхода профессора А. Я. Ткачука к моделированию турбулентных течений с турбулентной микроструктурой. Предложена упрощённая схема макроструктуры пограничного слоя. Используются геометрический и кинематический анализ этой схемы. На основании данного подхода рассмотрен пограничный слой начального участка свободной струи. Уточнена схема струи с отличной температурой или концентрацией примесей от параметров окружающей среды. Эта схема учитывает сложные тепломассообменные процессы при наличии крупномасштабной вихревой структуры. Показано хорошее совпадение полученных результатов с известными опытными данными.

Ключевые слова: пограничный слой смешения, турбулентный поток, турбулентная макроструктура, турбулентная струя

Gumen Olena

Doctor of Science, Associate Professor, Professor of the Descriptive Geometry, Engineering and Computer Drawing Department, ORCID: 0000-0003-3992-895X

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv

Dovhaliuk Volodymyr

Philosophy Doctor, Professor, Head of Heat Gas Supply and Ventilation Department, ORCID: 0000-0002-4836-5354

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Mileikovskiy Viktor

Doctor of Philosophy, Associate Professor, Associate Professor of Heat Gas Supply and Ventilation Department, ORCID: 0000-0001-8543-1800

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

**JUSTIFICATION OF TEMPERATURE AND IMPURITIES CONCENTRATION PROFILE OF BOUNDARY
LAYER BETWEEN UNIDIRECTIONAL OR OPPOSITE FLOWS**

Abstract. To develop energy efficient equipment for heating, ventilation and air conditioning or schemes of air exchange organization, analytical approaches to determining turbulent flows parameters are needed. A simplified approach to determining of temperature and impurities concentration profiles in the boundary layer between unidirectional and opposite flows is considered by the approach of A. Tkachuk for simulation of flows with turbulent microstructure. A simplified scheme of the boundary layer macrostructure is proposed. Geometric and kinematic analysis of this scheme is used. Based on this approach, the boundary layer of the initial section of the free jet is considered. The scheme of the jet with different temperature or impurities concentration from the environmental parameters is improved. This scheme takes into account complex heat and mass transfer processes at the presence of a large-scale vortex structure. It is shown that the obtained results are in good agreement with known experimental data.

Keywords: mixing boundary layer, turbulent flow, turbulent macrostructure, turbulent jet

УДК 502. 55

Дудар Ігор Никифорович

Доктор технічних наук, професор

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Яворовська Ольга Василівна

Аспірант, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

РОЗРОБКА ЕКОЛОГІЧНОЇ КАРТИ РОЗТАШУВАННЯ ПРИВАТНИХ ПУНКТІВ ПРИЙОМУ ВТОРСИРОВИНИ У МІСТІ ВІННИЦЯ

***Анотація.** У статті розглянуто актуальне завдання створення екологічної карти розташування приватних пунктів прийому вторсировини. Запропонована електронна карта та мобільний додаток, які дозволяють згрупувати та об'єднати всі необхідні для споживача дані – види сировини, що приймаються, графік роботи пункту, ціна, інформація про власників. Також є можливість знаходження оптимального до споживача пункту втор сировини та прокладення до нього маршруту. Електронна карта сприятиме розв'язанню ряду містобудівних проблем, які виникають при складанні схеми поводження з твердими побутовими відходами (далі – ТПВ). Її застосування зменшить витрати та полегшить управління схемою поводження з ТПВ у місті.*

***Ключові слова:** Приватні пункти прийому вторсировини; еко-карта; мобільний додаток; ТПВ; містобудівні обмеження*

Постановка проблеми

Енергозбереження у комунальному господарстві є одним з актуальних питань для України. Ключовим аспектом вирішення даної проблеми є організація роботи системи поводження з ТПВ. До вирішення даної проблеми необхідно підходити комплексно, аналізуючи всі етапи поводження з відходами. В даній статті ми пропонуємо оптимізувати етап збору вторинної сировини на прикладі функціонування приватних пунктів збору вторсировини.

На сьогоднішній день питання функціонування приватних пунктів прийому вторсировини, як одного з елементів схеми поводження з ТПВ є важливими завданням, що потребує розв'язання. Річ у тому, що популярність приватних пунктів прийому вторсировини в останні десятиліття різко знизилась. Довгий час даними пунктами користувались особи з невизначеним місцем проживання. Рідше – працівники галузі торгівлі чи офісні співробітники, які, як правило, здавали у пункти великі об'єми картону та паперу.

Згідно проекту Стратегії поводження з побутовими відходами в Україні, одним з пріоритетів передбачено запобігання і мінімізація відходів. Запобігання і мінімізація означає проведення заходів, вжитих до того моменту, як

речовина, матеріал або продукт стали відходами. Одним із практичних способів реалізації даного пріоритету є повторне використання сировини. Для цього використані продукти (тара упаковки, скляні та ПЕТФ – пляшки, полімери, плівка інш.) повинні розглядатися як цінні матеріали, а не як відходи, що підлягають видаленню. Напрямоком розв'язання даної проблеми згідно проекту Стратегії є розширення мережі приватних пунктів прийому втор сировини. Створення мережі пунктів прийому втор сировини по місту підвищить імовірність ефективного вилучення вторинної сировини з потоку муніципальних ТПВ.

Аналіз основних досліджень та публікацій

Проблемою роботи системи поводження з відходами загалом та функціонуванням приватних пунктів прийому втор сировини займалися українські та закордонні вчені. Серед них вагомий внесок у дослідження проблеми здійснили: Самойлік М. С.[1,2,3], Онищенко В.О. [3], Тараканов В.А [4], Корнієнко І.В.[5], Кошма А.І [5,7], Ігнатенко О.П[6].

Формулювання мети статті

Основною метою дослідження є аналіз роботи пунктів прийому втор сировини, як одного з елементів енергозбереження у комунальному господарстві.

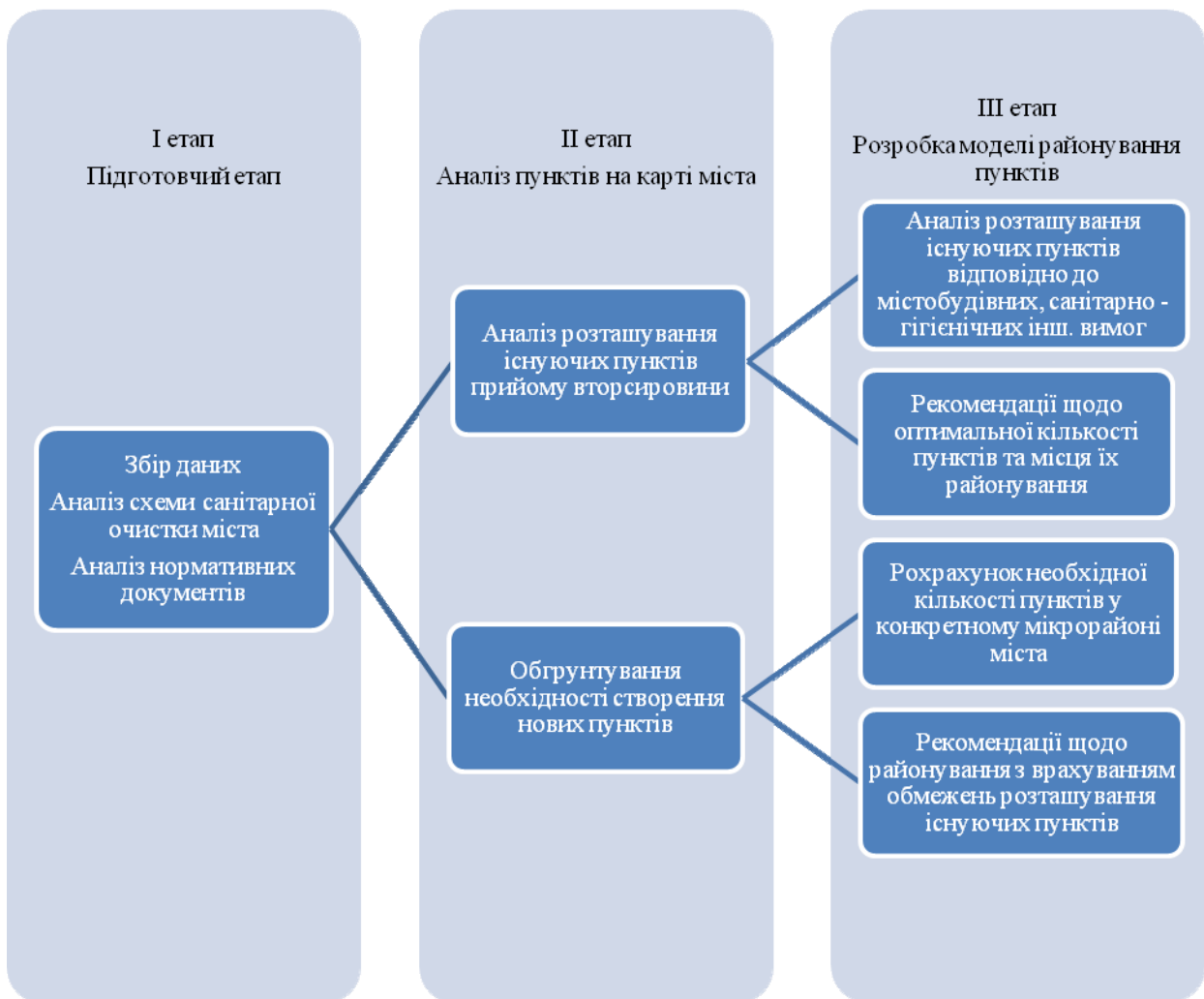


Рисунок 1 - Алгоритм розробки карти районування приватних пунктів прийому втор сировини [розроблено автором]

Для цього необхідно проведення аналізу нормативних вимог та обмежень щодо роботи даних пунктів прийому вторсировини. Практична реалізація здійснена на прикладі системи розташування пунктів у м. Вінниця.

Основна частина

Приватні пункти збору втор сировини – це пункти організацій, що здійснюють діяльність зі збору, купівлі, прийманням, зберігання, обробленням, перевезення, реалізації і постачання відходів переробним підприємствам на утилізацію.

Згідно [8,10] приватні пункти збору втор сировини є одним із ключових елементів інфраструктури поводження з ТПВ. Тому в Україні проводиться політика на збільшення мережі приватних пунктів збору втор сировини. Метою даних заходів є економія сировини, ресурсів (оскільки вторсировину можливо переробити на 95%, а спектр її використання різноманітний), проведення рішень відповідно вимогам екологічних

норм і правил інш. Проте сьогодні жителі середніх міст України, до якого відноситься також Вінниця, рідко звертаються до послуг пунктів збору втор сировини. Скорочення звернень громадян до приватних пунктів збору втор сировини зумовили ряд факторів, серед яких:

- Низькі фіксовані тарифи на перевезення та утилізацію. Платня не змінюється від кількості ТПВ, які генерують громадяни та від якості відсортування ними ТПВ, тому відсутні стимули відсортувати окремі фракції і, тим більше, здавати їх в пункти прийому вторсировини.

- Низька популяризація пунктів прийому втор сировини. Більше 55% не знають та не можуть знайти інформацію про найближчий до них приватний пункт прийому втор сировини. Крім того практично відсутня реклама у ЗМІ, телефірі інш. даного виду послуги. Досить часто дані пункти не мають навіть вказівників та вивісок. Тому вони і не мають широкої популярності.

- Плата, яку отримують за здачу втор сировини є низькою. Іноді вона не покриває витрати на

транспорт, які затрачуються, щоб дістатися до пункту.

- Неестетичний вигляд приватних пунктів прийому втор сировини. Часто неприємних запах, бруд інш. проблемні питання антисанітарії, які знижують популярність даних пунктів серед населення. Також проблемою для жителів мікрорайону є невірна логістика пунктів прийому. Доволі часто пункти прийому не мають відповідного складського приміщення або його потужність не задовольняє попит. Тому нерідкою є ситуація, коли ящики з пляшками, пакети з макулатурою чи склобоєм знаходяться біля пункту, на тротуарах, подвір'ях, алеях тощо і заважають іншим громадянам.

- Незручне розташування даних пунктів. Часто пункти розташовуються в глухих місцях, та їх важко помітити (наприклад, в приватному секторі або у промислових районах, що не функціонують), а не біля громадських місць.

- Нестабільний графік роботи приватних пунктів втор сировини. Досить часто власникам пункту не вигідно працювати з громадянами, які здають малий об'єм втор сировини (до 1 кг), тому пункти працюють згідно нестабільного графіка.

- Низька поінформованість громадян щодо утилізації різних фракцій ТПВ. Згідно опитування, проведеного авторами, жителі міста не розуміють етапи подальшого поводження з втор сировиною, екологічні переваги відсортування окремих фракцій.

У м. Вінниця функціонує розгалужена системи приватних пунктів збору вторинної сировини. Основними заготівельними підприємствами, які діють на території міста є КП «Ековін», ФОП Клемешов, ТОВ «Подільська Січ», ПП «Юреко», ФОП Коваленко, Вінницька філія ТОВ «Вторресурси Київського картонно – паперового комбінату» інш.

Основними видами вторинної сировини, в тому числі відібраної з ТПВ є: макулатура (картон та папір), скло (склотара та склобій), ПЕТФ пляшки та полімерні відходи, полімерна плівка, метали та металобрухт (чорні та кольорові), гумові відходи.

Вторинна сировина відбирається із ТПВ на всіх етапах поводження з ними:

- При утворенні ТПВ – на місцях генерування відходів: в житлових будинках, офісних та адміністративних приміщеннях, в торговельних закладах інш.);

- При накопиченні ТПВ у контейнерах первинного зберігання;

- При детальному сортуванні на сортувальній лінії;

Середньозважений вміст макулатури у муніципальних ТПВ, які вивозяться з об'єктів

утворення ТПВ на полігон м. Вінниця складає 15%, полімерів – 19,5%, металів – 4,2%, скла – 5,8% . Загальний вміст ресурсоцінних компонентів становить 47,1 %.

Тому зважаючи на ненормативну кількість приватних пунктів втор сировини, актуальним є питання влаштування розгалуженої системи даних об'єктів. Ми пропонуємо розбудовувати систему за алгоритмом (див. рис.1).

Актуальним для міста є районування приватних пунктів прийому втор сировини відповідно до потреб населення. Для цього важливою задачею є ефективне функціонування існуючих і проєктованих пунктів прийому. Для цього ми пропонуємо уніфікувати зведення основних даних про конкретний пункт: загальні відомості, обмеження до розташування, наявність паспорту відходів, які приймає пункт інш.

Для теоретичного обґрунтування моделі запропоновано скласти карту відкритої інформації про пункти прийому втор сировини на основі публічної інформації та польових досліджень.

Для дослідження взято всі існуючі пункти, які функціонують на території міста на момент дослідження. На карти Google було нанесено більше 154 пунктів прийому макулатури, склотари та склобою, гальванічних елементів, металу та металобрухту, люмінесцентних ламп, пластику та ПЕТ-пляшок, гумових відходів(див. рис. 2).

За допомогою додаткових функцій профілю «Мої мітки» було не лише вказано розташування пунктів, але й зазначено основні відомості про них: адреса; власник; режим роботи пункту; контактний телефон; види втор сировини; яка приймається; загальний вигляд пункту (фотофіксація); вказівки щодо детального розташування пункту прийому на схемі міста; ціна за втор сировину.

Також для зручності користування картою було створено додаток, який повністю повторює карту.

Наочний аналіз по пошуку пунктів прийому втор сировини та робота по створенню карти дали змогу зробити наступні висновки про систему їх розміщення у плані міста та дотримання містобудівних обмежень:

Вся територія житлової забудови міста охоплена стихійними групами чи окремими пунктами вторинної сировини. Пункти вторинної сировини розміщені по території міста безсистемно і нерівномірно, незважаючи на те, що вторинна сировина утворюється на території міста практично рівномірно (пропорційно щільності населення).

- По карті наочно видно, що в деяких районах пункти втор сировини концентровані один біля одного, в окремих мікрорайонах дані пункти взагалі

відсутні. Таке нерівномірне розташування є незручним для жителів міста, які планують скористатися послугами пункту, оскільки вони змушені будуть перевозити вторсировину на великі відстані, що зменшуватиме імовірність того, що житель міста здаватиме втор сировину.

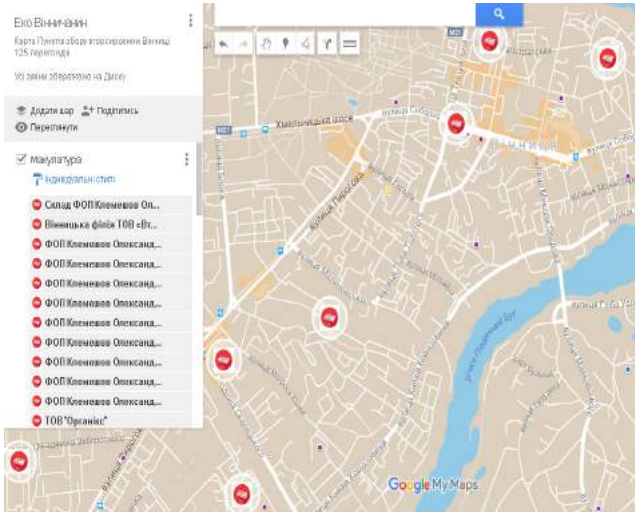


Рисунок 2 – Інтерфейс карти пунктів прийому вторсировини у м. Вінниця з вікном легенди

- Кількість пунктів прийому втор сировини є ненормативною. Згідно [9] на 20 тис. жителів має бути передбачений 1 пункт прийому. Тому з наочної карти можемо зробити висновок, що кількість пунктів є недостатньою для зручності споживачів.

- Розташування самих пунктів прийому вторсировини не відповідає вимогам містобудівних норм. Згідно [9] відстань від пункту прийому втор сировини до стін житлового будинку повинна складати не менше 20 м, а до будинків загальноосвітніх шкіл, дитячих дошкільних установ – 50 м.

- В більшості випадків, особливо при розташуванні пунктів в житловій забудові міста, дана норма не виконуються; в деяких випадках пункти розташовуються навіть в житлових будинках.

- Згідно містобудівних норм [9] пункти вторинної сировини повинні бути ізольовані смугою зелених насаджень. При польових дослідженнях стану приватних пунктів прийому вторсировини виявлено, що вони не огорожені жодним чином, біля них відсутні зелені насадження. Доволі часто вони знаходились в безпосередній близькості до будинків (прилягали до житлових багатоповерхівок), а в деяких випадках знаходились в підвалах житлових будинків.

- Згідно вимог [11] територія навколо пункту прийому втор сировини повинна бути облагороджена. В більшості випадків під'їзд до пунктів прийому втор сировини додатково не освітлені. В деяких випадках пункти не мають власного під'їзду чи майданчику для розвороту та розташовуються прямо з виходом на дорогу, тому транспорт, який обслуговує пункт прийому часто заважає транспорту, який рухається по дорозі.

Висновки

У статті обгрунтовано доцільність розширення мережі приватних пунктів прийому вторсировини. Розширення мережі пунктів сприятиме збільшенню обсягу споживання товарів з втор сировини, зменшення втрат сировинних, матеріальних і паливно-енергетичних ресурсів на етапі виробництва продукції; зниження рівня забруднення відходами навколишнього середовища; створення нових робочих місць.

З метою популяризації пунктів прийому втор сировини розроблено електронну карту та мобільний додаток, який допоможе знайти споживачам найближчий пункт прийому конкретної вторинної сировини.

Література

1. Самойлік М. С. Комплекс маркетингових заходів при організації індустрії та розвитку регіонального ринку вторинної сировини/ М.С. Самойлік// Бізнес Інформ. – 2014. – № 5. – С. 194 – 200.
2. Самойлік М.С. Маркетинговий менеджмент при організації індустрії та розвитку регіонального ринку вторинної сировини/ М.С. Самойлік// Наукові праці Полтавської державної аграрної академії, Полтава : ПДАА – 2014. – № 1(1). – С. 290 – 296.
3. Онищенко В. О. Теоретико-методологічні засади управління сферою поводження з твердими відходами на регіональному рівні ; монографія / В. О. Онищенко, М. С. Самойлік. – Полтава : ПолтНТУ, 2013. – 524 с.

- 4 Тараканов В.А. Методологические основы создания и развития рынка вторичного сырья/ В. А. Тараканов. – М: ИГА, 2005. -342 с.
- 5 Корнієнко І.В. Декомпозиція задачі формування просторої структури мережі збору побутових відходів/ І.В. Корнієнко, А. І. Кошма// Технологічні науки та технології. – 2015. - №1(1). – С. 113 – 117
- 6 Ігнатенко О.П. Розділяй та володарюй – принципи побутових відходів: практичний посібник/ О.П. Ігнатенко. – К., 2013. -173 с.
- 7 Кошма А.І. Моделювання обмежень розташування контейнерних майданчиків роздільного збору твердих побутових відходів/ А.І. Кошма// Технологічні науки та технології. – 2015. - № 2. - С. 135-140 .
- 8 Видання. Основні види. Терміни та визначення : ДСТУ 3017– 95. — [Чинний від 01-01-96]. —К. : Держстандарт України, 1995. — 47 с. —(Національні стандарти України).
- 9 Містобудування. Планування і забудова міських та сільських поселень: ДБН 360-92**. – [Чинний від 2002-04-19]. – К. : Держбуд України, 2002. – 120 с. – (Державні будівельні норми України).
- 10 Про впровадження системи збирання, сортування, транспортування, переробки та утилізації відходів як вторинної сировини.: схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 26.07.2001 року №915// Офіційний вісник України. – 2001. – № 31. – ст. 1412.
- 11 Деякі питання Державної компанії з утилізації відходів як вторинної сировини.: схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 22.11.2010 року №1074// Офіційний вісник України. – 2010. – № 93. – ст. 3309.

Стаття надійшла в редколегію 04.04.17

Рецензент: д.т.н., проф. Моргун А.С., Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Дударь Игорь Никифорович

Доктор технических наук, профессор

Винницкий национальный технический университет, Винница

Яворовская Ольга Васильевна

аспирант

Винницкий национальный технический университет, Винница

РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЧАСТНЫХ ПУНКТОВ ПРИЙОМА ВТОРСЫРЬЯ В ГОРОДЕ ВИННИЦА

Аннотация. В статье рассмотрена актуальная задача создания экологической карты расположения частных пунктов приема вторсырья. Предложена электронная карта и мобильное приложение, которые позволяют сгруппировать и объединить все необходимые для потребителя данные - виды принимаемого вторсырья, график работы пункта, цена, информация о владельцах. Также есть возможность нахождения оптимального к потребителю пункта вторсырья и прокладки к нему маршрута. Электронная карта будет способствовать решению ряда градостроительных проблем, возникающих при составлении схемы обращения с твердыми бытовыми отходами (далее - ТБО). Ее применение уменьшит расходы и облегчит управление схемой обращения с ТБО в городе.

Ключевые слова: Частные пункты приема вторсырья; эко-карта; мобильное приложение; ТБО; градостроительные ограничения

Dudar Igor

PhD, Professor

Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa

Yavorovska Olha

Postgraduate student

Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa

DEVELOPMENT OF THE ECOLOGICAL CARD FOR POSITION OF PRIVATE POINTS OF OBTAINING SECONDARY MATERIALS IN THE CITY OF VINNICA

Abstract. In the article the actual task of creation of the ecological map of recycling of household wastes is considered. The proposed electronic card and mobile application, which allows you to group and combine all the necessary customer data. In addition, you can find the optimal moment for the consumer of raw materials and lay route. The electronic map will help you solve some local problems arising in the preparation of solid waste (hereinafter - MSW). Its use will reduce costs and simplify management.

Keywords: Private collection of recyclables secondary materials; Eco-map; Mobile application; MSW; limiting urban development

УДК628.921

Егорченков Владимир Алексеевич

Кандидат технических наук, доцент,

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ В ЗДАНИЯХ ПУТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ УСЛОВИЙ ОСВЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТА РАЗЛИЧЕНИЯ ПРОСТОЙ ФОРМЫ

***Аннотация.** Одним из путей повышения энергоэффективности систем освещения зданий является переход на более эффективные критерии оценки, для которых необходимы их требуемые значения. В настоящее время они определяются путем проведения сложных и дорогостоящих экспериментов. В работе осуществлена попытка определения требуемых значений параметров светового поля теоретическим путем на основе метода моделирования условий освещения объекта наблюдения с применением точечного исчисления. Модель объекта наблюдения сформирована множеством точек сканирования, в ячейках между которыми определялись освещенность и яркость. Рассмотрены два варианта расположения светильника. Первый вариант оказался более энергоэффективным, хотя абсолютные уровни освещения были ниже чем во втором варианте. Повышение энергоэффективности систем освещения достигнуто путем рационального размещения светильника, в результате которого яркостные контрасты были выше.*

***Ключевые слова:** энергоэффективность; система освещения; требуемые значения параметров освещения; точечное уравнение; освещенность; яркость; контраст*

Постановка проблемы

В настоящее время высокий уровень потребления энергии и ее значительная стоимость приводят к поиску путей повышения энергоэффективности здания и его систем энергообеспечения, которые формируют комфортные условия пребывания в зданиях.

Световая среда в производственных помещениях, как известно, оказывает большое влияние на производительность труда, самочувствие человека и энергоэффективность зданий. Особенно остро это проявляется при точных зрительных работах (I-IV разряды зрительных работ [1, 2]). Для того, чтобы сохранить производительность труда на высоком уровне, необходимо работающим на производстве повышать уровни освещенности, затрачивая при этом значительное количество энергии.

Свет обладает как количественными, так и качественными характеристиками. В практике проектирования систем освещения основное значение, как правило, придают учету количественных характеристик, а качественные характеристики представляются лишь общими рекомендациями. Хотя именно они могут играть

существенную роль в приемлемости той или иной системы освещения помещений.

Анализ основных исследований и публикаций

В последнее время исследователи все больше приходят к выводу о том, что в качестве критерия оценки условий освещения должен приниматься универсальный комплекс количественных и качественных параметров [3]: средняя сферическая освещенность, модуль светового вектора, его направление и контрастность освещения.

Для перехода на оценку условий освещения по данному комплексу характеристик необходимы их требуемые значения для каждой зрительной операции, которые служат основанием для введения их в нормативные документы. Определение требуемых значений световых параметров осуществляется путем проведения натуральных или лабораторных экспериментов. Эти исследования проводятся уже на протяжении нескольких десятилетий [4 – 10 и др.].

Общая схема проведения таких исследований такова. На первом этапе изучаются особенности производства. Этот этап включает натурные

наблюдения и тщательный анализ технологических процессов в действующих цехах. На основе этого выбираются объект наблюдения и различия, а также критерии оценки, которые в наибольшей степени характеризуют условия освещения объекта.

На втором этапе работы определяется зависимость зрительной работоспособности от величин выбранных пространственных характеристик светового поля. Для этого разрабатывается опытное рабочее место и тест-объекты. Отбирается необходимое количество испытуемых, с которыми для получения соответствующего объема статистических показателей исследования проводятся много раз, затрачивая при этом продолжительное время.

В результате проведения таких исследований определяется наиболее эффективная система освещения [9].

Как видно, на проведение таких исследований требуется много средств и времени. А зрительных операций тысячи и тысячи. Поэтому необходимо найти такие способы определения требуемых значений, которые не имели бы больших затрат.

В основе своей различие объектов наблюдения обеспечивается яркостным контрастом между элементами наблюдения и фоном, а вышеперечисленные характеристики позволяют подобрать такие системы освещения, которые позволяют создать необходимый контраст.

Формулирование цели статьи

Целью данной работы является повышение энергоэффективности систем освещения в зданиях, которое достигается путем рационального размещения светильников, на основе моделирования условий освещения объекта различения с использованием точечного исчисления.

Идея повышения энергоэффективности заключается в следующем. Видимость объекта различения зависит от многих факторов: яркостного контраста между объектом различения и фоном, углового размера объекта различения, яркости фона и др. Но основное значение для условий видимости имеет яркостной контраст. В литературных источниках имеется достаточный объем информации по яркостным контрастам, благоприятным для восприятия объектов различения при соответствующей световой обстановке [11–13]. Принимая это во внимание, рассчитываются яркости элементов наблюдения и определяются контрасты между этими элементами. Если яркостной контраст соответствует требуемому (или максимальному), то при этом положении наблюдателя и объекта определяются остальные

параметры освещения. Если не соответствует, то изменяя положение объекта и источника света, а также величину светового потока, доводят яркостной контраст до требуемой величины. При этих условиях также определяются остальные параметры освещения, считая их благоприятными. Только в этом случае система освещения будет наиболее энергоэффективной.

Основная часть

При теоретическом определении требуемых параметров первый этап, о котором говорилось в начале работы, остается в данном случае без изменения. Изучается технология производства со зрительными задачами, на основе которого выбирается объект наблюдения и объект различения.

На втором этапе осуществляется геометрическое моделирование поверхностей объекта различения, участвующих в формировании яркостных контрастов.

Третий этап посвящен разработке программного обеспечения.

На четвертом этапе проводятся исследования по определению рациональных условий освещения объекта различения и выбирается наиболее эффективная система освещения.

В качестве примера рассмотрим царапину, имеющую треугольную форму, на какой-либо поверхности (рис.1). И поверхности царапины и поверхность материала имеют диффузное отражение. Этот случай довольно часто имеет место при обработке деталей до соответствующего уровня.

Допустим, имеется источник света с известной кривой распределения силы света I и величиной светового потока F . Эти данные представлены в паспорте к каждому светильнику. Световой поток падает на поверхность, на которой находится объект различения, включающий четыре элемента; 1, 2, 3, 4. Задаются координаты вершин каждого элемента объекта различения. Например, для элемента 1: A_0, A_1, A_5, p_1 и q_1 . Задаются также координаты светильниках x_{IC}, y_{IC}, z_{IC} . Поскольку световые параметры распределяются по элементам объекта различения неравномерно, то формируется множество точек сканирования путем составления точечных уравнений для каждого элемента [14]:

Общее уравнение точек сканирования по всем элементам будет иметь следующий вид [15]:

$$M_{ijk} = M_{A1} + M_{A2},$$

$$M_{A1} = (A_{k+1} - A_k) [(1 - \tau_1) \tau_1 + p_{k+6} \tau_1 \tau_1], \quad (1)$$

$$M_{A2} = (A_{k+5} - A_k) [\tau_1 (1 - \tau_1) + q_{k+6} \tau_1 \tau_1] + A_k,$$

где k – порядковый номер вершин каждого элемента;

t_1 и τ_1 – параметры уравнения:

$$t_1 = \frac{i}{m}, \quad i=0,1,2,\dots,m; \quad \tau_1 = \frac{j}{n}, \quad j=0,1,2,3,\dots,n.$$

p_5 и q_5 – относительные координаты точки A_6 (при прямоугольном элементе эти координаты равны единице).

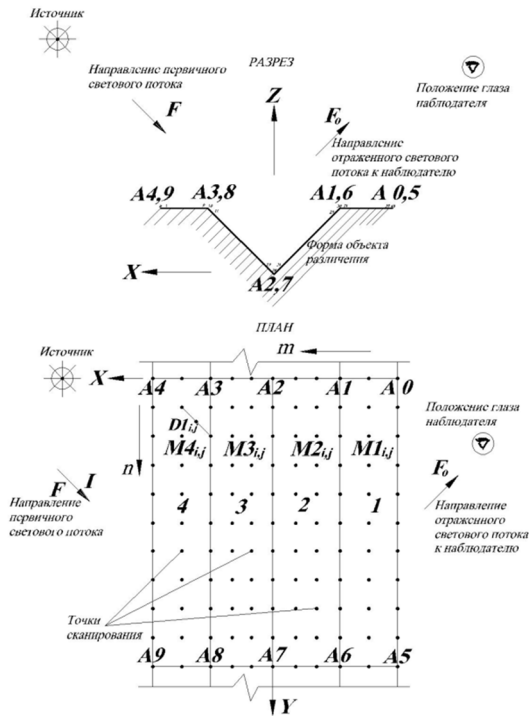


Рисунок 1 – Модель объекта различения

Итак, полученоточечное уравнение, которое определяет координаты точек сканирования. Четырехсоседние точки образуют ячейки, внутри которых параметры постоянны. Причем, чем больше подобных ячеек, тем выше точность.

Параметры освещения определяются в средней точке каждой ячейки, которая может быть представлена средней точкой диагоналя ячейки. Вычисляются координаты этой точки.

$$D_{ijk} = (M_{ijk} + M_{i+1,j+1,k}) / 2, \quad (2)$$

Освещенность в центре каждой ячейки определяется по формуле:

$$E_{ijk} = I_{\alpha(ijk)} \cdot \cos \alpha_{ijk} / ICD_{ijk}^2, \quad (3)$$

где $I_{\alpha(ijk)}$ – сила света в направлении центра данной ячейки D_{ij} ;

ICD_{ijk} – расстояние от источника света до центра данной ячейки:

$$ICD_{ijk}^2 = (xIC - xD_{ijk})^2 + (yIC - yD_{ijk})^2 + (zIC - zD_{ijk})^2, \quad (4)$$

α_{ijk} – угол между направлением силы света и нормалью в центре ячейки.

Искомый угол определяется следующим образом (рис.2). Сначала определяется нормаль к плоскости $M_{ijk}M_{(i+1)jk}D_{ijk}S_{ijk}(x_{S_{ijk}}, y_{S_{ijk}}, z_{S_{ijk}})$, которая характеризуется, как точка выхода из плоскости.

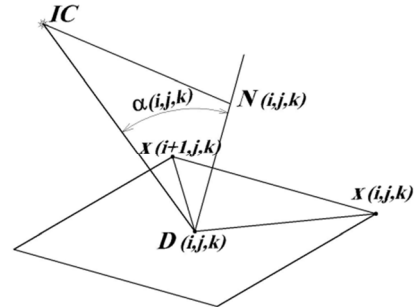


Рисунок 2 – Параметры для определения косинуса угла α_{ijk} .

Определяется по координатный алгоритм этой точки.

$$\begin{aligned} x_{S_{ijk}} &= 0.5(y_{(i+1)jk} z_{ijk} + y_{ijk} zD_{ijk} + yD_{ijk} z_{(i+1)jk} - \\ &- yD_{ijk} z_{ijk} - y_{(i+1)jk} zD_{ijk} - y_{ijk} z_{(i+1)jk}) \\ y_{S_{ijk}} &= 0.5(z_{(i+1)jk} x_{ijk} + z_{ijk} xD_{ijk} + zD_{ijk} x_{(i+1)jk} - \\ &- zD_{ijk} x_{ijk} - z_{(i+1)jk} xD_{ijk} - z_{ijk} x_{(i+1)jk}) \\ z_{S_{ijk}} &= 0.5(x_{(i+1)jk} y_{ijk} + x_{ijk} yD_{ijk} + xD_{ijk} y_{(i+1)jk} - \\ &- xD_{ijk} y_{ijk} - x_{(i+1)jk} yD_{ijk} - x_{ijk} y_{(i+1)jk}) \end{aligned} \quad (5)$$

Определяются координаты точки, принадлежащей нормали плоскости:

$$N_{ijk} = S_{ijk} + D_{ijk}. \quad (6)$$

Определяются длины остальных сторон треугольника $ICN_{ijk}D_{ijk}$ и ND_{ijk} по аналогии с (4):

В результате косинус угла между плоскостями определится следующим образом

$$\cos \alpha_{ijk} = \frac{ICD_{ijk}^2 + ND_{ijk}^2 - ICN_{ijk}^2}{2ICD_{ijk}ND_{ijk}}. \quad (7)$$

Яркость каждой ячейки определяется, при условии отражения поверхности по закону Бугера, по формуле:

$$L_{ijk} = E_{ijk} \cdot \rho / \pi, \quad (8)$$

где ρ – коэффициент отражения материала поверхности.

Величина освещенности E_{ijk} определяется с учетом многократного отражения между элементами объекта наблюдения по известной методике [16].

Яркостные контрасты определяются по следующим зависимостям:

$$K_{21} = \frac{|L2_{ijk} - L1_{ijk}|}{L1_{ijk}}; \quad K_{32} = \frac{|L3_{ijk} - L2_{ijk}|}{L2_{ijk}};$$

$$K_{43} = \frac{|L4_{ijk} - L3_{ijk}|}{L3_{ijk}},$$

здесь цифровые индексы обозначают номера элементов объекта наблюдения.

Меняя положение источника освещения можно добиться требуемой (или максимальной) величины контраста освещения. При найденном положении определяются известными способами параметры световой обстановки, которые и будут являться благоприятными. При необходимости можно осуществить экспериментальную проверку определенной теоретическим путем световой обстановки (например, субъективным методом) в натуральных или лабораторных условиях.

В настоящее время разрабатывается программа формирования требуемых параметров условий освещения объекта наблюдения в среде Mathcad15. Однако уже получены предварительные результаты численного эксперимента (рис.1, табл.1 и 2).

Условия эксперимента следующие. Размер объекта наблюдения 200×200 мм, объект различения – царапина треугольной формы – с размером в плане 1 мм, глубина 0,5 мм. Материал объекта древесина, гипсокартон и т.п. с равномерным отражением $\rho = 0,5$. Светильник с равномерным распределением силы света (в виде молочного шара) $I = 300$ кд/м². Его расположение для первого варианта сбоку: $xIC = 1$ м, $yIC = 0$, $zIC = 1,5$ м (рис.1). Результаты расчетов по первому варианту представлены в табл.1.

Расположение светильника по второму варианту по центру объекта различения (в плане): $xIC = 0$, $yIC = 0,2$ м, $zIC = 1$ м. Результаты расчетов по второму варианту представлены в табл.2.

Методика определения благоприятных значений параметров освещения теоретическим путем заключается в следующем.

1. Моделируются объект наблюдения и объект различения со всеми необходимыми элементами.

2. Задаются координаты элементов объекта наблюдения и источников освещения.

3. Составляются точечные уравнения для каждого элемента объекта наблюдения и различения, формируется поле точек сканирования.

4. Четыре соседние точки сканирования образуют ячейки, в центрах которых определяется освещенность и яркость.

5. На поверхностях объекта различения вычисляется прирост освещенности за счет многократного отражения света друг от друга.

6. Определяется окончательная яркость всех элементов и подсчитываются яркостные контрасты. Осуществляется анализ яркостных соотношений.

7. Путем изменения геометрических параметров взаимосвязи системы освещения и объекта наблюдения яркостные соотношения доводятся до требуемых.

8. При найденном требуемом значении яркостного контраста определяются необходимые параметры световой обстановки. Это и будут требуемые значения параметров света, при которых будет максимальные производительность зрительного труда и энергетическая эффективность.

9. При необходимости проводится небольшой проверочный эксперимент в лабораторных или натуральных условиях (легче всего, по субъективной оценке).

Выводы

1. Одним из путей повышения энергетической эффективности систем освещения является переход на более эффективные критерии оценки световой среды в помещениях. Для проектирования систем освещения с их использованием необходимо определить требуемые значения этих критериев, которые определяются в настоящее время посредством проведения сложных и дорогостоящих экспериментов в натуральных условиях. Поэтому в данной статье осуществлена попытка найти теоретический подход к этой проблеме.

2. Разработана методика теоретического определения требуемых значений параметров светового поля при технологических операциях, имеющих простые формы объектов различения

3. Как видно из проведенного численного эксперимента даже повышение освещенности и яркости не дало положительного результата, поскольку яркостной контраст во втором примере более низкий, о чем говорилось в начале статьи. И, естественно, вероятность обнаружения объекта различения (царапина треугольной формы) будет меньше, чем в первом примере. Поэтому в первом примере световая обстановка будет более энергоэффективной, чем во втором примере

4. В данной работе сделан первый шаг в области теоретического определения требуемых значений параметров светового поля. В перспективе исследования будут направлены на разработку методик для сложных объектов наблюдения и предметов различения, подстраиваясь непосредственно к технологическому процессу.

5. Данные исследования послужат основой для разработки программы моделирования и расчета требуемых параметров световой среды для многих технологических операций, что позволит сократить средства и время получения подобных данных и быстрее внедрить наиболее эффективные критерии оценки в практику проектирования условий освещения на производстве. при которых будет

наблюдаться не только высокая производительность труда, но и сведены к минимуму профессиональные заболевания органов зрения.

6. С использованием полученных результатов можно осуществлять не только светотехническую оценку, но и оценку по энергетической эффективности различных вариантов систем освещения при проектировании зданий.

Таблица 1 – Результаты расчета яркостных контрастов между соседними элементами на изгибах по 1-му варианту условий освещения (источник сбоку)

№ Ячейки по j	Яркосты ячеек по i и контраст между ними.								
	10	11	K ₂₁	20	21	K ₃₂	30	31	K ₄₃
1	12.315	14.385	0,144	14.382	2.877	0,8	2.88	12.553	0,77
3	12.224	14.279	0,144	14.276	2.856	0,8	2.859	12.459	0,77
5	12.063	14.093	0,144	14.09	2.818	0,8	2.821	12.294	0,77
7	11.837	13.83	0,144	13.827	2.766	0,8	2.769	12.06	0,77
9	11.552	13.499	0,144	13.496	2.7	0,8	2.702	11.766	0,77

Таблица 2– Результаты расчета яркостных контрастов между соседними элементами на изгибах по 2-му варианту условий освещения (источник по центру)

№ ячейки по j	Яркосты ячеек по i и контраст между ними.								
	10	11	K ₂₁	20	21	K ₃₂	30	31	K ₄₃
1	46.415	32.834	0,293	32.791	32.8	0,00	32.844	46.358	0,292
3	47.531	33.623	0,293	33.578	33.588	0,00	33.633	47.471	0,292
5	47.759	33.785	0,293	33.739	33.749	0,00	33.795	47.699	0,291
7	47.079	33.304	0,293	33.259	33.269	0,00	33.314	47.021	0,292
9	45.554	32.225	0,293	32.183	32.192	0,00	32.234	45.499	0,292

Литература

1. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення. Інженерне обладнання будівель і споруд. – К.: Мінбуд України, 2006. – 76 с.
2. Природне і штучне освітлення. ДБН В.2.5-28-2006. Зміна № 2. – К.: Мінбуд України, «Укрархбудінформ», 2012. – 36 с.
3. Гуторов М.М. Тенеобразующие свойства света. Труды МЭИ. – М.: Изд-во МЭИ, 1955, вып.2. – 10 с.
4. J.V.Collins. The successor to PSALI, Lighting Equip. News (London), June. 1982, p.p.97-108.
5. Глаголева Т.А., Мешикова О.К. Зрительная работоспособность при кратковременной и длительной работе. Светотехника №7. М.1975.
6. Weston H. The relation between illumination and visual performance. – London, 1953.
7. Гуревич М.М., Шайкевич А.С. Видимость объемных деталей в различных условиях освещения.// Светотехника. 1962.-№2.
8. Иванченко В.Т. Определение оптимальной световой обстановки в цехах приборостроительных заводов. В кн.: Функциональные и технические проблемы архитектуры: Сборник трудов / Московский инж.-строит. ин-т. Вып.168.-С., 1977.
9. Егорченков В.А., Соловьев А.К. Проектирование систем естественного освещения промышленных зданий с использованием пространственных характеристик световой среды. Промышленное строительство №7. М.1983.
10. Хамидов К.А. Совершенствование естественного освещения в производственных зданиях с использованием пространственных характеристик светового поля (на примере предприятий швейной промышленности).: Дисс.....канд.техн.наук. – М. 1988.
11. Blackwell H. Contrast thresholds of the human eye, Journ. Opt. Soc. Am., 1946, № 10.
12. Lighting for Sawmill redwood green chain. – “The illuminating Engineer”. 1957, № 7.
13. Мешков В.В., Епанешников М.М. Осветительные установки. Учебное пособие для вузов. – М.: «Энергия», 1972. – 360 с.

14. Балуба И.Г., Найдьши В.М. Точечное исчисление / Учебное пособие – Мелитополь: Изд-во МГПУ им. Б. Хмельницкого, 2015 – 234 с.
15. Егорченков В.А. Средняя яркость четырехугольного окна в условиях полужасного неба/Міжвідомчий науково-технічний збірник "Прикладна геометрія та інженерна графіка". Випуск 87. Відповідальний редактор В.Є. Михайленко. – К.: КНУБА, 2011. – С. 128-132.
16. Егорченков В.О. Принципи побудови моделі світлового середовища приміщень з криволінійними поверхнями/Комп'ютерно-інтегровані технології: Освіта, наука виробництво. – Луцьк: Видавництво ЛНТУ, 2015. № 20. – с. 27-32

Стаття надійшла в редколегію 29.03.2017

Рецензент: д.т.н., проф. О.В. Сергейчук, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Егорченков Володимир Олексійович

Кандидат технічних наук, доцент,

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ В БУДІВЛЯХ ШЛЯХОМ МОДЕЛЮВАННЯ УМОВ ОСВІТЛЕННЯ ОБ'ЄКТА РОЗРІЗНЕННЯ НЕСКЛАДНОЇ ФОРМИ

Анотація. Одним із шляхів підвищення енергоефективності систем освітлення будівель являється перехід на більш ефективні критерії оцінки, для яких необхідні їх потрібні значення. В теперішній час вони визначаються шляхом проведення складних і дорогих експериментів. В роботі здійснена спроба визначення потрібних значень параметрів світлового поля теоретичним шляхом на підставі метода моделювання умов освітлення об'єкта спостереження з використанням точкового числення. Модель об'єкту спостереження сформована множиною точок сканування, в комірках між якими визначались освітленість і яскравість. Розглядані два варіанти розташування світильника. Перший варіант виявився більш енергоефективним, хоча абсолютні рівні освітлення були нижче ніж в другому варіанті. Підвищення енергоефективності систем освітлення досягнуто шляхом раціонального розташування світильника, в результаті якого контрасти яскравості були вище.

Ключові слова: енергоефективність; система освітлення; потрібні значення параметрів освітлення; точкове рівняння; яскравість; контраст

Yegorchenkov Volodymyr

Doctor of Philosophy, Associate Professor,

Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kiev

INCREASE OF ENERGY EFFICIENCY OF LIGHTING SYSTEMS IN BUILDINGS BY MODELING LIGHTING CONDITIONS OF DIFFERENCE OF SIMPLE FORM

Abstract. One way to improve the energy efficiency of building lighting systems is to move to more efficient criteria for which their required values are needed, which are currently determined by complex and costly experiments. In this paper, improving the energy efficiency of lighting systems in buildings is achieved through the rational placement of luminaires, which is carried out on the basis of determining the required values of the parameters of the light field in a theoretical way. In this case, a method is used to simulate the conditions for illuminating an observation object using point calculus. For this purpose, a model of an observation object has been developed, on which a number of scan points have been formed on all elements of the object, including the object of discrimination. The cells between the scan points determine the brightness and brightness. Analysis of brightness contrasts allows you to determine the most energy-efficient lighting system. In the paper two variants of the luminaire arrangement are considered. The first option was more energy efficient, although the absolute lighting levels were lower than in the second version.

Keywords: energy efficiency; lighting system; required values of lighting parameters; point equation; illumination; brightness; contrast

УДК 662.997; 621.577

Желих Василь Михайлович

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теплогазопостачання та вентиляції,

ORCID: 0000-0002-5063-5077

Національний університет «Львівська політехніка», Львів

Савченко Олена Олексіївна

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплогазопостачання та вентиляції, ORCID: 0000-0003-3767-380X

Національний університет «Львівська політехніка», Львів

Горбаченко Лілія Петрівна

Викладач, ORCID: 0000-0002-0968-6251

Львівський техніко-економічний коледж, Львів

Штець Василь Михайлович

Аспірант, ORCID: 0000-0002-7284-9834

Національний університет «Львівська політехніка», Львів

**ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРИЗОНТАЛЬНОГО
ГРУНТОВОГО ТЕПЛООБМІННИКА ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ
СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ**

***Анотація.** Використання існуючих технологій нагрівання припливного повітря у системах вентиляції пов'язані з великим споживанням теплової енергії, отримання якої відбувається за рахунок використання електроенергії або органічних видів палива. Збільшення вартості традиційних енергоносіїв сприяє впровадженню технологій використання альтернативних джерел енергії. Для нагрівання припливного повітря у системах вентиляції є можливим використання низькопотенційної теплоти енергії ґрунту. Для відбору цієї енергії використовуються ґрунтові теплообмінники, які на даний час представлені великою різноманітністю конструкцій. В даній статті розглядається тепловий баланс прямої ділянки горизонтального ґрунтового теплообмінника. Для турбулентного режиму руху повітря у гладкостінному трубопроводі каналного ґрунтового горизонтального теплообмінника встановлено залежність для визначення коефіцієнта тепловіддачі від внутрішньої поверхні стінки трубопроводу до повітря у теплообміннику.*

***Ключові слова:** низькопотенційна енергія; геотермальна система вентиляції; горизонтальний ґрунтовий теплообмінник; коефіцієнт тепловіддачі*

Постановка проблеми

Проектування герметичних зовнішніх огорожень пасивних будинків дозволяє запобігти неконтрольованому надходженню зовнішнього повітря у приміщення. Для забезпечення приміщень пасивних будинків свіжим повітрям та для видалення з них забрудненого повітря необхідно використовувати механічну припливно-витяжну вентиляцію, яка дозволяє підтримувати у приміщеннях необхідні параметри мікроклімату. Перед подачею у приміщення зовнішнє повітря проходить обробку, зокрема в холодний період року його нагрівають у електричних або водяних калориферах. Отримання теплової енергії

відбувається за рахунок використання електроенергії або органічних видів палива. Для заощадження теплової енергії у системах вентиляції, що використовується для нагрівання зовнішнього повітря, доцільно застосовувати теплообмінники «повітря-повітря» та ґрунтові теплообмінники. Теплообмінники «повітря-повітря» призначені для другого нагрівання зовнішнього припливного повітря за рахунок теплоти витяжного повітря. У пасивних будинках рекомендується встановлювати рекуператори з відсотком рекуперації понад 75% [1].

Ґрунтові теплообмінники залежно від розташування у ґрунтовому масиві можуть бути вертикальні або горизонтальні і використовуються

для першого нагрівання зовнішнього припливного повітря за рахунок низькопотенційної теплоти ґрунту [2,3]. Вертикальні теплообмінники, в свою чергу, можуть бути коаксіальними, U-подібними або подвійними U-подібними, які опускаються у бурові свердловини глибиною 50-100 м. Горизонтальні теплообмінники бувають каналними (трубними), безканалними та безмембранними. Найпоширенішими є каналні теплообмінники, які представляють собою окремі труби, що з'єднані між собою послідовно у вигляді плоского змійовика або паралельно з використанням П-подібних або Z-подібних колекторних систем.

Аналіз основних досліджень та публікацій

Більшого поширення в Україні набули технічні комплекси з вертикальними теплообмінниками. В роботах [4,5] наведені результати досліджень їх оптимальної форми, обґрунтування довжини та діаметру. Результати досліджень горизонтальних ґрунтових теплообмінників застосовувались в системах тепlopостачання для забезпечення низькопотенційною енергією теплових pomp [6].

Системи вентиляції, в яких для першого нагрівання зовнішнього припливного повітря використовуються ґрунтові теплообмінники, називаються геотермальними (рис.1.) [7].

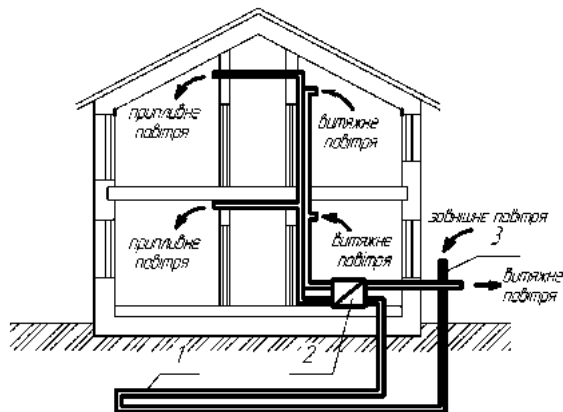


Рисунок 1 – Принципова схема геотермальної вентиляції пасивного будинку

- 1 – горизонтальні ґрунтові теплообмінники,
2 – рекуператор, 3 – забірня вентиляційна шахта

Принцип дії геотермальної вентиляції в холодний період року полягає в наступному. Повітря, яке має температуру t_3 , подається на вхід ґрунтового теплообмінника та забирає тепло ґрунту через стінку теплообмінника. За рахунок цього зовнішнє припливне повітря нагрівається до температури $t_{пр}$ та подається у приміщення. За потреби, повітря з температурою $t_{пр}$ догрівають у

рекуператорі за рахунок теплоти витяжного повітря до необхідної температури внутрішнього повітря $t_в$.

Моделювання процесів теплообміну та розрахунків теплових потоків у ґрунтових теплообмінниках проводилися різними авторами для окремо запропонованих конструкцій теплообмінників [6,8,9].

Велика різноманітність конструкцій ґрунтових теплообмінників не дозволяє однозначно описати теплофізичні процеси, які в них відбуваються.

Формулювання мети статті

Метою досліджень було визначення коефіцієнту тепловіддачі від внутрішньої поверхні труби ґрунтового теплообмінника до повітря, яке рухається в ньому на основі розроблених теплових балансів горизонтальної ділянки гладкостінного трубопроводу.

Основна частина

При передачі теплоти від ґрунту до зовнішнього повітря через стінку теплообмінника відбуваються такі теплофізичні процеси: тепловіддача від ґрунту до зовнішньої стінки теплообмінника, теплопровідність через стінку теплообмінника та конвективний теплообмін між внутрішньою стінкою теплообмінника та повітрям, яке рухається в ньому.

Для моделювання роботи ґрунтового теплообмінника була використана наступна модель. В якості ґрунтового теплообмінника розглядається пряма ділянка горизонтального гладкостінного теплообмінника, яка прокладена у масиві ґрунту на глибині h (рис.2.).

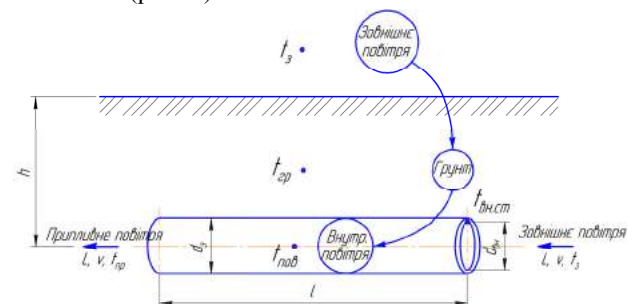


Рисунок 2 – Схема теплових потоків при роботі прямої ділянки горизонтального ґрунтового теплообмінника геотермальної вентиляції

На зовнішній стінці труби приймалися певні умови, а саме температура зовнішньої стінки ґрунтового теплообмінника дорівнювала температурі прилеглого ґрунту. З внутрішньої сторони задавалась витрата повітря L та його температура на вході у теплообмінник t_3 .

Баланс теплової енергії на прямій горизонтальній ділянці у ґрунтовому теплообміннику описується системою рівнянь:

$$\begin{cases} Q = \alpha_B \cdot \pi \cdot d_{\text{вн}} \cdot l \cdot (t_{\text{вн.ст}} - \bar{t}_{\text{вн.пов}}) \\ Q = L \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{\text{пр}} - t_3) \end{cases} \quad (1)$$

де α_B - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні теплообмінника, Вт/(м²·К); $d_{\text{вн}}$ - внутрішній діаметр труби теплообмінника, м; l - довжина ґрунтового горизонтального теплообмінника, м; $t_{\text{вн.ст}}$ - температура внутрішньої стінки труби теплообмінника, °С; $\bar{t}_{\text{вн.пов}}$ - середня температура повітря, яке рухається у теплообміннику, °С, залежить від температури зовнішнього повітря та температури на виході з ґрунтового теплообмінника:

$$\bar{t}_{\text{вн.пов}} = \frac{t_3 + t_{\text{пр}}}{2} \quad (2)$$

L - кількість повітря, яка проходить через ґрунтовий теплообмінник, м³/с:

$$L = F \cdot v = \frac{\pi d_{\text{вн}}^2}{4} \cdot v \quad (3)$$

де $F = \frac{\pi d_{\text{вн}}^2}{4}$ - площа поперечного перетину теплообмінника, м²; c, ρ - питома ізобарна теплоємність, кДж/(кг·°С), та густина зовнішнього повітря, кг/м³, за температури t_3 .

Враховуючи залежності (2) та (3) система рівнянь, яка описує баланс теплової енергії у ґрунтовому теплообміннику буде мати вигляд:

$$\begin{cases} Q = \alpha_B \cdot \pi \cdot d_{\text{вн}} \cdot l \cdot \left(t_{\text{вн.ст}} - \frac{t_3 + t_{\text{пр}}}{2} \right) \\ Q = \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4} \cdot v \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{\text{пр}} - t_3) \end{cases} \quad (4)$$

Тоді, баланс теплової енергії набуде вигляду:

$$\alpha_B \cdot \pi \cdot d_{\text{вн}} \cdot l \cdot \left(t_{\text{вн.ст}} - \frac{t_3 + t_{\text{пр}}}{2} \right) = \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4} \cdot v \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{\text{пр}} - t_3) \quad (5)$$

Коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої стінки труби ґрунтового теплообмінника можна визначити за значенням критерію Нуссельта:

$$Nu = \frac{\alpha_B \cdot (d_3 - d_{\text{вн}})}{\lambda_{\text{пов}}} \quad (6)$$

де $\lambda_{\text{пов}}$ - коефіцієнт теплопровідності повітря, яке транспортується у теплообміннику, Вт/(м·К); Nu - критерій Нуссельта, який залежить від багатьох факторів, зокрема: причина руху повітря (природна чи вимушена конвекція), режим руху потоку (ламінарний чи турбулентний), швидкість руху

повітря, теплофізичні параметри повітря (густина ρ , коефіцієнт теплопровідності λ , коефіцієнт динамічної в'язкості μ , ізобарна питома теплоємність c_p), геометрична форма тіла, наявність фазових переходів. Врахування цих факторів здійснюється за допомогою безрозмірних критеріїв Рейнольдса Re , Грасгофа Gr та Прандтля Pr .

$$Nu = f(Re, Gr, Pr)$$

Приймаємо, що режим руху повітря у ґрунтовому теплообміннику турбулентний. При турбулентному режимі руху повітря у теплообміннику критерій Нуссельта не залежить від критерія Грасгофа та з урахуванням фізичних властивостей повітря визначається як:

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{\text{ст}}} \right)^{0,25} \cdot \bar{\varepsilon}_1 \quad (7)$$

де $\bar{\varepsilon}_1$ - коефіцієнт, який враховує вплив на тепловіддачу процесу гідродинамічної стабілізації потоку на початковій ділянці теплообміну залежить від числа Рейнольдса та співвідношення $\frac{1}{d}$ [Бух].

Якщо прийняти, що для двоатомних газів $Pr \cong 0,72$, для газів $\left(\frac{Pr}{Pr_{\text{ст}}} \right)^{0,25} = 1$, $\bar{\varepsilon}_1 = 1$, а критерій Рейнольдса розписати як $Re = \frac{v \cdot d_{\text{вн}}}{\nu}$, то критерій Нуссельта становитиме:

$$Nu = 0,021 \cdot \left(\frac{v \cdot d_{\text{вн}}}{\nu} \right)^{0,8} \cdot 0,72^{0,43} \cdot 1^{0,25} \cdot 1 \quad (8)$$

Після спрощення виразу

$$Nu = \frac{91 \cdot v^{0,8} \cdot d_{\text{вн}}^{0,8}}{5000 \cdot \nu^{0,8}} \quad (9)$$

Прирівнявши залежності (6) та (9) отримується вираз:

$$\frac{\alpha_B \cdot (d_3 - d_{\text{вн}})}{\lambda_{\text{пов}}} = \frac{91 \cdot v^{0,8} \cdot d_{\text{вн}}^{0,8}}{5000 \cdot \nu^{0,8}} \quad (10)$$

$$\alpha_B = \frac{91 \cdot \lambda_{\text{пов}} \cdot v^{0,8} \cdot d_{\text{вн}}^{0,8}}{5000 \cdot (d_3 - d_{\text{вн}}) \cdot \nu^{0,8}} \quad (11)$$

Із врахуванням залежності (3) вираз (11) набуде вигляду:

$$\alpha_B = \frac{91 \cdot \lambda_{\text{пов}} \cdot \left(\frac{4L}{\pi d_{\text{вн}}^2} \right)^{0,8} \cdot d_{\text{вн}}^{0,8}}{5000 \cdot (d_3 - d_{\text{вн}}) \cdot \nu^{0,8}} \quad (12)$$

Звідки

$$\alpha_B = 0,0552 \frac{\lambda_{\text{пов}} \cdot L^{0,8}}{\pi^{0,8} \cdot d_{\text{вн}}^2 \cdot (d_3 - d_{\text{вн}}) \cdot \nu^{0,8}} \quad (13)$$

Як видно із залежності (13), коефіцієнт тепловіддачі залежить від характеристик повітря, яке рухається у горизонтальному ґрунтовому теплообміннику, зокрема його кількості, коефіцієнтів теплопровідності та кінетичної в'язкості, та діаметрів трубопроводу теплообмінника.

Висновки

Визначено баланс теплової енергії прямої ділянки гладкостінного трубопроводу ґрунтового горизонтального теплообмінника геотермальної системи вентиляції та знайдено коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої поверхні труби теплообмінника до рухомого повітря в теплообміннику.

Література

1. Файст В. Основные положения по проектированию пассивных домов. – М.:Изд-во Ассоциации строительных вузов. – 2008. – 144 с.
2. Вертикальные ґрунтовые теплообменники [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.insolar.ru/nasos-lib3_2.php – назва з екрану
3. Vasyi Zhelykh. Improving efficiency of heat exchange of horizontal ground-air heat exchanger for geothermal ventilation systems / Vasyi Zhelykh, Olena Savchenko, Vadym Matusyevych // *Fizyka budowli w teorii i praktyce*. – 2016. - Tom VIII, N 4. – P.43-46.
4. Накорчевский А.И. Оптимальная конструкция ґрунтовых теплообменников / Накорчевский А.И., Басок Б.И. // *Пром. теплотехника*. – 2005. – Т.27, №6. – С.27-31.
5. Ковязин А.С. Обоснование длины и диаметра ґрунтового теплообменника / А. С. Ковязин, Д. А. Долгих. // *Механізація та електрифікація сільського господарства*. Вип. 97. – 2013. - С.582-591
6. А.И. Тарасов, В.А.Тарасова. Обоснование граничных условий теплообмена при моделировании ґрунтовых теплообменников. // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. - №6/8(54). – 2011. – С.9-14.
7. Савченко О.О. Технічні передумови влаштування геотермальної вентиляції пасивних будинків. / Савченко О.О., Желих В.М., Дуднік К.А., Конончук О.М. // // *Вісник Національного університету “Львівська політехніка” “Теорія і практика будівництва”*. - Львів: Вид-во Львівської політехніки. - 2015. - № 823. - С.281-285.
8. Филатов С.О. Работа теплообменников утилизации теплоты ґрунта / С.О. Филатов, В.И. Володин // *Труды БГТУ. Химическая техника, теплотехника и энергосбережение*. – 2011. - №3. – С.179-184.
9. Михеев Д.Д. Методика расчета тепловых потоков в ґрунтовом теплообменнике. / Михеев Д.Д., Федянин В.Я. // 61-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава. Часть 11. Энергетический Факультет / Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2003. - С.12-14.

Стаття надійшла в редколегію 05.04.2017

Жельх Василий Михайлович

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры теплогазоснабжения и вентиляции,
ORCID: 0000-0002-5063-5077

Национальный университет «Львовская политехника», Львов

Савченко Елена Алексеевна

Кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, ORCID: 0000-0003-3767-380X

Национальный университет «Львовская политехника», Львов

Горбаченко Лилия Петровна

Преподаватель, ORCID: 0000-0002-0968-6251

Львовский технико-экономический колледж, Львов

Штець Василий Михайлович

Аспирант, ORCID: 0000-0002-7284-9834

Национальный университет «Львовская политехника», Львов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ҐРУНТОВОГО ТЕПЛООБМЕННИКА ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ

Аннотація. Использование существующих технологий нагревания приточного воздуха в системах вентиляции связаны с большим потреблением тепловой энергии, получение которой происходит за счет использования

электроэнергии или органических видов топлива. Увеличение стоимости традиционных энергоносителей способствует внедрению технологий использования альтернативных источников энергии. Для нагрева приточного воздуха в системах вентиляции возможно использование низкопотенциальной тепловой энергии грунта. Для отбора этой энергии используются грунтовые теплообменники, которые в настоящее время представлены большим разнообразием конструкций. В данной статье рассматривается тепловой баланс прямого участка горизонтального грунтового теплообменника. Для турбулентного режима движения воздуха в гладкостенном трубопроводе канального грунтового горизонтального теплообменника установлена зависимость для определения коэффициента теплоотдачи от внутренней поверхности стенки трубопровода к воздуху в теплообменнике.

Ключевые слова: *низкопотенциальная энергия; геотермальная система вентиляции; горизонтальный грунтовый теплообменник; коэффициент теплоотдачи*

Vasyl Zhelykh

Doctor of Science, Professor, Head of Department "Heat, Gas Supply and Ventilation", ORCID: 0000-0002-5063-5077
Lviv Polytechnic National University, Lviv

Olena Savchenko

PhD, Associate Professor of Department "Heat, Gas Supply and Ventilation", ORCID: ORCID: 0000-0003-3767-380X
Lviv Polytechnic National University, Lviv

Liliya Horbachenko

Lecturer, ORCID: 0000-0002-0968-6251
Lviv Technical and Economical College, Lviv

Vasyl Shtets

Graduate student, ORCID: 0000-0002-7284-9834
Lviv Polytechnic National University, Lviv

DEFINITIONS OF THERMAL CHARACTERISTICS OF HORIZONTAL GROUND-AIR HEAT EXCHANGER FOR GEOTHERMAL VENTILATION SYSTEMS

Abstract. *The use of existing technologies for heating of supply air in ventilation systems is associated with a high consumption of thermal energy. The receipt of this heat energy is due to the use of electricity or organic fuels. The increase in the cost of traditional energy sources promotes the introduction of technologies for the use of alternative energy sources. To heat the incoming air in ventilation systems is possible to use low-potential heat of soil. For the selection low-potential heat of soil are used in ground-air heat exchangers. Currently, ground-air heat exchangers are represented by a wide variety of designs. In this paper, the heat balance of a straight section of a horizontal ground-air heat exchanger is considered. The dependence for determining the heat transfer coefficient from the inner surface of the pipeline wall to the air in the heat exchanger was determined at the turbulent regime of air movement in the smooth-walled pipe of the ground-air horizontal heat exchanger.*

Keywords: *low-potential energy; geothermal ventilation system; horizontal ground-air heat exchanger; the heat transfer coefficient*

УДК 697.94

Задоянний Олександр Васильович

Кандидат технічних наук, доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції,

ORCID: 0000-0001-6781-9756

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Євдокименко Юрій Миколайович

Аспірант кафедри теплогазопостачання і вентиляції, ORCID: 0000-0002-1697-0816

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ПОВІТРООБМІНУ В ПРИМІЩЕННІ

Анотація. В роботі подано результати теоретичних досліджень щодо особливостей складання ексергетичних балансів для визначення ефективності повітрообміну в кондиціонованих приміщеннях. Наведено ексергетичні баланси для основних характерних процесів повітрообміну для теплого й холодного розрахункових періодів року та залежності для визначення ексергетичної ефективності повітрообміну.

Ключові слова. Системи кондиціонування повітря; ексергетичний аналіз; повітрообмін в приміщеннях; ексергетичні баланси основних потоків; коефіцієнти ексергетичної ефективності повітрообміну.

Постановка проблеми

Системи забезпечення мікроклімату в великих комерційних й промислових будівлях є найбільшими споживачами енергії, частка якої за даними [1] сягає 70%. Серед них домінують системи кондиціонування повітря (СКП). Технічні принципи енергозбереження з визначення кількості енергії відповідно до основної вимоги «економія енергії» згідно з [2] передбачають визначення коефіцієнта корисної дії при проектуванні й експлуатації СКП. Відповідний показник має бути присутнім й в паспорті обладнання, яке забезпечує мікроклімат приміщень в будівлях і спорудах. Крім того до технічних принципів енергозбереження відносяться фактори споживання енергії будівлями (приміщеннями як складовими елементами будівлі) – енергетичні потреби. Енергетичні потреби окремих приміщень і будівлі в цілому обумовлюють відповідну продуктивність і, як наслідок, - енерговитрати обладнанням, яке задовольняє ці потреби. Співвідношення енергетичних потреб приміщення та енергоспоживання відповідним обладнанням для створення й підтримки мікроклімату певною мірою характеризує клас енергоспоживання об'єкту [3]. Однак забезпечення енергопотреб приміщення в багатьох випадках не може бути цілком адекватним до відповідної розрахункової продуктивності. Наприклад неправильне розташування опалювальних приладів,

або невірно вибрана схема повітророзподілення [4] не забезпечують з одного боку розрахункові (комфортні) параметри мікроклімату, а з іншого – потребують більших енерговитрат ніж за розрахунками енергоспоживання. З цієї точки зору показник енергоспоживання за оцінкою [3] не може бути єдиним для коректної оцінки енергоощадності будівлі, або він, як це вказано в нормативах за посиланням, характеризує лише ступінь енергоспоживання.

В роботі [5] нами показано структуру СКП в який приміщення, що обслуговується, є структурним елементом системи. Структура сформована відповідно до базових понять, які вимагає загальна теорія ексергоекономічного аналізу, – за принципом функціональної єдності та зв'язку елементів системи [6]. Якщо розглядати приміщення будівлі як такий самий функціональний елемент, в якому здійснюється певний термодинамічний процес, як в елементах і обладнанні для нагрівання, охолодження, зволоження й осушення повітря, як робочого тіла, то цілком логічно буде оцінювати цей процес універсальним й коректним показником – коефіцієнтом корисної дії [6]. Даний показник разом із питомим значенням енергоспоживання значно збільшить інформацію щодо енергоощадності процесу повітрообміну приміщення, будівлі, споруди тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В роботі [7] наведено розрахунки ексергетичної ефективності СКП в цілому без деталізованого аналізу системи по окремих функціональних елементах і приміщеннях тощо. За корисну ексергію прийнято деструкцію ексергії повітря в приміщенні. В роботі [8] ексергетичний аналіз СКП проведено без урахування деструкції ексергії повітря в приміщенні і без урахування складових ексергії повітря – механічної й вологісної. В роботі [9] наведено результати досліджень вентиляційної установки з рекуператором теплоти викидного повітря без аналізу вентиляційного процесу в приміщенні. В роботі [10] нами показана можливість аналітичної оцінки ексергетичної ефективності повітрообміну в кондиціонованому приміщенні як загальної, так і по окремих складових ексергії вологого повітря. На підставі балансових ексергетичних рівнянь було розраховано ексергетичні коефіцієнти корисної дії для теплового й холодного розрахункових періодів й подано його графічні залежності від зовнішньої температури.

Формулювання мети статті

Метою статті є представлення окремих методичних положень щодо визначення ефективності повітрообміну в кондиціонованих приміщеннях із застосуванням ексергетичної теорії. Наведені раніше результати досліджень [10] не повною мірою відображають особливості складання балансових рівнянь й відповідних розрахункових залежностей з визначення ексергетичної ефективності повітрообміну. Методологічна сторона в даній роботі більш ретельно й аргументовано доведена.

Виклад основного матеріалу

При розрахунках повітрообміну в кондиціонованих приміщеннях враховують максимальні надходження вологи й теплоти. Процес асиміляції вологи й теплоти в цьому випадку для теплового періоду року наведено на рис.1. Кутовий коефіцієнт променю процесу буде в межах $+\infty \dots 2,5$ кДж/г, тобто напрямок процесу буде в бік зменшення ексергії вентиляційного повітря.

Виходячи з цього відповідне балансове рівняння ексергії буде мати вигляд:

$$E^{in} - E^{ex} - E^{out} - E^d = 0 \quad (1)$$

де $E^{in}, E^{ex}, E^{out}, E^d$ - відповідно - ексергія припливного повітря, ексергія надлишкова, ексергія

повітря, яке видаляється та ексергія, що втрачена за рахунок незворотності процесу повітрообміну. Слід зауважити, що втрачена ексергія дорівнює ентропії процесу повітрообміну $E^d = S_a$.

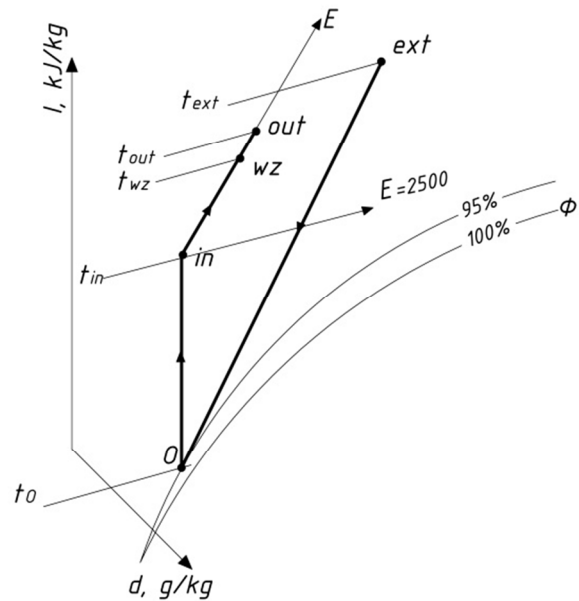


Рисунок 1 – I-d діаграма обробки повітря в теплий період року

В даному випадку надлишкова ексергія E^{ex} має знак «-» тому, що вона в процесі повітрообміну впливає на зменшення ексергії припливного повітря E^{in} . В кінці процесу повітрообміну в витяжних отворах ексергія повітря отримує значення E^{out} .

Повітрообмін в приміщенні слід розглядати як змішування припливного повітря з надлишками речовин, що виділяються в приміщенні. В результаті змішування утворюється суміш речовин в складі повітря, що видаляється. З цього виходить, що загальна ексергетична ефективність характеризує відношення корисного результату змішування - продукту E^{out} до витрат $E^{in} - E^{ex}$ і буде мати вигляд

$$\eta_{e,tot}^{a,s} = \frac{E^{out}}{E^{in} - E^{ex}} \quad (2)$$

При цьому має місце наступна нерівність: $E^{in} > E^{out}$.

В холодний період року (Рис. 2) може бути два основних процеси повітрообміну – зволоження з нагріванням повітря в приміщенні (повітряне опалення, промінь процесу на i-d діаграмі з індексом 1 та асиміляція теплоти і вологи (промінь процесу на i-d діаграмі з індексом 2). В першому випадку значення кутового коефіцієнту променю процесу буде в межах $2,5 \dots -\infty$ кДж/г, а балансове рівняння ексергії буде мати такий самий вигляд як і (1):

$$E^{in} - E^{ex} - E^{out} - E^d = 0 \quad (3)$$

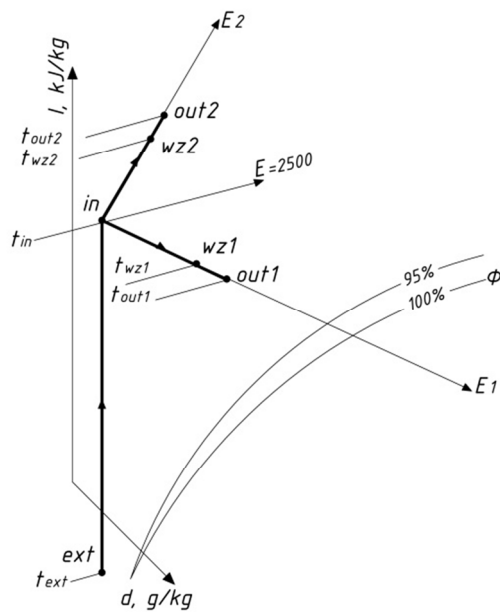


Рисунок 2 – I-d діаграма обробки повітря в холодний період року

Надлишкова ексергія E^{ex} в цьому випадку також буде зменшувати ексергію припливного повітря E^{in} і тому знак її в рівнянні (3) також «-».

Ексергетична ефективність повітрообміну в даному випадку розраховується так само за залежністю (2) і нерівність $E^{in} > E^{out}$ буде мати місце.

У випадку, коли в холодний період року в процесі повітрообміну буде мати місце асиміляція вологи й теплоти, то надлишкова ексергія E^{ex} буде

мати знак «+» тому, що вона буде збільшувати ексергію припливного повітря, а ексергетична ефективність повітрообміну буде визначатись із залежності:

$$\eta_{e,tot}^{a,s} = \frac{E^{out}}{E^{in} + E^{ex}} \quad (4)$$

Ексергія повітря, що видаляється буде більше за ексергію припливного повітря $E^{out} > E^{in}$.

Висновки

Наведені методичні положення дозволяють оцінити значення коефіцієнтів корисної дії повітрообміну для приміщень різного призначення. Застосування ексергетичного методу оцінки повітрообміну в приміщенні дозволяє врахувати якісні термодинамічні перетворення що відбуваються в процесах асиміляції теплоти та вологи.

В роботі показана можливість обчислення ексергетичної ефективності повітрообміну приміщення за універсальними залежностями на основі ексергетичних балансів. Представлені результати мають практичне застосування при розрахунках повітрообміну в приміщенні з урахуванням енергоефективності при кондиціонування повітря.

В подальшому подані положення будуть розвинуто та доповнено методиками розрахунків ексергетичної ефективності для різних способів подачі та видалення повітря.

Література

1. Вишне夫斯基 Е. П. Энергосбережение при проектировании систем микроклимата зданий // Сантехника, Отопление, Кондиционирование (С. О.К.). – 2010. – № 1.
2. ДБН В.1.2-11-2008 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд економія енергії». наказ Мінрегіонбуду України від 26 січня 2008 р. № 36, чинні з 2008-10-01
3. Директива 2010/31/ЄС про енергетичні характеристики (енергетичне функціонування) будівель (EPBD).
4. ПОСОБИЕ 1.91 к СНиП 2.04.05-91 «Расчет и распределение приточного воздуха» Москва 1993. 42 с.
5. Задоянний О.В., Ексергетичні критерії при оцінці енергоощадності систем кондиціонування повітря будівель і споруд; Науково-технічний збірник «Вентиляція, освітлення та теплозапобігання». - Вип. 17 /відповідальний редактор Е.С.Малкін.- К.: КНУБА.
6. Бродянский В.М., Верхивкер Г.П., Карчев Я.Я. и др. Эксергетические расчеты технических систем: Справ.пособие /: Под ред. Долинского А.А., Бродянского В.М. АН УССР. Ин-т технической теплофизики.- Киев: Наук. Думка, 1991.- 360 с. – ISBN 5-12-0011397-X.
7. Лабай В.Й., Гарасим Д.І. Стан і перспективи підвищення енергоефективності систем кондиціонування повітря чистих приміщень. Науково-технічний збірник «Енергоефективність в будівництві та архітектурі». Випуск 6. Відповідальний редактор П.М.Куліков.- КНУБА, 2014 р.-364 с.
8. Luigi Marletta. Air Conditioning Systems from a 2-nd Law Perspective // Entropy: мережевий журн. 2010. URL: <http://www.mdpi.com/journal/entropy>. p=860 (дата звернення 12.12.2011);

9. И.О. Суходуб, В.И. Деико. *Эксергетический анализ систем вентиляции с утилизацией полной теплоты // Инженерно-строительный журнал*. 2014. URL: http://engstroy.spbstu.ru/index_2014_02/index_2014_02.html (дата звернення 24.12.2014).

10. О. В. Задоянний, Ю. М. Євдокименко. «Ексергетична ефективність повітрообміну в приміщенні» *Енергоефективність в будівництві та архітектурі. Випуск №8, Київ: 2016. ст. 125-129.*

Стаття надійшла в редколегію 04.12.2015

Рецензент: Малкін Е.С., д.т.н, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Задоянний Александр Васильевич

*Кандидат технических наук, доцент кафедры теплогаснабження и вентиляции, ORCID: 0000-0001-6781-9756
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев*

Евдокименко Юрий Николаевич

*Аспирант кафедры теплогаснабження и вентиляции, ORCID: 0000-0002-1697-0816
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев*

**ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ВОЗДУХООБМЕН
В ПОМЕЩЕНИИ**

Аннотация. В работе представлены результаты теоретических исследований об особенностях составления эксергетической балансов для определения эффективности воздухообмена в кондиционированных помещениях. Приведены эксергетической балансы для основных отличительных процессов воздухообмена для теплого и холодного расчетных периодов года и зависимости для определения эксергетической эффективности воздухообмена.

Ключевые слова. Система кондиционирования воздуха; эксергетический анализ; воздухообмен в помещениях; эксергетический баланс основного потока; эксергетическая эффективность воздухообмена.

Zadoyanni Alexander

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, ORCID: 0000-0001-6781-9756

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kiev

Evdokimenko Yuri

Post-graduate student of the department of heat and gas supply and ventilation, ORCID: 0000-0002-1697-0816

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kiev

**PECULIARITIES OF DETERMINING THE EXERGENCY EFFICIENCY OF THE PROCESS OF AIR EXCHANGES
IN THE ROOM**

Annotation. The paper presents the results of theoretical studies on the features of compiling exergetic balances for determining the efficiency of air exchange in conditioned rooms. Exergetic balances are provided for the main distinctive air exchange processes for the warm and cold calculation periods of the year and the dependence for determining the exergy efficiency of air exchange.

Keywords. Air conditioning system; Exergy analysis; Air exchange in premises; Exergic balance of the main flow; exergy efficiency of air exchange.

УДК 697.94

Задоянний Олександр Васильович

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції,

ORCID: 0000-0001-6781-9756

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Євдокименко Юрій Миколайович

Аспірант кафедри теплогазопостачання і вентиляції, ORCID: 0000-0002-1697-0816

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПИТАННЯ ЗАДОВОЛЕННЯ ОСНОВНОЇ ВИМОГИ "ЕКОНОМІЯ ЕНЕРГІЇ"

***Анотація.** В роботі подано авторське бачення вирішення методологічної проблеми визначення основного показника енергоощадності обладнання для нагрівання, охолодження, осушення й зволоження повітря будівельних об'єктів – коефіцієнта корисної дії. На прикладі результатів наукових досліджень, які проводяться кафедрою ТГПіВ в останні роки з оцінки показників енергоощадності систем кондиціонування повітря (СКП), аргументовано доводиться коректність і однозначність запропонованої методології визначення вказаного показника для найбільш енергоємних систем кондиціонування повітря. Методологія оцінки коефіцієнта корисної дії вказаного обладнання й систем базується на фундаментальних досягненнях сучасної нерівноважної термодинаміки та ексергоекономіки. В основу методології покладено принципи поглибленого ексергетичного аналізу, який дозволяє досліджувати й оцінювати чисельно ексергетичні перетворення робочих тіл – енергоносіїв систем опалення, вентиляції і кондиціонування повітря. Завдяки цьому автори отримали і відпрацювали методологічну базу у вигляді аналітичних залежностей та розрахункових алгоритмів з визначення ексергетичних потоків у вказаних системах, а також відносних і абсолютних показників енергоощадності СКП. Наведені результати досліджень автори пропонують для апробації й розробки національних гармонізованих методик.*

***Ключові слова.** Основна вимога «економія енергії»; методологія визначення показників енергоощадності; ексергетичний аналіз; ексергетичний коефіцієнт корисної дії; ексергетична ефективність.*

Постановка проблеми

Для зниження енергоспоживання будівельними об'єктами державні будівельні норми рекомендують виконання основної вимоги "економія енергії" з урахуванням кліматичних умов, місцезнаходження об'єкта та його призначення [1]. В нормах враховано положення тлумачних документів основних вимог до будівель і споруд Директиви Ради 89/106 /ЄС від 21 грудня 1988 р. щодо зближення законів, підзаконних актів та адміністративних положень держав-членів стосовно будівельних виробів.

Згідно з вказаними вище нормами основна вимога «економія енергії» повинна бути забезпечена виконанням технічних принципів енергозбереження (п.5.2.3) в частині визначення кількості енергії, необхідної для «нагрівання, охолодження і регулювання вологості приміщень»

на підставі коефіцієнта корисної дії установок нагрівання, кондиціонування повітря і зволоження.

Крім того вказаний показник – коефіцієнт корисної дії установок і приладів для підтримки мікроклімату приміщень відповідно до зазначених норм повинен використовуватись на всіх етапах створення будівельного об'єкту: проектуванні, будівництві й експлуатації. Відповідні вимоги викладено в розділах 5.2.3, 5.2.4, 6.2.4, 6.3.4 вказаного нормативного документу.

Так само ДСТУ Б А.2.2-8:2010 «Розділ «Енергоефективність» у складі проектної документації об'єктів» також вимагає виконання основної вимоги "економія енергії" в складі проектної документації.

Відповідно до п. 5.2 .3 [1], який регламентує технічні принципи енергозбереження, показник «коефіцієнт корисної дії» приладів та установок для

нагрівання, охолодження, зволоження та осушення повітря фігурує в понятті «ефективність» роботи зазначених установок.

В сучасних будівлях вказане вище обладнання домінує за показниками споживання загальної енергії, що за деякими оцінками сягає 70% [2].

Разом з цим в базі будівельних стандартів України відсутня затверджена в установленому порядку й гармонізована методологія з визначення вказаного показника енергоощадності – коефіцієнта корисної дії як для складових елементів так і для систем підтримки мікроклімату приміщень й відповідного інженерного обладнання будівель і споруд.

Вказані обставини дозволяють зробити висновки, що із реалізацією вимоги «економія енергії» існує методологічна проблема, яка потребує скорішого вирішення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В останніх роботах, проведених авторами, на прикладі реалізованих проектних рішень проведено детальні дослідження з можливості оцінки енергоощадності СКП сучасними методами ексергоекономічного аналізу. Так в роботі [3] вперше подано аналіз ексергетичних потоків складових ексергії вологого повітря в СКП з метою оцінки деструкції ексергії, що дало можливість виділити й визначити «корисну» та «витратну» складові, які є єдиними і необхідними величинами для обрахування ексергетичного коефіцієнту корисної дії (ЕККД).

Методи ексергетичної теорії, як відомо з багатьох джерел [4], [5], використовують в дослідженнях різних за структурою та призначенням технічних систем з метою оцінки перетворення всіх видів енергії. Фундаментальні роботи відпрацьовано й реалізовано в різних галузях і технологіях, починаючи від оцінки геотермальних джерел [6] й закінчуючи формоутворенням будівель [7]. Розвиток ексергетичної теорії в останні роки чітко прослідковується в об'єднанні з економічною, в результаті чого розвивається ексергоекономічна теорія [8]. Вона за ствердженням автора є перш за все інженерною дисципліною, методиками якої зручно користуватись для аналізу й оптимізації енергоперетворюючих систем. Останнє ствердження було взято за основу задля реалізації виконання основної вимоги «економія енергії» відповідно до національних будівельних стандартів [1].

Автори роботи [9] аргументовано доводять необхідність подальшого розвитку ексергетичного аналізу в напрямку його поглиблення. Під поглибленням розуміють урахування всіх складових ексергетичних потоків, які мають місце в системах, що досліджуються. Стосовно інженерних систем для забезпечення мікроклімату будівельних об'єктів цей напрямок розвитку ексергетичного аналізу нами взято за основу. Обґрунтування цього напрямку наведено в роботі [10], де показано чисельно вагомість кожної складової ексергії вологого повітря СКП, які впливають на стан мікроклімату приміщень.

Мета статті

Будівельні норми [1] регламентують вираження вимог щодо енергозбереження шляхом забезпечення необхідної потужності відповідного обладнання з урахуванням коефіцієнта корисної дії впродовж всього періоду експлуатації будівельного об'єкту. Вказана вимога передбачає наявність відповідного методичного забезпечення. Стосовно систем забезпечення мікроклімату будівельних об'єктів існують певні науково-методичні напрацювання, які в більшості випадків можна вважати гармонізованими в науковому середовищі. Спеціальні наукові видання публікують результати відповідних досліджень, в яких присутні базові математичні залежності для оцінки ексергетичної ефективності систем підтримки мікроклімату. Але гармонізованої інженерної методики, яка може бути основою для розробки будівельних стандартів не існує.

Відповідно до вищевказаного в даній статті наведено результати досліджень, які на думку авторів можна покласти в основу розробки національних галузевих методик з визначення показників енергоощадності систем підтримки мікроклімату об'єктів будівництва.

Виклад основного матеріалу

Як було показано вище, сучасним ефективним методом оцінки енергетичної ефективності різних технічних систем є ексергетичний метод [7], [11], [12]. Його переваги перед іншими термодинамічними методами було доведено багатьма світовими й вітчизняними вченими, зокрема в роботах [7], [11], [12] та інших. Концептуальні питання ексергетичного методу подано в [7], а практичні з прикладами застосування в теплоенергетиці, холодильній техніці та інших галузях в [13].

Розвиток ексергетичного методу набув широкого застосування в 80-х роках в основному при аналізі енергоємних установок великих підприємств, металургійних комбінатів, хімічній галузі, теплових та атомних електростанцій. Що стосується мікроклімату будівельних об'єктів і інженерних систем з опалення, вентиляції і кондиціонування повітря, то в окремих роботах було опубліковано основні методологічні моменти, які базувались на алгоритмах, притаманних енергоємним технологіям. Зокрема, в роботі [11] при ексергетичному аналізі систем кондиціонування повітря з використанням методології ексергетичного аналізу для енергоємних технологій не було досягнуто повноцінної оцінки ексергетичної ефективності по багатьох показниках. Більш детальні критичні зауваження нами розглянуто в роботі [14].

Наше бачення в розвитку ексергетичного методу для оцінки енергоощадних показників системами підтримки мікроклімату будівельних об'єктів подано в наукових збірниках КНУБіА за останні чотири роки. В основу методології покладено поглиблений ексергетичний аналіз, суть якого в оцінці всіх складових ексергетичних потоків систем підтримки мікроклімату. Головними науково-методологічними питаннями з визначення енергоощадних показників вищезазначених систем є наступні:

1. Деструктуризація інженерної системи підтримки мікроклімату будівельного об'єкту (будівлі, приміщення);
2. Визначення ексергетичних потоків в системах та окремих функціональних елементах;
3. Визначення фізичних величин в методиках розрахунків параметрів мікроклімату в одиницях ексергії;
4. Подання придатних для інженерних розрахунків математичних залежностей;
5. Визначення відносних та абсолютних критеріїв оцінки показників енергоощадності з виділенням основного – ексергетичного коефіцієнта корисної дії для всіх видів обладнання із підтримки мікроклімату приміщень;
6. Алгоритми складання ексергетичних балансів систем та обладнання для розрахункових періодів року та цілорічних умов експлуатації;
7. Методики інженерних розрахунків ексергетичних потоків в системах;
8. Методики визначення складових ексергії відповідних ексергетичних потоків;

9. Методики визначення ексергетичної ефективності енергопостачання;
10. Методики оцінки ексергетичної ефективності схемних рішень систем і їх порівняння;
11. Методики розрахунків ексергетичної вартості енергетичних потоків в системах підтримки мікроклімату будівельних об'єктів.

Наведені методологічні питання складають структуру методології визначення показників енергоощадності.

По першому питанню розроблено й обґрунтовано структуру СКП за функціонально-послідовним принципом [14], яка дає можливість виділити структурні елементи системи для відокремленого аналізу, поділити їх на «корисні» й «витратні» з точки зору деструкції ексергії основного потоку повітря. За таким саме принципом варто деструктуризувати інші системи: нагрівання, окремі охолодження, осушення та зволоження.

По другому питанню нами визначено наявні ексергетичні потоки в СКП й оцінено їх значимість [10]. В цій самій роботі визначено фізичні величини, що мають місце в розрахунках СКП, в одиницях ексергії (п.3) й придатні для інженерних розрахунків математичні залежності (п.4);

Критерії оцінки енергоощадності за ексергетичними показниками (п.5) наведено в авторських публікаціях [14].

Особливості складання ексергетичних балансів (п.6) процесів повітрообміну в приміщенні нами подано в цьому збірнику та в роботі [15], де враховано напрямок ексергетичних потоків в залежності від розрахункових параметрів зовнішнього повітря.

На прикладі розрахунків реальних СКП (п.7) в авторській роботі [16] наведено інженерну методику визначення ексергетичних потоків в різних функціональних елементах і вузлах СКП, підраховано деструкції й втрати ексергії, визначено ексергетичну ефективність.

Поглиблений ексергетичний аналіз, який покладено в основу даної методології, передбачає урахування всіх вагомих складових ексергії повітря СКП (п.8). Ці питання вирішено й подано нами в роботах [10] та [17]. Результати проілюстровано діаграмою потоків ексергії, яка дає зорове сприйняття деструкції ексергії в СКП.

Відносні ексергетичні критерії варто розрізняти на такі, що характеризують недосконалість термодинамічного процесу зміни стану робочого тіла в системі (елементі) – ЕККД «нетто» та на такі, що характеризують втрати при

теплообміні від кінцевої різниці температур - ЕККД «брутто». Останні пов'язані із деструкцією ексергії теплоносіїв (п.9). Ці питання нами освітлено в роботі [15].

На етапі проектування СКП та при техніко-економічному обґрунтуванні інвестицій варто надавати порівняльну оцінку прийнятих проектних рішень СКП (п.10). Це питання порушено авторами в роботах [15], [18], отримано коректні порівняльні результати.

Ексергетична вартість енергетичних потоків відіграє важливу роль при економічному порівнянні енергоносіїв для живлення СКП. При ексерго-економічному аналізі також варто враховувати накопичувальну вартість робочого тіла (повітря, теплоносія, холодоносія тощо) в кінці процесу його обробки перед споживачем (п.11). Подібні детальні розрахунки з відповідним обґрунтуванням наведено в роботі [15].

Висновки

Наведені в даній статті результати досліджень з оцінки показників енергоощадності елементів СКП із зволоження, нагрівання, охолодження й осушення повітря складають основу методології, яку варто започаткувати для задоволення основної вимоги «економія енергії» згідно із будівельними нормами [1]. Наведені в посиланнях методики варто рекомендувати Мінрегіону для апробації при проведенні експертизи проектів будівництва. При позитивних висновках експертів та інвесторів на даній методологічній основі варто розробити національний стандарт з визначення основних показників енергоощадності приладів і систем для створення й підтримки мікроклімату приміщень. Подальший розвиток даних досліджень вбачається в розробці оптимізаційних алгоритмів за цільовою функцією ексергетичної та ексергоекономічної ефективності.

Література

1. ДБН В.1.2-11-2008 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд економія енергії». наказ Мінрегіонбуду України від 26 січня 2008 р. № 36,чинні з 2008-10-01.
2. Вишневикий Е. П. Энергосбережение при проектировании систем микроклимата зданий // Сантехника, Отопление, Кондиционирование (С. О.К.). – 2010. – № 1.
3. Задоянний О.В., Котляров А. Ексергетична оцінка обробки повітря в центральній прямокутній системі кондиціонування повітря ; Науково-технічний збірник «Енергоефективність в будівництві та архітектурі». Випуск 6. Відповідальний редактор П.М.Куліков.-К.:КНУБА,2014 р.-364 с.;
4. M. Razmara, M. Maasoumy, M. Shahbakhti, R.D.Robinett. Optimal exergy control of building HVAC system // Applied Energy 156 (2015) 555–565. <http://www.elsevier.com/locate/apenergy>.
5. Hakan Caliskan, Arif Hepbasli, Ibrahim Dincer, Valeriy Maisotsenko. Thermodynamic performance assessment of a novel aircooling cycle: Maisotsenko cycle // International journal of refrigeration 34 (2011) 980-990. <http://www.sciencedirect.com>.
6. Kuzgunkaya E. H. Evaluation of Turkey's Geothermal Energy in term of Exergy Analysis // Proceedings World Geothermal Congress 2015. Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.– P. 1-9.
7. Adrian Bejan. Advanced engineering thermodynamics, third edition. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, 2006,920 p.
8. Тсатсаронис, Джордж. Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергопреобразующей системы. — Одесса: Студия «Негоциант», 2002.- с. 152.
9. Морозюк Т.В., Тсатсаронис Дж. Углубленный эксергетический анализ - современная потребность оптимизации энергопреобразующих систем// Промышленная теплотехника. – 2005 . – Т.27, №2.- С.88-92.
10. Задоянний О. В. Євдокименко Ю. М. Види ексергії в системах кондиціонування повітря та їх визначення.//Науково-технічний збірник «Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання», вип.19, с.3-15/ відповідальний редактор Е.С.Малкін.- КНУБА, 2016.-145с.
11. Бродянский В.М., Верхивкер Г.П., Карчев Я.Я. и др. Эксергетические расчеты технических систем. Справ.пособие АН УССР. Ин-т технической теплофизики.- Киев: Наук. Думка, 1991.- 360 с. – ISBN 5-12-0011397-X.
12. Бродянский В.М., В.Фратшер, К.Михалек. Эксергетический метод и его приложения. Под ред. В.М.Бродянского. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с. – ISBN 5-283-00152-0;
13. Göran Wall. EXERGETICS. Biscaramanga 2009, 151 p.
14. Задоянний О.В., Ексергетичні критерії при оцінці енергоощадності систем кондиціонування повітря будівель і споруд; Науково-технічний збірник «Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.- Вип.17 // відповідальний редактор Е.С.Малкін.- К.: КНУБА,2014р.-147 с.
15. Oleksandr Zadoyanny, Yurii Yevdokimenko. Exergoeconomic analys of air cooling systems; Науково-технічний збірник «Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.- Вип.20 // відповідальний редактор Е.С.Малкін.- К.: КНУБА,2016р.-147 с.
16. Задоянний, О. В. Євдокименко Ю. М. Особливості визначення ексергетичної ефективності вузла «повітроохолоджувач-каплевловлювач-повітронагрівач» прямокутової СКП з використанням діаграми потоків ексергії вологого повітря; Науково-технічний збірник «Енергоефективність в будівництві та архітектурі. Вип.7.Відповідальний редактор П.М.Куліков.-К.:КНУБА,2015 р. -404 с.

17. Задоянний О.В., к.т.н., Євдокименко Ю.М. Діаграма потоків ексергії вологого повітря для систем кондиціонування повітря; Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання; Науково-технічний збірник.- Вип.18//відповідальний редактор Е.С.Малкін.- КНУБА, 2015.- с.

18. Задоянний, О. В. Євдокименко Ю. М. Порівняльна ексергетична оцінка прямої системи кондиціонування повітря з конденсаційним та комбінованим осушенням повітря; Науково-технічний збірник «Енергоефективність в будівництві та архітектурі». Випуск 6, К.:КНУБА, 2014.-С.91-94.

Стаття надійшла в редколегію 04.04.2017

Рецензент: Малкін Е.С., д.т.н, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Задоянний Александр Васильевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, ORCID: 0000-0001-6781-9756
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

Євдокименко Юрий Николаевич

Аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, ORCID: 0000-0002-1697-0816
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ УДОВЛЕТВОРЕНИЯ ОСНОВНОГО ТРЕБОВАНИЯ "ЭКОНОМИЯ ЭНЕРГИИ"

Аннотация. В работе представлено авторское видение решения методологической проблемы определения основного показателя энергосбережения оборудование для нагрева, охлаждения, осушения и увлажнения воздуха строительных объектов - коэффициента полезного действия. На примере результатов научных исследований, проводимых кафедрой ТТГиВ в последние годы по оценке показателей энергосбережения систем кондиционирования воздуха (СКВ), аргументированно доказываются корректность и однозначность предложенной методологии определения указанного показателя для наиболее энергоемких систем кондиционирования воздуха. Методология оценки коэффициента полезного действия указанного оборудования и систем базируется на фундаментальных достижениях современной неравновесной термодинамики и эксергоэкономики. В основу методологии положены принципы углубленного эксергетического анализа, который позволяет исследовать и оценивать численно эксергетические преобразования рабочих тел - энергоносителей систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Благодаря этому авторы получили и обработали методологическую базу в виде аналитических зависимостей и расчетных алгоритмов по определению эксергетических потоков в указанных системах, а также относительных и абсолютных показателей энергосбережения в СКВ. Приведенные результаты исследований авторы предлагают для апробации и разработки национальных гармонизированных методик.

Ключевые слова. Основное требование «экономию энергии»; методология определения показателей энергосбережения; эксергетический анализ; эксергетический коэффициент полезного действия; эксергетическая эффективность.

Zadoyanniĭ Alexander

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, ORCID: 0000-0001-6781-9756

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kiev

Євдокименко Yuri

Post-graduate student of the department of heat and gas supply and ventilation, ORCID: 0000-0002-1697-0816

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kiev

METHODOLOGICAL ISSUES MEET BASIC REQUIREMENTS "ECO"

Abstract. The article contains the author's vision of solving the methodological problem of determining the main indicator of energy saving equipment for heating, cooling, drying and humidifying air construction sites - efficiency ratio. The example of the results of scientific research conducted by the Department HVAC in recent years to assess performance energy saving air conditioning systems (AC systems), arguments have validity and uniqueness of the proposed methodology for the specified rate for the most energy intensive air conditioning systems. Evaluation Methodology efficiency of said equipment and systems based on the fundamental achievements of modern nonequilibrium thermodynamics and exergoeconomics. Based on the principles of the methodology exergic-depth analysis, which allows you to explore and evaluate numerical conversion exergics working bodies - the energy of heating, ventilation and air conditioning. The authors made exhausted methodological base as dependency analysis and calculation algorithms to determine exergic flows in these systems, as well as relative and absolute performance energy saving HVAC system. These results suggest the authors to test and develop national harmonized methods.

Keywords. The basic requirement "energy saving"; methodology for determination of the energy saving; exergic analysis; exergic efficiency ratio; exergic efficiency.

УДК 620:351.82

Климчук Марина Миколаївна

Кандидат економічних наук, доцент, ORCID: 0000-0002-1024-4784

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ІНФОРМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯМ ПІДПРИЄМСТВА НА ОСНОВІ КОГЕРЕНТНО-КОГЕЗІЙНОЇ МОДЕЛІ

***Анотація.** Ефективність системи управління енергозбереженням підприємства значною мірою залежить від дії низки факторів, одним з них є інформаційно-аналітичного забезпечення.*

В статті запропоновано когерентно-когезійна модель інформатизації системи управління енергозбереженням на підприємстві, що надасть можливість створити спільний інформаційний простір для стейкхолдерів. Структуризація запропонованої моделі утворює зв'язки її суб'єктів і цілей, змісту інформації та вектори інформаційних потоків для вирішення поставлених завдань розвитку енергозбереження на будівельних підприємствах. Це надасть можливість приймати ефективні, дієві управлінські рішення з метою підвищення рівня енергоефективності підприємства. В статті представлено етапи формування інформаційно-аналітичного забезпечення системи управління енергозбереженням на підприємстві

***Ключові слова:** управління енергозбереженням; когезія; когерентність; інформатизація; підприємство; рівень енергоефективності; структурні компоненти системи.*

Постановка проблеми

Значний рівень енергоспоживання та енергомісткості продукції будівельних підприємств (наприклад, при виробництві цементу частка енергоресурсів складає 56 %, сповісти – 49 %, керамічної цегли: 28,7 % - 53 %, силікатних матеріалів: 11,2 % - 37,7 % [15; 21]) обумовлюється низкою факторів, що чинять негативний вплив на ефективність його виробничо-комерційної діяльності, одним з них є інформаційно-аналітичного забезпечення.

Виникає потреба в розробці когерентно-когезійної моделі інформаційно-аналітичного забезпечення системи управління енергозбереженням на підприємстві, що обумовлено значною кількістю видів внутрішньої й зовнішньої звітності будівельних підприємств, які формуються для стейкхолдерів (інформація є різного обсягу, структури та характеру), що призводить до втрати часу й фінансових ресурсів при пошуку релевантної інформації. Розробка такої моделі надасть можливість створити спільний інформаційний простір для вирішення поставлених завдань розвитку системи управління енергозбереженням на будівельних підприємствах.

Одним з пріоритетних векторів моделі інноваційного розвитку країни є упровадження енергозберігаючих технологій на будівельних підприємствах - комплексу організаційно-управлінських, наукових, освітніх, технічних та

фінансово-економічних заходів, які позитивно впливають на створення конкурентоспроможної продукції з мінімальним рівнем енергомісткості й оптимальними техніко-економічними показниками. Доречі, саме при виробництві будівельних матеріалів, найбільш значна питома вага енерговитрат у собівартості продукції.

Аналіз основних досліджень та публікацій

Вивченням проблематики управління енергозбереженням на підприємствах займалися вчені: Я.Н. Акулова, О.В. Бондар-Підгурська, М.П. Ковалко, Ю.Д. Кононов, П.Д. Неміш, С.В. Пономарьов, О.М. Суходоля, М.К. Сухонос, С.В. Федоренко, І.Р. Щекин та ін.

Проте, малодослідженим залишається питання інформатизації управління енергозбереженням, зокрема, ідентифікацією когерентно-когезійних зв'язків між структурними компонентами виробничо-економічної системи.

Формулювання мети статті

Метою статті є розробка когерентно-когезійної моделі інформатизації системи управління енергозбереженням на підприємстві, що надасть можливість створити спільний інформаційний простір для стейкхолдерів та сприятиме прийняттю ефективних управлінських рішень з метою підвищення рівня енергоефективності підприємства.

Основна частина

Сформована на вітчизняних будівельних підприємствах практика управління енергозбереженням, характеризується фрагментарністю, недосконалим опрацюванням питань підвищення рівня енергоефективності та практично відсутністю інформаційно-аналітичної підтримки, що не задовольняє сучасним потребам зовнішнього середовища.

Проте, частково проблематику забезпечення ефективного управління енергозбереженням на будівельних підприємствах можливо вирішити на основі безперервного процесу обміну інформацією між суб'єктами системи управління, яку отримують за результатами роботи структурних компонент: кадрової, виробничої, управлінської, інвестиційної, фінансової, маркетингової. Обмін інформацією відбувається за усталеною схемою, де суб'єкти системи управління регулярно здійснюють обмін інформацією за результатами якої приймають управлінські рішення.

Питоме споживання енергоресурсів, як цільової функції енергозбереження, для будівельного підприємства може бути визначено як питома енергомісткість будівельного продукту, при заданих початкових умовах й обмеженнях (фінансових, технологічних, матеріально-технічних). Тому, доцільно, сформувати систему для реалізації енергозберігаючих проектів, на основі симбіозу виробничо-комерційної діяльності підприємства з енергозбереженням. Інформаційне й аналітичне забезпечення для рішення таких задач має бути визначене на основі технологій, що забезпечують прийняття стратегічних енергозберігаючих рішень, що надасть можливість мінімізувати помилки в прийнятих рішеннях [5; 7].

На основі вищезазначеного можна зробити висновок, що інформаційно-аналітичне забезпечення управління енергозбереженням на будівельному підприємстві доцільно реалізувати виходячи з наступних аспектів:

- розробки дієвої концепцію інформаційно-аналітичного забезпечення управління енергозбереженням на будівельному підприємстві;
- економія на всіх стадіях споживання енергоресурсів;
- упровадження прогресивних норм енергомісткості будівельної продукції;
- у виробництві будівельних матеріалів залучення новітніх технологій, що надають можливість заощаджувати енергоресурси;
- на всіх рівнях (виробник, споживач) використання прогресивних систем обліку енергоресурсів;
- пошук та залучення інвестицій;

- надання пільг, преференцій для тих будівельних підприємств, що успішно реалізують заходи енергозбереження й економлять енергоресурси.

Дослідженню питання енергоефективності приділяється значна увага науковців, які вважають що вона є невід'ємною складовою покращення розвитку економічних суб'єктів на різних рівнях господарської системи країни. Також деякі з них припускають, що сучасні тенденції розвитку енергетики в світі спрямовані на вирішення трьох завдань:

- 1) енергозабезпечення (безперебійність енергопостачання та надання якісної енергії та послуг);
- 2) енергодоступності (за ціною та енергоощадністю);
- 3) енергоприйнятності (за мінімальним впливом на довкілля) [4].

Аналізуючи питання енергозбереження для всіх суб'єктів господарювання слід зазначити, що функціонування кожного з них залежить від рівня їх енергоефективності. На думку вчених, які займаються питанням енергозбереження, енергетичний сектор забезпечує життєдіяльність усіх галузей національного господарства країни, без продукції якого неможливий стійкий розвиток країни. Адже, саме енергетика є основним індикатором соціально-економічного стану суспільства і визначає зрушення до змін в розвитку економіки [8].

Зростання рівня конкуренції та глобалізація ринків актуалізують проблематику скорочення термінів упровадження енергозберігальних заходів будівельними підприємствами, що пов'язане із зростанням витрат та зменшенням енергомісткості виготовленої продукції. Проте, як пріоритет і на стадії планування, так і на наступних стадіях життєвого циклу проектів енергозбереження доцільно ретельно відслідковувати тенденції та аналізувати потоки інформації.

Провідні експерти [20-21] одноставні в думці, що успішний хід реалізації енергозберігальних технологій на будівельних підприємствах багато в чому залежить від обсягу і виду інформації, що поставляється зовнішнім й внутрішнім користувачам.

На основі аналізу концепції інтегрованої звітності [6; 10; 16; 22] можна актуалізувати, що не доцільно надавати різнопланові, різноформатні, численні, незв'язані облікові дані, яких потребують стейкхолдери.

Дослідивши базові принципи концепції інтегрованої звітності, ми прийшли до проміжного

висновку, що доцільно розвивати інтегроване мислення в частині звітності на основі принципу зв'язності інформації. Можливості підключення релевантної інформації (облікової, аналітичної, контрольної) при формуванні інтегрованих звітів підприємства має низку недоліків: не в повній мірі показує зв'язок між фінансовою та нефінансовою інформацією, кількісними і якісними показниками, між ключовими показниками ефективності при прийнятті та реалізації управлінських рішень.

У цьому контексті доцільна оптимізація основних засад концепції в частині активізації принципу зв'язності в повному обсязі сформувати, розкривати не тільки фінансову публічну інформацію, а й нефінансові облікові дані, які важливі для зацікавлених користувачів (бізнес-модель, стратегічні пріоритети, інвайроментальний розвиток, кадрова політика, екологічна безпека).

Формування ефективної системи інформаційно-аналітичного забезпечення управління енергозбереженням на будівельних підприємствах потребує розробки певних концептуальних засад. Для цього в представленому дослідженні ми вводимо поняття «когерентність» й «когезія» як понятійний апарат управління енергозбереженням на основі інформаційно-аналітичного забезпечення, тобто прийняття ефективних управлінських рішень на основі звітності за результатами роботи структурних компонент: кадрової, виробничої, управлінської, інвестиційної, фінансової, маркетингової.

Когерентність проявляється у вигляді структурної, смислової і комунікативної цілісності, які співвідносяться між собою як форма, зміст і функція, виділяючи, таким чином, три аспекти когерентності. Поняттю когерентності як глобальної зв'язності (на рівні підприємства – це сукупність інформаційних даних за результатами роботи всіх його структурних компонент та їх зв'язків із зовнішнім середовищем) доцільно протиставити поняття когезії (від лат. *Cohaesi* - «бути зв'язковим») як зв'язності локальної (це інформація про роботу однієї або декількох структурних компонент).

Локальна зв'язність - це зв'язність лінійних послідовностей, яка визначається інформаційними зв'язками й здійснюється за допомогою низки елементів зв'язку на рівні мікроструктур (елементи, які здійснюють зв'язок між двома або кількома компонентами). Автор визначав когезію як «особливі види зв'язку, що забезпечують континуум, тобто логічну послідовність, (темпоральну та / або просторову) взаємозалежність окремих повідомлень, фактів, дій та ін.» [16]. У більш вузькому розумінні, когезія є тільки локальна зв'язність, - зв'язність лінійного типу, що виражається формально. Однією

з основних функцій когезії є встановлення послідовності різних даних, поєднує таку послідовність в одне ціле.

Когезія вторинна по відношенню до когерентності, оскільки вона може формально не проявлятися. На підставі вищевикладеного можна зробити висновок, що категорія зв'язності як один з основних ознак інформаційно-аналітичного забезпечення проявляється на рівні як когерентності, так і когезії, завдяки чому всі компоненти безпосередньо або опосередковано пов'язані між собою і структуровані в єдине ціле.

Ідентифікуємо базисні основи концепції когерентно-когезійної звітності для будівельних підприємств. Виокремимо важливі аспекти термінології. Отже, когерентність (від лат. *Cohaerens* - «що знаходиться в зв'язку») - термін, що використовується в різних сферах знань [16].

Для цілей управління енергозбереженням на основі інформаційно-аналітичного забезпечення, тобто прийняття ефективних управлінських рішень на основі звітності за результатами роботи структурних компонент (кадрової, виробничої, управлінської, інвестиційної, фінансової, маркетингової) будівельного підприємства ми розуміємо когерентність як узгоджений процес низки обліково-аналітичних процесів в динаміці, що виявляється при їх симбіозі.

Обліково-аналітичні процеси когерентні, якщо різниця їх фаз постійна в динаміці і при складанні коливань (відхилень) виходить єдина цілісна звітність. На нашу думку, когерентність облікової інформації означає, що в різних просторових точках контроль істотних даних відбувається синхронно, різниця змісту аналітичних даних між двома обліковими системами не залежить від часу.

Отже, доцільно актуалізувати, що надані рекомендації по встановленню когерентних й когезійних зв'язків спрямовані на оптимізацію зв'язності облікової інформації. Адже, когерентно-когезійний звіт має представляти цілісність комбінацій, взаємозв'язку й взаємозалежності між факторами, що чинять вплив на виробничо-комерційну діяльність підприємства.

На будівельному підприємстві виникає потреба у формуванні й представленні значної різноманітності різноспрямованих звітів. Коли різниця сформованих даних між звітами не постійна, а змінюється з часом, тоді когерентність відсутня, така ситуація існує, якщо формування звітів й розкриття багатоаспектної облікової інформації згенеровано не єдиним ініціатором, а сукупністю кількох незалежних, не узгоджених стейкхолдерів.

Всі ці зміни, призводить до певної інтерференції облікової інформації - до варіанту її конкуренції і несприятливих взаємодій, що виникають при наявності близьких за релевантністю показників і параметрів інформації. Такий дисонанс відбувається, коли знищуються одні облікові дані іншими й втрачається істотність інформації для зацікавлених користувачів. При інтерференції облікових даних можлива дисокогеренція облікової інформації - порушення цілісності й узгодженості облікових систем й не отримання важливої інформації внаслідок взаємозалежності даних. Пропонована концепція когерентно-когезійної звітності важлива для інвесторів, так як традиційні річні звіти не відображають інтегрованої картини бізнесу внаслідок відсутності інформації про можливості й ризику здійснення інвестиційної діяльності.

Потреба в розробці даної концепції обумовлена значною кількістю видів внутрішньої й зовнішньої звітності будівельних підприємств, які формуються для менеджменту, учасників фінансового ринку, податкових органів, банків (інформація є різного обсягу, структури та характеру), що призводить до втрати часу й фінансових ресурсів при пошуку релевантної інформації. На нашу думку, система когерентно-когезійної звітності - це уніфікований, комплексний, кореляційний інструмент взаємозв'язку різнорідних звітів в єдине ціле, яка базується на фундаментальних засадах й принципах зв'язності, релевантності, надійності, цілісності.

Результатом функціонування системи є інтегрований звіт - уніфікований когерентно-когезійний документ, де відображається інформація про стратегію будівельного підприємства, систему управління на всіх рівнях й взаємопов'язаних показниках в економічній, соціальній та екологічній сферах діяльності.

Відповідно до стратегічних пріоритетів свого розвитку будівельне підприємство формує звітність. Кожен вид звітів відповідає оригінальній концепції, цілям та завданням, спрямованим на задоволення потреб відокремленої групи стейкхолдерів (зацікавлених користувачів). Наприклад, інвестори, кредитори, засновники, менеджери, споживачі. Одні звіти можуть бути не релевантні для групи користувачів, кому вони не призначені. Наше завдання сформував інструмент, який надасть можливість не втратити у звіті чіткі межі через зменшення його розмірів, не конфліктуючи і не заважаючи даним з іншого виду звіту. Інформація в інтегрованому звіті має зменшитись, але залишитися інформативною, а можливо цінність її зросте. Як актуалізувалось раніше, доцільно

одночасно вирішити завдання по збереженню властивостей звітності - цілісності й зв'язності.

Проведене дослідження сучасного стану та проблематики упровадження інформаційно-аналітичного забезпечення системи управління енергозбереженням на будівельних підприємствах надало можливість нам ідентифікувати й згрупувати перешкоди, які стримують ці процеси:

- Організаційно-управлінські (нестача кваліфікованих кадрів, нерозвиненість інноваційної інфраструктури, фрагментарність управлінських рішень);
- Нормативно-правові (недосконале нормативно-правове забезпечення);
- Фінансово-економічні (нестача власних грошових коштів, значна вартість впровадження енергозберігаючих технологій, значний економічний ризик);
- Інформаційно-аналітичні (брак інформації про: нові технології, ринки збуту, можливості зниження рівня енергомісткості продукції).

Надання інформації про упровадження заходів енергозбереження на будівельному підприємстві має за мету забезпечити користувачів релевантною, цілісною інформацією про досягнення запланованих термінів, взаємодії учасників проекту, розмір витрат й показників ефективності виробництва, чинники, що суттєво впливають на параметри й ризику підвищення рівня енергоефективності.

Встановлені й передбачувані інформаційні потреби асоційовані з вимогами різних груп користувачів облікової інформації, адже склад споживачів інформації неоднорідний, але їх об'єднує зацікавленість в корисних даних, якісної інформації. Якісні характеристики облікової інформації в усіх концептуальних засадах обліку та звітності, як правило, сходяться в тому, що найважливіше релевантність й надійність. Релевантність інформації пов'язана з впливом на економічні рішення й прогнозування діяльності, що показало проведені дослідження різних концептуальних підходів до якісних характеристик облікової інформації [23, с. 23].

Інформація має надаватись своєчасно, інакше вона перестане бути релевантною. Отримані переваги мають перевищувати витрати на підготовку інформації. Отже, цільові запити користувачів, що визначаються економічною ситуацією, диктують вимоги і пріоритетні характеристики інформації, їх зміст та інтерпретацію [23, с. 30].

Вивчення статистичних даних надало можливість зробити висновок про дефіцит інформації й відсутності системи норм і правил її збору, переліку показників і про формування

інформаційної бази без урахування потреб користувачів інформації про результати енергозбереження на будівельних підприємствах.

Разом з тим кожна група користувачів – держава, розробники, виробники, інвестори, споживачі - висувають різні вимоги до складу, змісту та інтерпретації інформації. Так, державу, перш за все, цікавить інформація про роль і значення проекту енергозбереження, соціально-економічний, екологічний ефекти, результативність впроваджених енергозберігаючих заходів, зменшення енергозалежності економіки. Інвесторів - інформація про хід реалізації проекту, про надійність одержувача інвестицій. Зміст інформації залежно від

цільових запитів різних користувачів представлено в таблиці 1.

Формування оперативної фінансової й нефінансової інформації по цільових запитах користувачів надасть можливість моніторити тенденції й аналізувати показники на всіх стадіях життєвого циклу реалізації проекту енергозбереження на будівельному підприємстві, сприятиме прийняттю важливих оперативних управлінських рішень по досягненню стратегічних цілей. Вирішення цього завдання багато в чому залежить і від визначення інформаційних потоків між макро-, мезо-, мікро- й нанорівнями впровадження енергозберігаючих заходів.

Таблиця 1

Групування користувачів інформації про енергозберігаючі технології в розрізі цільових запитів та її змісту

Група користувачів	Цільові запити користувачів	Зміст інформації
Держава	Створення комфортних умов для інвесторів. Стимулювання енергоінновацій. Забезпечення масштабного виробництва та упрощення енергозберігаючого обладнання.	Інформаційні дані про значення проекту енергозбереження, екологічний, соціально-економічний ефект. Про ефективність заходів підтримки, зокрема, фінансової.
Розробники обладнання	Підвищення рівня конкурентоспроможності та якості продукції	Про попит на енергозберігаюче обладнання, нові технології, ринки збуту, рівень витрат, ефективність заходів енергозбереження.
Інвестори	Отримання від інвестицій найбільшої віддачі. Можливість інвестувати в високоприбуткові, високотехнологічні виробництва.	Про хід реалізації заходів енергозбереження, надійність підприємства - одержувача інвестицій.
Менеджери підприємства	Отримання максимального прибутку та підвищення енергомісткості продукції.	Про ринки збуту, рівень витрат, показники ефективності заходів енергозбереження.
Споживачі	Отримання якісних комунальних послуг, зменшення їх вартості.	Про існуюче енергозберігаюче обладнання, його енергоефективність та доступність.

Складено автором

Складність формування інформаційно-аналітичної системи управління енергозбереженням обумовлена різноманітністю інтересів суб'єктів, що вступають в економічні відносини, а також різницею організаційно-правових статусів, масштабів, приналежністю до тієї або іншої сфери або галузі.

Органи місцевої влади є суб'єктами реалізації проектів енергозбереження на мезоурівні, а об'єктами їх діяльності стають проекти зі створення енергозберігаючих технологій на об'єктах соціальної інфраструктури.

На мікрорівні ланками енергозбереження виступають окремі «енергорелевантні» будівельні підприємства, що впроваджують фундаментальні й

прикладні дослідження в сфері енергозберігаючих технологій з метою зменшення собівартості, енергомісткості виготовленої продукції.

На нанорівні енергозберігаючими технологіями цікавляться споживачі, які прагнуть забезпечити комфортні умови проживання, отримання якісних комунальних послуг за доступною ціною. Суб'єктами взаємодії в сфері підвищення рівня енергоефективності на макрорівні є країни, в яких реалізуються пріоритетні національні та регіональні проекти енергозбереження.

На макрорівні формується інформація про розроблені національні проекти в сфері енергозбереження, рівень ефективності фінансової підтримки, підготовки фахівців, результати

моніторингу реалізації проєктів. Скоординована політика держави у сфері енергозбереження є запорукою успішної розробки та впровадження енергозберігаючих технологій на кожному з рівнів економічної системи. На мезорівні формується інформація про доцільність і обсяги залучення інвестицій, результати реалізації проєктів енергозбереження. На мікрорівні формується інформація про впровадженні заходи енергозбереження на будівельних підприємствах. Нанорівень відображає інформацію про попит серед населення на енергозберігаюче обладнання, участь в програмі енергозбереження «теплі» кредити.

З метою сприяння ефективному функціонуванню системи управління енергозбереження на будівельному підприємстві пропонуємо когерентно-когезійну модель інформаційно-аналітичного забезпечення, що позитивно впливає на її розвиток (рис.1). Структура запропонованої моделі утворює зв'язки її суб'єктів і цілей, зміст та вектори інформаційних потоків для вирішення поставлених завдань на кожному рівні економічної системи.

В результаті синергії представлених рівнів утворюється обсяг інформації обліково-аналітичної системи управління енергозбереженням й реалізується комплексний підхід до системи збору, узагальнення, контролю та аналізу даних. В рамках даної системи симбіоз облікової та контрольної підсистем характеризує поточний контроль реалізації проєктів енергозбереження на рівні держави, регіонів, виробничо-комерційних систем й окремих споживачів. Взаємодія облікової та аналітичної підсистем являє собою поточне регулювання і планування [7, с. 44]. Поєднання аналітичної та контрольної підсистем утворює потужну базу для оцінки і виявлення ризиків управління енергозбереженням.

На підприємстві первинною, системоутворюючою інформацією є дані про енергозберігаючі технології й потенційні можливості виробництва. Потенціал розвитку енергозбереження та підвищення рівня енергоефективності розкривається за допомогою таких показників діяльності окремих учасників: зменшення енергомісткості та питомих витрат палива на виробництво окремих видів продукції, кількість впроваджених заходів підвищення рівня енергоефективності; кадрове забезпечення; обсяг виробництва й реалізації продукції.

Пропонуємо процес формування інформаційно-аналітичного забезпечення системи управління енергозбереженням на підприємстві відобразити низкою етапів:

- Етап ініціації - це попереднє оцінювання поточного стану досліджуваного об'єкту;

- Ідентифікація й конкретизація інформаційних потреб всієї ієрархічної системи управління енергозбереженням (аналіз організаційно-управлінської компоненти, ринків збуту й енергозберігаючих заходів, управлінських технологій, виокремлення управлінських функцій, визначення характеру, обсягу, переліку й ступеня оперативності управління інформаційно-аналітичним забезпеченням) й способів найбільш ефективного їх задоволення;

- Моніторинг й опис існуючої фінансової та нефінансової інформаційно-аналітичної системи управління енергозбереженням будівельного підприємства (переваги й недоліки сформованих системою обліку інформаційних потоків, виокремлення користувачів й оцінювання задоволення їх інформаційних потреб);

- Визначення вимог, що пред'являються користувачами інформації - інвесторами, споживачами, виробниками (визначається оптимальний кількісно-якісний склад інформації, необхідної для ефективного управління), і підпорядкування її логікою функціонування проєкту енергозбереження в просторі і часі;

- Побудова формалізованої системи, що здатна забезпечити фінансовою та нефінансовою інформацією всі рівні управління енергозбереженням на будівельному підприємстві;

- Побудова системи управлінської звітності (оцінюється сукупність показників, форм звітів по всіх рівнях організаційно-управлінської структури і по всіх стадіях життєвого циклу проєкту енергозбереження, що включають всю необхідну інформацію із заданим ступенем деталізації);

- Побудова системи аналізу і контролю (формується система аналізу і контролю, головною метою якої є кількісна та якісна оцінка діяльності на всіх стадіях життєвого циклу реалізації заходів енергозбереження, вироблення управлінських рішень по їх розвитку й вдосконалення).

- Побудова формалізованої системи, що здатна забезпечити фінансовою та нефінансовою інформацією всі рівні управління енергозбереженням на будівельному підприємстві (розробляється відповідна формалізована система, здатна здійснювати збір, обробку та подання інформації, що відповідає потребам і вимогам управлінського персоналу та інших користувачів в розрізі індивідуальних виконавців, окремих бізнес-процесів проєкту енергозбереження);

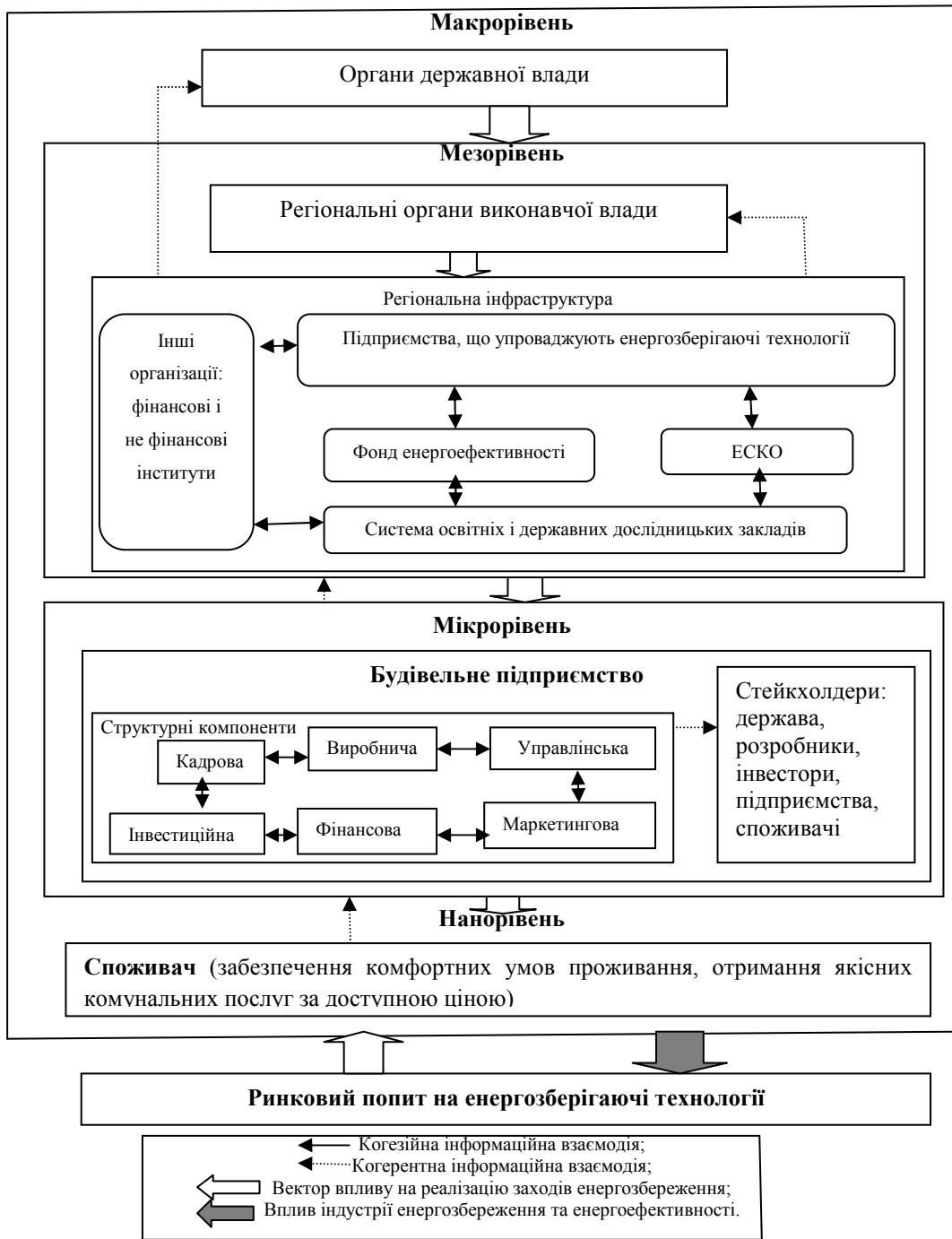


Рисунок 1 - Когерентно-когезійна модель інформаційно-аналітичного забезпечення системи управління енергозбереженням на підприємстві

- Побудова системи управлінської звітності (оцінюється сукупність показників, форм звітів по всіх рівнях організаційно-управлінської структури і по всіх стадіях життєвого циклу проекту енергозбереження, що включають всю необхідну інформацію із заданим ступенем деталізації);

- Побудова системи аналізу і контролю (формується система аналізу і контролю, головною метою якої є кількісна та якісна оцінка діяльності на всіх стадіях життєвого циклу реалізації заходів енергозбереження, вироблення управлінських рішень по їх розвитку й вдосконалення).

Висновки

Запропонована когерентно-когезійна модель інформаційно-аналітичного забезпечення системи управління енергозбереженням на підприємстві, що надасть можливість створити спільний інформаційний простір для всіх стейкхолдерів.

Структуризація запропонованої моделі утворює когерентні та когезійні зв'язки її суб'єктів і цілей, змісту інформації та вектори інформаційних потоків для вирішення поставлених завдань розвитку енергозбереження на будівельних підприємствах. Вирішення цих завдань надасть можливість для керівництва підприємства не тільки отримання доступу до державної підтримки, а й швидке реагування на зміни, що відбуваються на ринках і в технологіях, для інвесторів надає можливість інвестувати в високоприбуткові, інноваційні заходи енергозбереження.

Розроблено етапи формування інформаційно-аналітичного забезпечення системи управління енергозбереженням на підприємстві:

етап ініціації, ідентифікації й конкретизації інформаційних потреб всієї ієрархічної системи управління енергозбереженням, моніторинг й опис існуючої фінансової та нефінансової інформаційно-аналітичної системи управління енергозбереженням будівельного підприємства, визначення вимог, що пред'являються користувачами інформації, побудова формалізованої системи, побудова системи управлінської звітності, побудова системи аналізу і контролю.

Перспективами подальшого дослідження має стати систематизація показників оцінювання заходів енергозбереження на засадах когерентно-когезійного концепту в розрізі рівнів розвитку економічної системи та доповнено їх наступними: соціально-екологічними, показниками оцінювання інноваційної активності, результативності, ефективності впроваджених заходів енергозбереження на будівельних підприємствах, а також інтенсивності витрат на технологічні енергоінновації.

Література

1. Акулова Я.Н. Система показателей оценки энергоэффективности как фактора экономического роста региональной экономики. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://vestnik.osu.ru/2014_4/6.pdf
2. Бондар-Підгурська О.В. Науково-методичні підходи до оцінки енергоефективності як фактора конкурентоспроможності промислової продукції в інноваційній моделі розвитку України / О.В. Бондар-Підгурська // Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету. – 2012, ч. II. – С. 189-194
3. Карпей Т.В. Экономика, организация и планирование промышленного производства: Учебное пособие. Изд. 4-е испр. и доп. – Мн.: Дизайн ПРО, 2010. – 328 с.
4. Ковалко М. П. Энергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики М. В. Гнідий, С. В. Гагурін [та ін.] ; за заг. ред. М. П. Ковалка, М. В. Рапцуна, М. М. Кулика [та ін.]. — К. : Агентство з раціонального використання енергії та екології, 1997. — 228 с.
5. Кононов Ю.Д., Мазуров О.В. Потенциал энергосбережения. Зависимость энергоёмкости промышленности от темпов роста. // Промышленная энергетика. – 2002. №1. – С. 11-14.
6. Консультационный проект международной структуры [Э/р]. – P/d: www.ir.org.ru/attachments/article/13/23.11.12-ConsultationDraftoftheInternationalFramework-Russian.pdf.
7. Махуренко Г.С. Методологические основы проектной деятельности. Управління проектами та розвиток виробництва. Збірник наукових праць. Під ред. Рач В.А.: - 2004г.- №3(9) – с. 98-108.
8. Мухсинова Л.Х. Приоритетные направления устойчивого развития мировой энергетики [Текст] / Л. Мухсинова // Вестник ОГУ. – 2013. – №12 (161)
9. Неміш, П. Д. Сутність, оцінка та напрями підвищення ефективності механізму енергозбереження АПК [Текст] / П. Д. Неміш // Інноваційна економіка. – 2013. – № 7. – С. 46-53.
10. Международный стандарт по интегрированной отчетности [Э/р]. – P/d: www.pwc.ru/InternationalIntegratedReportingFramework
11. Пономарьов, С. В. Оцінка ефективності інвестицій в енергозбереження на підприємствах ПЕК [Текст] / С. В. Пономарьов // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2012. – № 12 (106). – С. 36-42.
12. Про затвердження Форми проектної пропозиції, Інструкції щодо заповнення Форми проектної пропозиції, Форми бізнес-плану інвестиційного проекту та Порядку проведення оцінки проектної пропозиції [Електронний ресурс] : наказ Міністерства економіки України від 22.06.2010 р. № 714. – Режим доступу: http://me.kmu.gov.ua/minec/control/uk/publish/article?showHidden=1&art_id=150577&cat_id=32854&ctime=1282896280143
13. Програма фінансування альтернативної енергетики в Україні (USELF) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uself.com.ua/index.php?L=2>.
14. Программа кредитования НЕФКО «Энергозбереження» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.nefco.org/sites/nefco.viestinta.org/files/NEFCO_ESC2013_RUS_SCREEN_finalesc.pdf.

15. Рач В.А. Принципы системного подхода в проектном менеджменте.: Управління проектами та розвиток виробництва. Збірник наукових праць. Під ред. Рач В.А. – 2003р. - №1(6) – с.7-10.
16. Самохвалова, Е.В. К вопросу об идентификации категорий когезии и когерентности в дискурсе [Э/р]. – Р/д: <http://www.rusnauka.com/>
17. Суходоля, О. М. Енергоефективність економіки в контексті національної безпеки: методологія та механізми реалізації [Текст] / О. М. Суходоля. – К. : НАДУ, 2006. – 424 с.
18. Сухонос М.К. Система показателей энергоэффективности энергоинфраструктуры предприятия /М.К. Сухонос // Энергосбережение. Энергетик. Энергоаудит –2011.-№7-С.25-84
19. Україна на шляху до енергетичної ефективності [Текст] / В. Ф. Бесєдін, М. В. Гнідий, Є. В. Гагурін [та ін.] ; за заг. ред. М. П. Ковалка, М. В. Рапцуна, М. М. Кулика [та ін.]. — К. : Агентство з раціонального використання енергії та екології, 1997. — 228 с.
20. Федоренко С. В. Методичні основи еколого-економічної оцінки ефективності інвестування в енергозбереження на муніципальному рівні / С. В. Федоренко // Управління енерговикористанням [Текст] : зб. доп. / за заг. ред. д. т. н., проф. А. В. Праховника. — К. : Альянс за збереження енергії, 2001. — 568 с.
21. Щекін І.Р. Повышение энергетической эффективности вентиляционно-отопительных систем. Учебное пособие. – Х.: Изд-во «Форт», 2003. – 164 с.
22. «Towards Integrated Reporting – Communicating Value in the 21st Century»[Э/р]. – Р/д: [www.ir.org.ru/attachments/article-IR Discussion Paper-2011.pdf](http://www.ir.org.ru/attachments/article-IR%20Discussion%20Paper-2011.pdf).
23. Глуценко, А. В. Методология внутренней стандартизации учета в агрохолдингах / А. В. Глуценко. – Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2008. – 372 с.

Стаття надійшла в редакцію 31.03.2017

Рецензент: д.т.н., проф. В.О. Плоский, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Климчук Марина Николаевна

Кандидат экономических наук, доцент, ORCID: 0000-0002-1024-4784

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

ИНФОРМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕМ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ КОГЕРЕНТНО-КОГЕЗИОННОЙ МОДЕЛИ

Аннотация. Эффективность системы управления энергосбережением предприятия в значительной степени зависит от действия ряда факторов, одним из них является информационно-аналитического обеспечения. В статье предложен когерентно-когезионная модель информатизации системы управления энергосбережением на предприятии, что позволит создать общее информационное пространство для стейкхолдеров. Структуризация предложенной модели образует связи ее субъектов и целей, содержания информации и векторы информационных потоков для решения поставленных задач развития энергосбережения на строительных предприятиях. Это позволит принимать эффективные, действенные управленческие решения с целью повышения уровня энергоэффективности предприятия. В статье представлены этапы формирования информационно-аналитического обеспечения системы управления энергосбережением на предприятии

Ключевые слова: управление энергосбережением; когезия; когерентность; информатизация; предприятие; уровень энергоэффективности; структурные компоненты системы.

Klimchuk Marina

Doctor of Philosophy, Associate Professor, ORCID: 0000-0002-1709-2621

Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kiev

INFORMATION OF SYSTEM POWER MANAGEMENT ENTERPRISE ON THE BASIS OF COHERENT AND COHESIVE MODEL

Abstract. The efficiency of system of management company largely depends on the actions of a number of factors, one of them is information and analytical support. In the article the coherent and cohesive model of information system power management in the company, which will enable to create a common information space for stakeholders. Structuring the proposed model creates relationships of its subjects and goals, content information and information flow vectors for the task of energy conservation in construction enterprises. This will provide an opportunity to take efficient, effective management decisions to improve the level of energy efficiency. In the article the stages of information-analytical system power management software in the enterprise

Keywords: power management; cohesion; coherence; information; enterprise; energy efficiency; structural components of the system.

УДК 515.2

Козак Юрій Валентинович

Старший викладач кафедри архітектурних конструкцій

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**ШЛЯХИ ЕКОНОМНОГО ПРОЕКТУВАННЯ АКУСТИКИ ЗАЛІВ ЗА РАХУНОК
МАКСИМАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ВІДБИТОЇ ЕНЕРГІЇ ЗВУКІВ**

***Анотація.** Історія архітектурної акустики свідчить про тенденцію розвитку методів проектування відбиттів для підсилення звуку видовищних та культових залів, завдяки чому в сучасному акустичному середовищі природні засоби підсилення звуку у вигляді відбиваючих екранів без використання звукопідсилюючої апаратури направляють відбиття на слухачів. Використання поверхонь 2-го та вищих порядків в якості відбиваючих екранів та їх трансформація дозволяють проектувати сучасні зали зі складними формами внутрішніх поверхонь та проводити акустичний розрахунок відбиттів від них.*

***Ключові слова:** акустика; поверхні 2-го та вищих порядків; трансформовані відбиваючі екрани; поверхня відбитих променів*

Постановка проблеми.

Історичний досвід розвитку архітектурного проектування та проектування акустичного середовища видовищних та культових приміщень свідчить про необхідність вивчення поверхонь 2-го та вищих порядків в якості огорожуючих та відбиваючих. Проф. Підгорний О.Л. та його учні доклали багато зусиль для вивчення звукових та світлових відбиттів, що відображено в багатьох публікаціях та дисертаційних роботах. Розроблені методики та способи розрахунку підсилення звукової енергії за допомогою поверхонь відбитих променів [1]. Подальші дослідження проводяться в області розширення найменувань відбиваючих поверхонь та дослідження поверхонь відбитих променів від їх твірних. Ці дослідження дозволять вирішити зворотну задачу отримання відбиваючих поверхонь по відомій поверхні відбитих променів, тобто, задача взаємозамінності відбиваючих екранів.

При вирішенні задач акустики проектувальники стикаються з проблемами змінної кількості глядачів, вимогами багатofункціональності залів, явищами концентрації та розсіюванні потоків звукової енергії. Розробки в області трансформації форми відбиваючих поверхонь та їх положення дозволяють змінювати ревербераційні характеристики залів, підсилувати звук та вирішувати проблему луни.

Аналіз основних досліджень та публікацій.

В публікації [1] розглянуті способи побудова поверхонь відбитих променів за допомогою поверхонь

нормалей до твірних відбиваючих поверхонь. Це дозволило розширяти перелік відбиваючих поверхонь. В публікаціях [2, 3] розглядаються торсові поверхні, методи їх побудови, їх класифікація та можливості їх використання в якості відбиваючих поверхонь.

Впровадження в акустиці, світлотехніці та геліотехніці відбиваючих властивостей поверхонь розглянуто в статтях [4, 7, 9], розроблені методики побудови поверхонь відбитих променів, проектування концентраторів та розсіювачів, запропоновано об'єднану геометричну інтерпретацію хвильового та променевого трактувань розповсюдження коливань.

В [9] зібрані дослідження поверхонь, їх аналітичний опис та візуалізація.

Публікація [5] розглядає один із варіантів опису поверхонь відбитих променів. За допомогою геометричного та аналітичного опису поверхонь відбитих променів можливо вирішити зворотню задачу по отриманню відбиваючих поверхонь при відомій поверхні відбитих променів. Це можливо зробити в рамках систематизації відбиваючих поверхонь по типу поверхонь нормалей до їх твірних [6].

Формулювання мети статті.

Метою статті є удосконалення методів акустичного розрахунку за допомогою дослідження відбиттів від відбиваючих екранів складних форм у вигляді аналітичних поверхонь 2-го та вищих порядків.

Задачі статті - розглянути способи збільшення кількості видів відбиваючих поверхонь в залежності від типу поверхонь нормалей до їх твірних, знайти засоби покращення акустичних властивостей залів за рахунок трансформації та зміни відбиваючих екранів, що дозволить універсалізувати видовищні зали.

Основна частина

Етапи розвитку науки про проектування акустичного середовища видовищних споруд умовно можна розділити на кілька періодів. Античний період характеризується як правило відкритими театрами, максимальним наближенням слухачів до джерела. Відбиваючим екраном для підсилення звуку була стіна за сценою, що недостатньо підсилювало звук за рахунок перших відбиттів. Так, ще до кінця XIX сторіччя, коли почався активний розвиток театрального та концертного мистецтва, архітектори не використовували для підсилення звуку відбиваючі екрани, використовуючи грецький та римський принципи акустики по прямому розповсюдженню звуку від джерела до слухачів, часто за допомогою рупорів. Далі, починаючи з XVIII сторіччя, під час зростаючої потреби в видовищних закритих залах, спочатку використовували не зовсім пристосовані для концертів зали, а вже з XIX сторіччя почалось цільове будівництво видовищних споруд та стрімкий розвиток акустичного проектування. Перший концертний зал датується 1748 роком; коли на границі XVIII и XIX сторіч пройшли революційні зміни в соціальних обставинах концерта, що перетворило його к середині XIX сторіччя в загальнодоступне музикальне явище практично сучасних часів. За сторіччя між 1840 и 1940 роками остаточно склався набір необхідних елементів архітектурної мови, набір форм, достатніх для побудови практично будь-якого видовищного залу, які практично не змінилися за наступні 70 років.

Створення закритого театру дозволяє архітектору більш суттєво впливати на його акустику у замкнутому приміщенні. Крім прямого звуку (який звучить безпосередньо від джерела) виникають звукові відбиття від внутрішніх поверхонь. Вони створюють процес реверберації у приміщенні, що істотно залежить від геометрії й обробки залу.

На стику століть відбулося остаточно розділення професії музиканта на самостійні вільні професії – композитора, виконавця і диригента. Музика входить в число «високих мистецтв», музичні спільноти різко професіоналізуються. Так, якщо в Товаристві любителів музики Оксфорда (1745) з 30 постійних членів тільки п'ять були професійними музикантами-педагогами, то в 1813 році Філармонічне товариство Лондона було створено як професіоналами, так і аматорами, а далі, Нью-йоркське Філармонічне

товариство, створене у 1842-му, було вже повністю професійним. Створюються професійні оркестри в Гарварді (1808), Цюріху (1818), Гамбурзі та Парижі (1828), Зальцбурзі (1841), Відні (1842). Стають повністю професійними оркестри у Франкфурті (1808), Лейпцигу (1820-і).

Найважливішим джерелом професійних кадрів стали консерваторії нового типу (до цього моменту консерваторіями називалися виховні заклади з музичним ухилом, з початку XIX століття вони принципово змінили своє призначення). Такі консерваторії відкрились в Парижі (відкрита в 1796), Мілані (1807), Відні (1819), Лондоні (1822), Гаазі (1826), Брюсселі (1826), Женеві (1835), Лейпцигу (1843).

У 1877-78 роках виходить друком двотомна «Теорія звуку» лорда Релея (Дж.У.Стретт) [3], яка звела в єдину систему ряд найважливіших теоретичних і експериментальних досліджень попередніх ста років з різних областей фізики і математики. Книга миттєво стала настільною як серед представників теоретичної фізики, так і серед інженерів-будівельників, для яких найбільш важливим застосуванням нової науки було зменшення шуму в будівлях і розробка нових ефективних технічних методів акустичної ізоляції. По суті, основним значенням цієї праці стало те, що вперше було запропоновано комплекс конкретних методів оцінки і розрахунку акустики концертного залу ще на стадії його проектування.

І все ж XIX сторіччя характерно багатоярусними театрами оперного типу, де в основному використовувались пряму звуку від джерела к слухачу.

XX сторіччя принесло нові тенденції проектування акустики залів. Так, зал Radio City Music Hall (Нью-Йорк), місткістю 5933человека, побудований архітектором Е. Д. Стоун, за участю Д. Дески в 1932 році, розташований на 10-11 поверхи в хмарочосі «Рокфеллер-центру». Дев'ять перших поверхів зайняті звукозаписними студіями і радіостудіями. Радіо-Сіті являє собою величезний багатофункціональний зал, в якому зібрані всі новітні досягнення архітектурної акустики. Серед новітніх для того часу архітектурно-акустичних рішень Радіо-Сіті звертають на себе увагу, по-перше, сегментовані стіни з рухомими сходами, які відіграють роль регульованих акустичних дзеркал, а по-друге, сегментований ступінчастий склепінчаста акустична стеля з регульованими консольними акустичними екранами. По-третє, для поліпшення звукоізоляції застосовані акустичні порожнини між архітектурним і акустичним стелями. Зал має складну подвійну сегментно-еліпсоподібну форму з трьома ярусами консольних балконів.

Починаючи з середини ХХ сторіччя, акустична наука ставить перед архітекторами умови проектування, завдяки яким змінюється форма залів та удосконалюються методи передачі та підсилення звука.

Для універсалізації акустичних властивостей зала використовують трансформовані зали. Природня акустика залів для музикальних концертів чи аудиторій з мовним звучанням потребують різні властивості відбиваючих поверхонь або часу реверберації. При зменшенні кількості слухачів в залі необхідно зменшити об'єм залу, що можна зробити за рахунок опускання відбиваючих екранів стелі або стін, перенаправити звукові відбиття на існуючих слухачів. Зменшення часу реверберації можливо як за рахунок зменшення об'єму залу, так і підвищенням звукопоглинаючих можливостей поверхонь. Таким чином, для вирішення акустичних питань для універсальних залів використовують такі засоби трансформації як рухомі відбиваючі екрани, змінний об'єм зала, перемінний час реверберації, трансформація сценічного простору, трансформація положення глядацьких місць та зміна місткості залу.

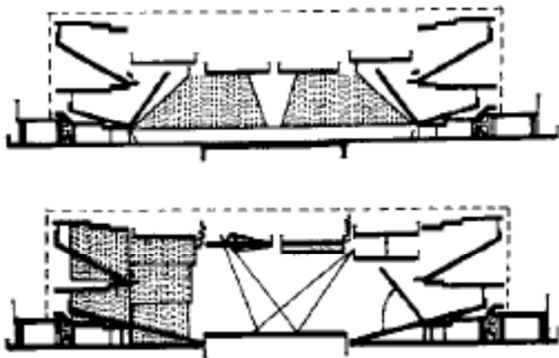


Рисунок 1. Палац Республіки в Берліні. Вертикальна трансформація залу.

Виходячи з розглянутих прикладів можна зробити наступні висновки. В другій половині ХХ сторіччя та в ХХІ сторіччі людство відмовилось від облаштування залів за принципом прямого звуку від джерела до слухача, як будували в часи греків та римлян, а також відмовились від традиційного в ХVІІІ-ХІХ сторіччях принципу багатоярусних театрів з найближчим шляхом від сцени до глядацьких місць. Сучасні архітектори не обмежують себе в виборі форм залів. Головною задачею інженера-акустика з точки зору забезпечення звуком слухачів, вибрати необхідне розташування, форму та кількість відбиваючих екранів, не змінюючи задумку архітектора.

Таким чином, простежується тенденція в розвитку способів природнього підсилення звуку за

рахунок перенаправлення відбитої звукової енергії на слухачів.

Сучасні архітектурні рішення видовищних споруд передбачають використання складних форм оздоблюючих конструкцій залів. Так, опера в Гуанчжоу, спроектована Захой Хадид ілюструє саме такий приклад (рис.2)



Рисунок 2. Опера в Гуанчжоу, арх..Заха Хадид.

Для проектування складних форм відбиваючих екранів необхідно дослідити властивості відбиваючих поверхонь.

Запропоновано [6] розділити відбиваючі поверхні по типу поверхонь нормалей до їх твірних. Так, виникає п'ять основних типів поверхонь з поверхнями нормалей вздовж їх твірних у вигляді площини паралельних прямих, гіпара, плоского пучка прямих, кругового конуса та поверхні 4-го порядку. В границях свого типу ці поверхні взаємозамінні вздовж своїх твірних, тобто, завдяки наведеній систематизації можна вирішити зворотню задачу побудови відбиваючого екрана по відомим поверхням нормалей та відбитих променів.

Перший тип (рис.3), для якого поверхнями нормалей до твірних є площини, цікавий тим, що до нього відносяться розгортні лінійчаті поверхні, які можна використовувати як трансформовані. За допомогою такої трансформації форми можна змінювати акустичні характеристики залу, концентрувати або розсіювати звук, перенаправляти в інше місце або на інші екрани для використання других відбиттів для підсилення звуку. До відбиваючих поверхонь першої групи відносяться площина, циліндричні поверхні, конус, торс.

Окрім відомих поверхонь, до першого типу можна віднести також такі екзотичні поверхні, як циліндрична поверхня з ланцюгової лінії, спіралі Архімеда, гіперболи, параболи, лемніскатний [9] циліндр і таке інше.

Разом з першим типом чотири останні теж можна використовувати у трансформації, але це буде

трансформація в першу чергу у зміні положення. Зміна положення екранів в просторі дозволяє змінювати ревербераційні характеристики залів, їх призначення, що робить зали багатофункціональними. Зміна положення також може регулювати область опромінення.

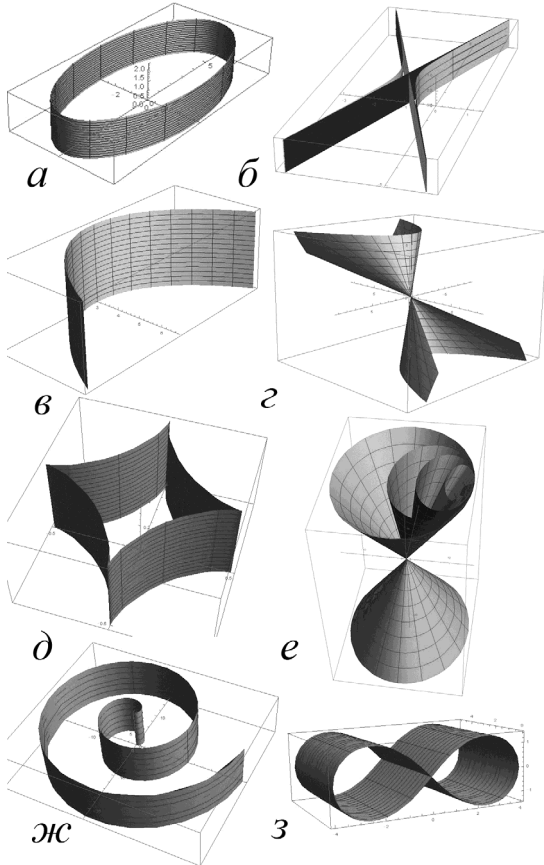


Рисунок 3. Поверхні першого типу. а-еліптичний циліндр, б-гіперболічний циліндр, в-ланцюгова циліндрична поверхня, г-параболічна конусна поверхня, д-астроїдальна циліндрична поверхня, е-конуси загального вигляду, які стикаються по прямолінійній твірній, ж- пряма циліндрична поверхня з напрямною Спіраллю Архімеда, з-лемніскатний циліндр.

До другого типу поверхонь відносяться поверхні з нормаллями у вигляді гіперболічних параболоїдів. Такими поверхнями є лінійчаті косі поверхні.

Третій тип цікавий своїм різноманіттям. До нього відносяться поверхні обертання. В джерелі [9] наведено великий перелік алгебраїчних поверхонь обертання з рівняннями та основними характеристиками.

До четвертого типу відносяться поверхні з плоскими пучками нормалей вздовж їх твірних. Це різні поверхні, трубчаті та окремі випадки поверхонь з інших груп.

П'ятий тип це поверхні другого порядку загального виду, вздовж криволінійних твірних яких створюються поверхні нормалей 4-го порядку.

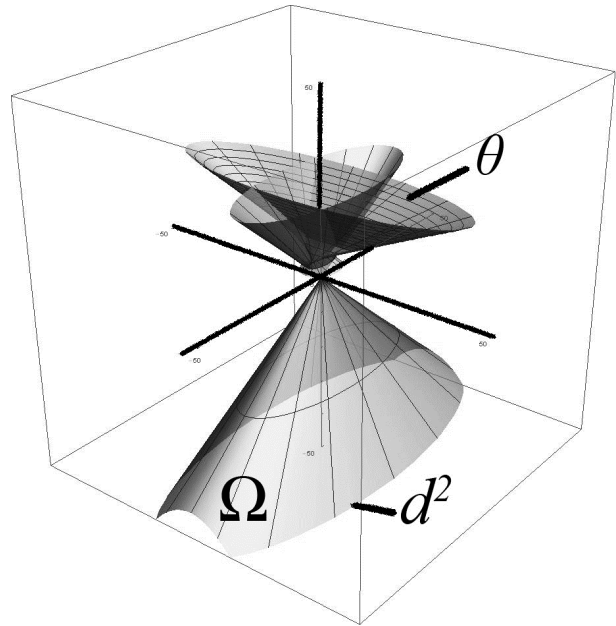


Рисунок 4. Поверхня нормалей 4-го порядку θ вздовж твірного еліпса конуса 2-го порядку загального виду Ω .

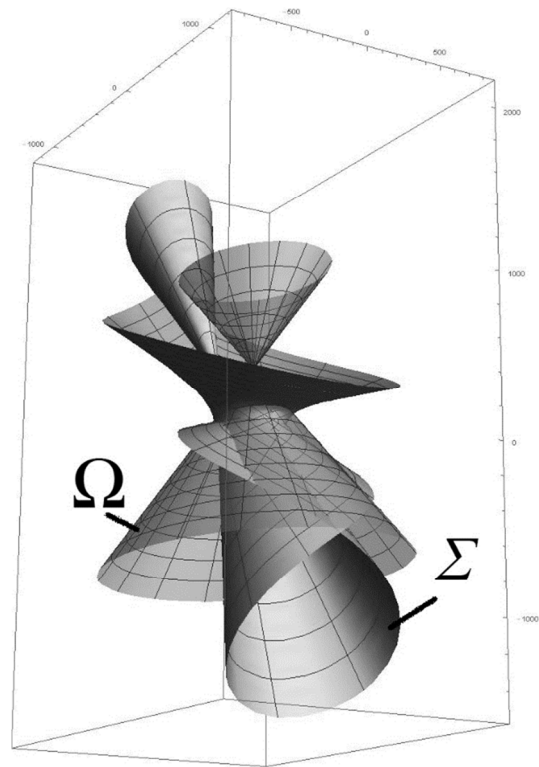


Рисунок 5. Поверхня Σ відбитих променів від твірного еліпса конуса 2-го порядку загального виду Ω .

При побудові відбиттів від твірних перелічених поверхонь створюються поверхні відбитих променів, що дозволяє взаємозамінити, в рамках типів, відбиваючі поверхні вздовж їх твірних. Таким чином вирішується зворотня задача знаходження відбиваючої поверхні при відомих характеристиках залу, твірної та відбиттів.

Література

1. Подгорный А.Л. Поверхности отражённых лучей // Прикладная геометрия и инженерная графика. Вып. 20. –К.: Будівельник, 1975. – С.13 -16.
2. Підгорний О.Л. Возможности использования торсовых поверхностей в качестве відбивачів сонячних променів.// Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К.: КНУБА, 2008. Вип. 80. – С. 11-15.
3. Обухова В.С. Конструктивні способи утворення алгебраїчних торсів 4-го класу./ Обухова В.С., Підгорний О.Л.//Прикладна геометрія та інженерна графіка. Вип.4, т.11.-Мелітополь:ТДАТА 2000.-122с.
4. Підгорний О.Л. Моделирование ланцюжків прямих, відбитих, заломлених та дифрагуючих випромінювань на основі об'єднання хвильового та променевого трактувань розповсюдження коливань. //Геометричне та комп'ютерне моделювання., Харків, 2004, Випуск 4, стор.20-31.
5. Козак Ю.В., Исследование отражающих поверхностей высших порядков в приложении к акустическому расчету помещений. Тези доповідей наукової кримської конференції, Сімферополь, 2005, С.9-12.
6. Козак Ю.В., Дослідження поверхонь нормалей як засіб систематизації поверхонь відбиття// Енергоефективність в будівництві та архітектурі.Вип.5.-К.:КНУБА, 2013.-с.66-69.
7. Підгорний О.Л. Відбиття від ортотоміки при паралельних падаючих променях/ Підгорний О.Л., Дворецький О.Т. //Праці ТДАТА. 2002.-Вип.4.том15.-С.9-15.
8. Подгорный А.Л. Алгоритм автоматизированного проектирования звукового комфорта зрелищных помещений./ Подгорный А.Л., Высоцкий А.Н., Лунев Г.В., Мартиросов А.Л. // Прикладная геометрия и инженерная графика. Вып. 11. –К.: Будівельник, 1970. –С.10-13.
9. Кривошапко С.Н., Иванов В.Н. Энциклопедия аналитических поверхностей.-М., Книжный дом «Либроком», 2009. 556стр.

Стаття надійшла в редколегію 06.04.17

Рецензент: д.т.н., проф. В. О. Плоский, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Козак Юрий Валентинович

Старший преподаватель кафедры архитектурных конструкций
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

ПУТИ ЭКОНОМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ АКУСТИКИ ЗАЛОВ ЗА СЧЕТ МАКСИМАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТРАЖЕННОЙ ЭНЕРГИИ ЗВУКОВ

Аннотация. История архитектурной акустики свидетельствует о тенденции развития методов проектирования отражений для усиления звука зрелищных и культовых залов, благодаря чему в современной акустической среде средства естественного усиления звука в виде отражающих экранов без использования звукоусиливающей аппаратуры направляют отражения на слушателей. Использование поверхностей 2-го и высших порядков в качестве отражающих экранов и их трансформация позволяют проектировать современные залы со сложными формами внутренних поверхностей и проводить акустический расчет отражений от них.

Ключевые слова: акустика; поверхности 2-го и высших порядков; трансформированные отражающие экраны; поверхность отраженных лучей

Kozak Yurii V.

Chair of Architectural Constructions
Kiev National University of Construction and Architecture

WAYS OF ECONOMY DESIGN OF HALLS ACOUSTICS USING REFLECTED SOUND ENERGY

Abstract. History of architectural acoustics shows the trend to design reflections for reinforcement of reflected sound. Modern architectural acoustics uses reflected screens without amplification system for aim of electricity economy. Using surfaces of 2-nd and higher order as reflecting screens and their transformations allows to design modern halls with complex forms and make acoustical design of reflections from these screens.

Keywords: acoustics; surfaces of 2-nd and higher order; transformable reflecting screens; surfaces of reflected rays

УДК 697.431:728

Колієнко Володимир Анатолійович*Кандидат технічних наук, доцент кафедри теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики.**ORCID: 0000-0001-5423-3043**Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава***Колієнко Анатолій Григорович***Кандидат технічних наук, професор кафедри теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики.**ORCID: 0000-0001-9785-3103**Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава***ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ВИТРАТ ТЕПЛОТИ НА ПОТРЕБИ
ОПАЛЕННЯ І ВЕНТИЛЯЦІЇ**

Анотація. Розглядаються методики визначення тепловитрат і загальні засади розрахунку теплового навантаження для систем опалення і вентиляції житлових і громадських будинків. Дані рекомендації з оптимізації розрахунків. Виконано аналіз результатів експериментальних досліджень з визначення теплового потоку через огороження.

Ключові слова: огорожуючі конструкції; тепловитрати; кількість теплоти; термічний опір; опалення і вентиляція

Постановка проблеми

У зв'язку з підвищенням вартості енергоносіїв, що призводить до підвищення тарифів на комунальні потреби, гостро постає питання щодо зменшення витрат теплової енергії. Тому важливим є питання визначення розрахункових витрат теплоти житловими будинками та громадськими будівлями.

Постановка проблеми. Визначення витрат енергії на потреби опалення і вентиляції є одним із основних елементів розрахунків інженерних систем будівель, а також визначення їх енерговитратності. Важливу роль відіграють такі розрахунки також при виконанні енергетичних аудитів будівель.

Аналіз найближчих технічних рішень

З визначення потреби будівлі в енергії починаються такі важливі теплотехнічні розрахунки, як призначення теплової потужності джерел теплоти, визначення теплового навантаження і розрахункових витрат води в інженерних системах. Розрахункові методи визначення витрат теплоти лежать в основі призначення розміру платежів за витрачену теплову енергію за відсутності вузлів обліку теплоти у будинках. Тарифна політика в області теплопостачання також базується на розрахункових методах визначення витрат теплоти на потреби опалення, вентиляції і гаряче водопостачання. Саме тому коректність таких розрахунків повинна бути достатньо високою.

Виклад основного матеріалу

Вимоги нормативної документації щодо визначення витрат енергії на основні потреби будівель такі:

1. Згідно з [8] теплові потоки на опалення, вентиляцію і гаряче водопостачання повинні відповідати проектній та конструкторській документації, але сама методика визначення витрат теплоти не наводиться.

2. В [9] вказано, що розрахункові витрати теплоти повинні визначатись згідно з будівельними нормами і правилами без їх конкретизації.

3. В [10] зазначено, що теплове навантаження системи опалення слід визначати згідно з ДСТУ Б EN 12831».

4. Нормативний документ [1], яким послуговуються підприємства Теплоенерго пропонує скористатись проектною документацією для будівлі. А за її відсутності максимальний тепловий потік на потреби опалення громадських будівель пропонується визначати за залежністю (1):

$$Q_{o\max} = V_3 \cdot q_0 \cdot (t_6 - t_3) / 3600, \text{ кВт}, \quad (1)$$

де V_3 – об'єм будівлі по зовнішнім обмірам; q_0 – питома опалювальна характеристика будівлі, $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C})$; t_6, t_3 – температура повітря всередині та ззовні приміщення, $^\circ\text{C}$.

В основу такої залежності покладено питому опалювальну характеристику q_0 на 1 м^3 об'єму громадських будівлі за зовнішнім обмірюванням.

Величини питомих опалювальних характеристик для житлових будинків включають в себе і теплове навантаження на природню вентиляцію-інфільтрацію) і наведені в таблицях залежно від об'єму опалювальних будівель, року забудови і призначення будівель [1]. Розрахункове навантаження на вентиляцію громадських будівель визначається за аналогічною залежністю, відповідно, за величиною питомої вентиляційної характеристики – q_v .

Таким чином доводиться констатувати, що на існуючий стан єдина методика визначення теплового навантаження будинків на потреби опалення і вентиляції нормативно не регламентована.

В таких умовах втрати теплоти через зовнішні прозори і непрозори огороження можуть бути визначені за класичною методикою визначення трансмісійних втрат теплоти з використанням коефіцієнта теплопередачі для огорожень, їх площі і перепаду температур зовнішнього і внутрішнього повітря. Невизначеним на сьогоднішній день є порядок використання коефіцієнтів, які враховували додаткові втрати теплоти через огороження [2]. Такі додаткові втрати призначали для зовнішніх огорожень за сторонами горизонту (крім південної, південно-західної і південно-східної орієнтації); для двох зовнішніх огорожень, для зовнішніх дверей (залежно від їх конструкції), на висоту приміщень (більшу за 4 м).

У якості розрахункової величини температури зовнішнього повітря у холодний період року слід приймати температуру зовнішнього повітря для найбільш холодної п'ятиденки забезпеченістю 0,92 (для розрахунку систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря у холодний період року) [10]. Розрахункові параметри внутрішнього повітря приймаються згідно з вимогами [4] або [5].

Приведений опір теплопередачі зовнішніх огорожень при цьому не повинен бути меншим за нормовані значення мінімально допустимого опору теплопередачі, величина якого залежить від року забудови будівель [6].

Звертаємо увагу читача на існування ще однієї (спрощеної) методики визначення розрахункових витрат теплоти на потреби опалення для будівель різноманітного призначення за спрощеною методикою М.С. Єрмолаєва [3]. Згідно із такою методикою втрати теплоти в цілому по будівлі пропонується визначати за залежністю виду:

$$Q = aV_3 \cdot q(t_e - t_3), \quad (2)$$

де a – коефіцієнт, що враховує район будівництва ($a = 0,54 + 22 / (t_e - t_3)$); V_3 – об'єм будівлі по

зовнішнім обмірам; q – питома опалювальна характеристика будівлі, Вт/(м³·°C); t_e , t_3 – температура повітря всередині та ззовні приміщення, °C.

Для споруд різноманітного призначення питома опалювання характеристика може бути розрахована за залежністю:

$$q = \left[\frac{P}{S} (k_{z.cm.} + d(k_{вік.} - k_{z.cm.})) + \frac{1}{h} (0,9 \cdot k_{пер.} + 0,6 \cdot k_{нидв.}) \right], \quad (3)$$

де S – площа будівлі в плані, м²; P – периметр будівлі, м; $k_{z.cm.}$, $k_{вік.}$, $k_{пер.}$, $k_{нидв.}$ – коефіцієнти теплопередачі зовнішніх стін, вікон, перекриття горища і перекриття над підвалом відповідно, Вт/(м²·°C).

Відмінністю такої спрощеної методики від першої є можливість урахування дійсних площ поверхонь прозорих і непрозорих огорожень, а також їх теплозахисних характеристик. Витрати теплоти на вентиляцію будівель зазначеною методикою не враховані, їх необхідно обчислювати окремо.

На існуючий стан залишається невизначеною методика обрахунку тепло надходжень в громадських будинках, які необхідно урахувати при визначенні навантаження на системи опалення. Правило вже скасованого СНиП 2.04.05-91* «Отопление, вентиляция и кондиционирование» про можливість використання укрупненого показника тепло надходжень у 10 Вт на 1 м² опалювальної площі уже не діє, а інші правила розрахунку не введені.

Є також питання і до урахування впливу показника теплової інерції огорожувальних конструкцій D на результати визначення теплового навантаження. Особливої актуальності це питання набуває з огляду на поширеність легких огорожень із значною товщиною теплової ізоляції.

Так до прийняття нових норм теплозахисту передбачалось таке визначення показника теплової інерції D огорожувальних конструкцій [11]:

$$D = R_1 S_1 + R_2 S_2 + \dots + R_n S_n, \quad (4)$$

де R_1, R_2, R_n – термічний опір шарів огорожувальної конструкції (м²·°C)/Вт;

S_1, S_2, S_n – коефіцієнти теплосасвоєння матеріалів окремих шарів конструкції Вт/(м²·°C).

В таблиці 1 подані результати розрахунку показника інерції для найбільш поширених сучасних огорожень.

Раніше, залежно від величини теплової інерції D , приймали значення розрахункової температури зовнішнього повітря [11]. Так для величин D до 1,5 температура призначалась рівною середній температурі найбільш холодної доби із

забезпеченістю 0,98, для D=1,5-4,0 теж сааме із забезпеченістю 0,92. Для огорожень з показником D=4-7 приймалась температура найбільш холодних

трьох діб, і лише у разі D більше за 7 приймалась температура найбільш холодної п'ятиденки із забезпеченістю 0,92.

Таблиця 1 -- Показник теплової інерції огорожень з нормованою величиною опору теплопередачі (1-а температурна зона) [6]

№	Опис конструкції огороження	Товщина огороження, м	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·°С)	Опір теплопровідності	Коефіцієнт теплозасвоєння	Показник теплової інерції
Зовнішня стінка						
1	Тинькування	0,01	0,76	0,013	9,6	0,125
2	Цегляна кладка	0,37	0,7	0,529	9,2	4,87
3	Пінополіуретан	0,15	0,04	3,75	0,4	1,5
Усього						6,4
Перекрыття						
1	Залізобетонна панель	0,22	-	0,173	17,98	3,11
2	Пінополіуретан	0,15	0,04	3,75	0,4	1,5
3	Руберойд	0,003	0,17	0,018	3,53	0,062
Усього						4,7

Таким чином враховувалась інерційність огорожень і їх спроможність швидше чи повільніше змінювати температуру по товщині, на внутрішній поверхні і впливати тим самим на внутрішню температуру повітря приміщення в періоди різкої зміни температури зовнішнього повітря і нестационарного процесу теплопередачі через огороження.

Методика з використанням питомої опалювальної характеристики будівлі q_0 [1], частково дозволяє врахувати теплову інерційність, оскільки питомий показник залежить від об'єму будівлі, отже від об'єму повітря у ньому.

Згідно з вимогами ДСТУ Б EN ISO 13790:2011 загальна потреба в енергії для опалення і вентиляції Q_{Hnd} визначається за залежністю (5) :

$$Q_{Hnd} = Q_{Hht} - \eta_{Hgn} \cdot Q_{Hgn} \quad (5)$$

де $Q_{Hgn} = \Sigma Q_{надх}$ – загальні теплонадходження від сонячної радіації та інших внутрішніх джерел теплоти у будівлі: обладнання, трубопроводи, люди і т.д.;

η_{Hgn} – утилізаційний фактор для теплонадходжень, який залежить від теплоємності будівлі або співвідношення між надходженням і втратами теплоти (Q_{Hgn}/Q_{Hht}), де Q_{Hht} – втрати теплоти у будівлі, кВт·год.

Повне рівняння теплового балансу для систем опалення на ввіді теплоносія до житлового будинку

пропонується записати у вигляді (6):

$$[(Q_{транс.} + Q_{інф.}) + \Sigma \Delta Q_{emp}] - \eta_{Hgn} [Q_{св}^{mp} + (Q_{вент}^{mp} + Q_{вент}) + Q_{осв.} + Q_{сон.} + Q_{ел.обл.} + Q_{техн.} + Q_{люд.} + Q_{иниц}] = (Q_o + Q_v), \quad (6)$$

де $Q_{он.}$ – витрати теплоти які надходять до будинку із теплових мереж або від власного джерела теплоти для забезпечення потреби у опаленні (витрати на опалення будинку);

Q_v – витрати теплоти, які надходять до будинку із теплових мереж або від власного джерела теплоти для забезпечення потреби у природній вентиляції (витрати на інфільтрацію);

$Q_{св}^{mp}$ – надходження теплоти від неізольованих трубопроводів системи гарячого водопостачання, прокладених у приміщеннях будівлі (з урахуванням циркуляційних трубопроводів);

$Q_{вент.}^{mp}$ – надходження теплоти від неізольованих повітропроводів та обладнання системи вентиляції і кондиціонування повітря;

$Q_{вент.}$ – надходження теплоти з повітрям із систем припливної вентиляції або кондиціонування;

$Q_{осв.}$ – надходження теплоти від систем штучного освітлення приміщень будівлі;

$Q_{сон.}$ – надходження теплоти від сонячної радіації через світлопрозорі прорізи і огороження будівлі;

$Q_{ел.обл.}$ – надходження теплоти від електрообладнання при перетворенні механічної і

електричної енергії в теплову;

$Q_{техн.}$ – теплонадходження від нагрітого технологічного обладнання;

$Q_{люд.}$ – теплонадходження від людей;

$Q_{вн.огор.}$ – теплонадходження через огорожувальні конструкції суміжних приміщень (через внутрішні огороження);

$Q_{інші}$ – інші теплонадходження, залежно від призначення будівлі;

$Q_{транс.}$ – втрати теплоти через зовнішні огорожувальні конструкції приміщень (трансмійні втрати теплоти);

$Q_{інф.}$ – втрати теплоти на нагрівання зовнішнього повітря, яке інфільтрується у приміщення будівлі через двері, вікна та інші нещільності в огороженнях будівлі.

$\Sigma Q_{втр.}$ – втрати теплоти в системі теплоспоживання будівлі. До таких втрат теплоти відносяться наступні складові, які як правило не враховуються у вітчизняній нормативній і іншій літературі: втрати енергії при виробленні теплоти, $Q_{ген.оут.}$ (за наявності власних джерел теплоти у будинку); втрат, які виникають у результаті недосконалого обслуговування інженерних систем і відсутності системи енергомоніторингу $Q_{тбм.оут.}$; втрат, які спричинені недосконалістю систем автоматичного управління відпуску теплоти $Q_{ас.оут.}$; втрат енергії в системі розподілу теплоти в

будинку, $Q_{дис.оут.}$ і втрат тепловіддачі опалювальними приладами $Q_{ем.оут.}$

Визначення складових теплового балансу здійснюється розрахунковим методом у ході енергетичного обстеження приміщень будинку.

Таким чином суттєвою відмінністю визначення витрат енергії на потреби опалення і вентиляції будівлі згідно з методикою ДСТУ Б EN ISO 13790:2011 є наступне:

- урахування теплової інерції огорожень і нестационарного теплового режиму будівлі;

- урахування втрат теплоти в системі тепло споживання будівлі.

Для порівняння результатів розрахунків втрат теплоти за різними методиками були виконані обчислення величини розрахункових втрат теплоти навчального корпусу Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка.

Коротка характеристика огорожувальних конструкцій навчального корпусу і результати розрахунків втрат теплоти за класичною методикою визначення трансмісійних втрат теплоти з використанням коефіцієнта теплопередачі для огороження, його площі перепаду температур зовнішнього і внутрішнього повітря подана в таблиці 2.

Результати розрахунків втрат теплоти за різними методиками представлені в таблиці 3.

Таблиця 2-- Характеристики зовнішніх огорожувальних конструкцій навчального корпусу II

Огороження	Орієнтація	Площа	Матеріал	λ , Вт/м ³ К	δ , мм	R, м ² К/Вт
Зовнішні стіни	Пн.	409,8	штукатурка червона цегла повітряний прошарок пустотіла цегла облицювальна плитка	0,87	10	0,011
	Сх.	592,6		0,81	250	0,309
	Пд.	409,6		-	50	0,86
	Зх.	505,75		0,44	120	0,273
Зовнішні світлопрозорі конструкції	Пн.	140,65	-	-	-	0,44
	Сх.	203,38				
	Пд.	140,65				
	Зх.	173,58				
Перекрыття	-	1650,7	Залізобетонна панель	1,086	220	0,173
			Руберойд	0,17	10	0,059
Підлога на ґрунті	I зона	448,31	-	-	-	2,1
	II зона	415,04				4,3
	III зона	368,73				8,6
	IV зона	590,17				14,2

Таблиця 3 -- Порівняння розрахунків витрат теплоти навчального корпусу П

Методика розрахунків	Розрахункові витрати (без урахування вентиляції), кВт	Розрахункові витрати (з урахуванням вентиляції), кВт	Річні витрати (без урахування вентиляції), МВт/ год	Річні витрати (з урахуванням вентиляції), МВт/год
Згідно методики [1] (з теплонадх)	266	346	476	548 (398)
Згідно методики [2] (з теплонадх)	274,36	355,03	495	628 (478)
Згідно методики [3] (з теплонадх)	303,85	384,52	544	677 (522)
Результати приладового обліку теплоти	-	-	-	460

Примітка 1. Витрати теплоти на вентиляцію приймалися за умови кратності повітрообміну у будівлі близько 0,3 ·Vз. Степінь оскління будівлі становить 25%.

Річне надходження теплоти від сонячної радіації до будівлі становить близько 50 МВт, надходження загальна кількість теплоти від людей – близько 100 МВт (розрахункова кількість студентів у корпусі П становить 1670 осіб. Разом із викладачами в корпусі перебуває 1788 осіб). Розрахунок виконано для 780 осіб.

Таким чином, без урахування утилізаційного фактору надходження теплоти в навчальному корпусі П становлять близько 27% від тепловтрат, що суттєво зменшує загальну потребу будівлі в теплоті на опалення і вентиляцію і наближує результат розрахунків до дійсних витрат теплоти, отриманих за результатами приладового обліку у навчальному корпусі.

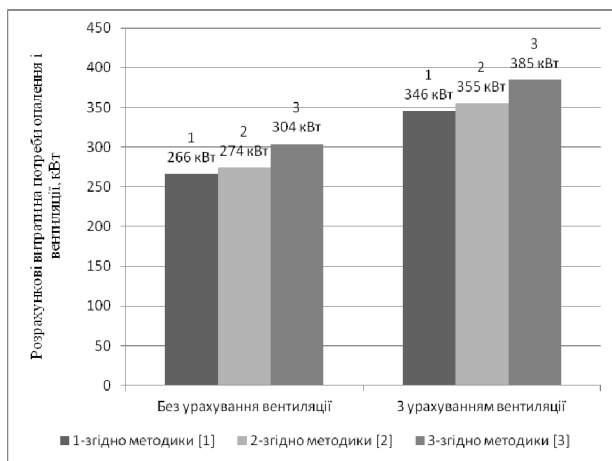


Рисунок 1 – Результати визначення розрахункових витрат теплоти навчальним корпусом за різними методиками

Розподіл втрат теплоти по окремим складовим наведено на рисунку 2.

Загальні розрахункові витрати теплоти корпусом П становлять 355 кВт.

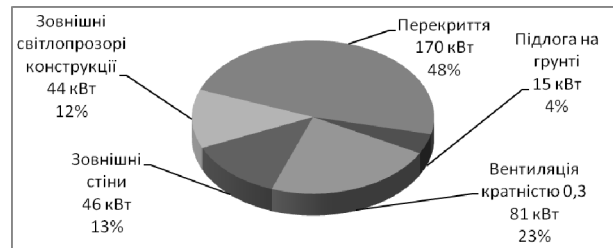


Рисунок 2 – Розподіл втрати теплоти навчального корпусу

Як видно із рисунка 2 основні втрати теплоти у навчальному корпусі П відбуваються через перекриття (до 48 % від загальних втрат теплоти). Це пояснюється низькими теплозахисними характеристиками перекриття, повною відсутністю теплоізоляційного шару у його конструкції. Значними є втрати з інфільтрацією і через вікна.

Порівняння результатів розрахунків за різними методиками показує, що спрощена методика М.С. Єрмоласва дає результат, максимально наближений до класичної методики розрахунку тепловтрат по окремим огороженням. Найменшу величину втрат теплоти отримано за першою методикою [1].

З метою визначення дійної величини щільності теплового потоку через зовнішні огороження навчального корпусу були виконані експериментальні дослідження величини теплового потоку у різних точках зовнішніх стін навчального корпусу. Дослідження виконувались за допомогою вимірювача теплового потоку Темп-3. Температура зовнішнього повітря у період досліджень становила +8 °С. Вимірювання виконувались 0 13 березня 2016 р. у ранні години доби. Температура внутрішнього повітря коливалась залежно від приміщення від 15,5 °С до 20,1 °С. Результати вимірювань теплового потоку засвідчили, що вектори теплових потоків були направлені до поверхні стінки (внутрішньої і зовнішньої) як зі сторони внутрішнього, так і зовнішнього повітря. Щільність теплового потоку, направленою з внутрішньої поверхні стіни становив 13 Вт/ м², а

ззовні 105 Вт/ м². Це дало можливість зробити висновок, що досліджувався нестационарний процес теплопередачі, в якому найнижча температура знаходилась у товщі огороження.

Для визначення величини такої температури і місця розташування зони зустрічі теплових потоків у товщі огороження, відстань від початку розрахункового шару до такої зони позначимо за x . Тоді $(\delta_4 - x)$ – відстань до зони з найнижчою температурою шару стінки по руху від кінця розрахункового шару. Рівняння для визначення такої температури можна записати як у напрямку зовнішнього, так і внутрішнього теплового потоку:

$$\tau_x = t_{\text{вн}} - q_{\text{вн}} \left(\frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + R_{\text{нов}} + \frac{x}{\lambda_4} \right); \quad (7)$$

$$\tau_x = \tau_{\text{зн}} - q_{\text{зн}} \left(\frac{\delta_5}{\lambda_5} + \frac{1-x}{\lambda_4} \right). \quad (8)$$

Прирівнявши формули 7 і 8 за відомих температур внутрішнього повітря і температури на зовнішній поверхні стінки можна визначити відстань до зони найменшої температури. Для умов проведення експерименту вона становила 0,02 м від початку четвертого шару огороження з боку внутрішньої поверхні огороження. Підставивши отримане значення в формулі 7 можна отримати величину температури у товщі огороження. Розрахунки показали, що для умов проведення експерименту вона становить $\tau_x = -0,55$ °C.

Графік розподілу температур по товщині огороження, отриманий за умови заміряних температур на поверхні огорожень представлений на рисунку 3.

Висновки.

1. Відмінності у результатах розрахунків втрат теплоти навчальним корпусом за різними методиками не перевищують 14%.

2. Величина тепло надходжень від сонячної

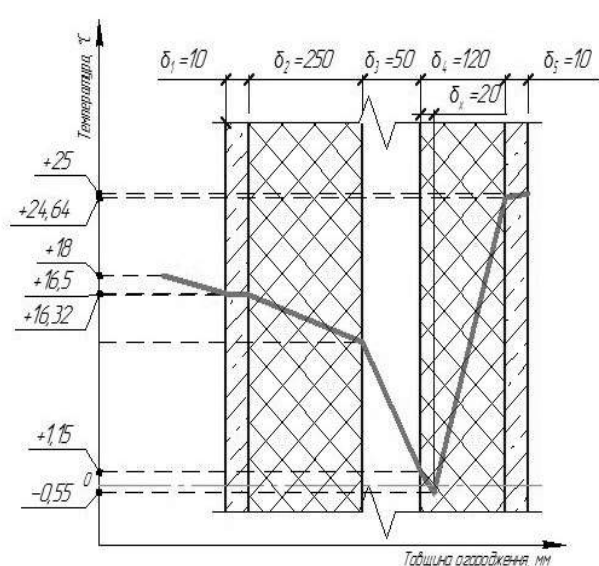


Рисунок 3 - Розподіл температур по товщині огороження

радіації і від людей становить для навчального корпусу становить до 27 % від величини втрат теплоти і потребує обов'язкового врахування при плануванні витрат теплоти.

3. Застосування у будівництві легких огорожень із значною товщиною теплоізоляційного шару приводить до зменшення показника теплової інерції огорожень до величин, які не перевищують величини 5-6, що вимагає перегляду підходів до вибору розрахункової температури зовнішнього повітря.

4. Необхідне коригування методики визначення потреби в теплоті на опалення і вентиляцію шляхом урахування непродуктивних втрат теплоти у системі тепло споживання будівлі а також урахування утилізаційного фактору, який залежить від теплоємності будівлі.

5. Досліджено режим роботи зовнішнього огороження, в якому теплові потоки ззовні і з внутрішньої сторони направлені в товщу огороження.

Література

1. *Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні. КТМ 204 Україна 244-94.* – К.: Віпол, 2001. – 376 с.
2. *Богословский, В.Н. Отопление: учебник для вузов / В.Н. Богословский, А.Н. Сканиви.* – Москва: Стройиздат, 1991. – 736 с.
3. *Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства в двух частях. Часть I. Отопление, водопровод, канализация / В.Н. Богословский, С.Ф. Копьев, Л.Н. Друскин и др.; ред. И.Г. Староверов.* –3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Стройиздат, 1975. – 429 с.
4. *ДБН В.2.2-15-2005. Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення.* –К.: Державний комітет з будівництва та архітектури, 2005. – 26 с.
5. *ДБН В.2.2-9-2009. Будинки і споруди. Громадські будинки та споруди. Основні положення.* – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 49 с.
6. *ДБН В.2.6-31:2016 Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція.* – К.: Міністерство будівництва,

архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. – 41 с.

7. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 123 с.

8. ДБН В.2.5-39:2008 Теплові мережі. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 61 с.

9. ДБН В.2.5. Котельні. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 49 с

10. ДБН В.2.5-67-2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. – К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2013. – 141 с.

11. СНиП II-3-79* Строительная теплотехника. – Москва: НИИСФ Госстроя СССР, 1979. – 39 с.

Стаття надійшла в редколегію 31.03.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Приймак, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Колієнко Володимир Анатольєвич

Кандидат технічних наук, доцент кафедри теплогазоснабження, вентиляції і теплоенергетики. ORCID: 0000-0001-5423-3043

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

Колієнко Анатолій Григорьевич

Кандидат технічних наук, професор кафедри теплогазоснабження, вентиляції і теплоенергетики ORCID: 0000-0001-9785-3103

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССЧЕТНЫХ РАСХОДОВ ТЕПЛОТЫ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ

Аннотация. Рассматриваются методики определения теплотерь и общие принципы расчета тепловой нагрузки для систем отопления и вентиляции жилых и общественных зданий. Даны рекомендации по оптимизации расчетов. Выполнен анализ результатов экспериментальных исследований по определению теплового потока через ограждение. Розглядаються методики визначення тепловтрат і загальні засади розрахунку теплового навантаження для систем опалення і вентиляції житлових і громадських будинків. Дані рекомендації з оптимізації розрахунків. Виконано аналіз результатів експериментальних досліджень з визначення теплового потоку через огородження.

Ключевые слова: ограждающие конструкции; теплотери; количество теплоты; термическое сопротивление; отопление и вентиляция

Koliienko Volodymyr

PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Heat, gas supply, ventilation and heat power engineering, ORCID: 0000-0001-5423-3043

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava

Koliienko Anatoly

PhD, Professor of the Department of Heat, gas supply, ventilation and heat power engineering, ORCID: 0000-0001-9785-3103

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava

Abstract. The methods of determining the heat and general principles for design heat load for the heating and ventilation systems in residential and public buildings. Recommendations for calculations optimization. The analysis of the results of experimental studies to determine the heat flow through the walling. We consider the methodology for determining the heat and general principles of calculating the heat load for the heating and ventilation of residential and public buildings. The analysis of results of experimental studies to determine the heat flow through the walling.

Keywords: walling; heat loss, heat flow; thermal resistance; heating and ventilation

УДК 628.316:546.742

Колодько Антон Олександрович

Аспірант кафедри хімії

Самченко Дмитро Миколайович

Провідний інженер кафедри водопостачання та водовідведення

Кочетов Геннадій Михайлович

Доктор технічних наук, професор, професор кафедри хімії

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА ПЕРЕРОБКА ПРОМИСЛОВИХ СТИЧНИХ ВОД

***Анотація.** Розроблено процес комплексної очистки стічних вод гальванічних виробництв від важких металів методом феритизації. Досліджено фазовий склад отриманих осадів. Показана економічна доцільність застосування електромагнітного імпульсного способу активації розчину для ініціювання процесу феритизації.*

***Ключові слова:** очистка води; феритизація; енергоефективність; електромагнітні імпульси*

Постановка проблеми

Останнім часом значно збільшилися масштаби забруднення довкілля важкими металами, що несуть за собою небезпеку для живих організмів. Тому підвищення екобезпеки за рахунок впровадження енергоефективного очисного обладнання, розробка маловідходних технологій із замкненими системами ресурсообігу є пріоритетним напрямком розвитку сучасної промисловості, і зокрема, гальванотехніки. Останнім часом з метою комплексної переробки стічних вод гальванічних виробництв операції з нанесення певних металічних покриттів намагаються виділити в окрему лінію. При цьому з'являється можливість створення локальних системи очистки води [1, 2].

Очистка стічних вод гальванічних виробництв на більшості вітчизняних підприємств здійснюється традиційними реагентними методами. В результаті із недостатньо очищеними гальваностоками до водних об'єктів щороку потрапляє значна кількість важких металів, зокрема, більше 2 тисяч тон токсичних сполук цінного металу - нікелю. Тому на часі створення ресурсозберігаючої переробки таких стічних вод, яка спрямована на ефективну очистку води з вилученням важких металів.

З огляду на це перспективним для очистки стічних вод лінії нікелювання, які одночасно містять сполуки нікелю і заліза, є метод феритизації [3, 4]. Він дозволяє якісно очистити стічні води від іонів важких металів та органічних сполук дозволяє забезпечити максимальний ступінь очистки без суттєвих витрат реагентів та енергоносіїв [5, 6]. Крім того, з'являється можливість легкого вилучення в

магнітному полі із очищеної стічної води відходів - хімічно стійких феритних осадів.

Відомо, що одним з основних технологічних параметрів процесу феритної очистки стічних вод є значення сумарної концентрації іонів важких металів в розчині (C_{Σ}). Слід також зазначити, що процес феритизації досить енергоємний, оскільки він відбувається, як правило при температурі вище 70 °С. Альтернативою високотемпературній активації процесу феритизацією може слугувати очистка стічної води електромагнітними імпульсними розрядами [7].

Виходячи з цього, **метою цієї роботи** є проведення експериментальних досліджень з визначення впливу енергоощадних способів активації розчинів в процесі феритної очистки стічних вод гальванічних виробництв при різних концентраціях іонів важких металів.

Методика експерименту

В якості робочого розчину для проведення лабораторних експериментів використовували технологічні розчини, які готувались розведенням відпрацьованих електролітів ванн нікелювання одного з провідних авіаційних підприємств України Для здійснення феритизації в ці розчини з додавали сульфат заліза (II) та гідроксиду натрію. Сумарна концентрація іонів важких металів, $C_{\Sigma} = 11,7 - 30,4$ г/дм³ при співвідношенні концентрацій іонів Fe²⁺ та Ni²⁺ $Z = 2$; величина рН = 9,5; тривалість процесу феритизації, $\tau = 15$ хв.

Процес феритизації досліджувався при різних способах активації суспензії та значеннях технологічних параметрів проводився на двох

лабораторних установках. В першій використовувалася термічний спосіб обробки стічної води; її головні робочі елементи - термостат, ТЕН, реостат РПШ-5 і компресор з системою розподілу повітря. В другій установці застосовувалася електромагнітна обробка стічних вод з амплітудою магнітної індукції в робочій зоні 0,23 - 0,43 Тл, діапазоном генеруючих частот до 0,9 кГц і потужністю 30 Вт. Основні елементи цієї установки – реактор, електронний блок-корпус, імпульсатори, компресор з системою розподілу повітря. Процес феритизації при електромагнітній імпульсній активації водних розчинів відбувається при кімнатній температурі. Осад, отриманий після феритизації, ущільнювався протягом 2 хвилин в центрифугу ОПн-8 (УХЛ 4.2) при факторі розділення ($\Phi_r = 3600$). Якість очистки стічних вод контролювали за ступенем її очистки, який розраховувався за формулою:

$$a = (C_{\text{вих.}} - C_{\text{зал.}}) \cdot 100\% / C_{\text{вих.}} \quad (1)$$

$C_{\text{вих.}}$ – вихідна концентрація іонів нікелю у стічній воді, мг/л; $C_{\text{зал.}}$ – залишкова концентрація іонів нікелю у стічній воді, мг/л.

pH розчину вимірювався мілівольтметром рН-150 МА. Залишкові концентрації іонів заліза і нікелю в очищеній стічній воді визначали на атомно-абсорбційному полум'яному спектро-фотометрі «Сатурн-2».

Структурний аналіз отриманих осадів проводили методом порошкової рентгенівської дифракції в покрововому режимі з Cu - K α випромінюванням на дифрактометрі Shimadzu XRD-6000. Дифрактограми розшифровували за допомогою довідкових карт ICCD PDF2+ – 2003 та програмного забезпечення Match V.1.9a.

Кількість спожитої теплової енергії для термічного способу обробки стічної води визначали за формулою:

$$W = C \cdot V \cdot (T_1 - T_2) \quad (2)$$

C - питома теплоємність води; V – об'єм оброблюваної стічної води, м³; T_1 і T_2 – температури вхідної та нагрітої води, °С.

Розрахунок здійснювався з урахуванням ККД для електричного нагріву, який становить 95%. Для електромагнітного імпульсного способу активації води розрахунок виконувався з урахуванням потужності пристроїв, об'єму оброблюваної стічної води і часу проходження процесу феритизації.

Результати та їх обговорення

В процесі феритизації при різних способах активації стічної води в розчині формувалася чорна дисперсна суспензія із наступним утворенням кристалічних осадів, які мають щільну структуру і

невеликий об'єм. Графічні залежності, які відображені на (рис. 1), показують, що підвищення концентрації розчину призводить до збільшення об'єму осаду при різних способах активації суспензії в середньому на 20%. Крім того, вимірювання об'ємів осадів, вказують на ефективність ущільнення осаду, який отримано при термічному та електромагнітному імпульсному способі активації розчину в порівнянні з осадами без додаткової активації в середньому на 6%.

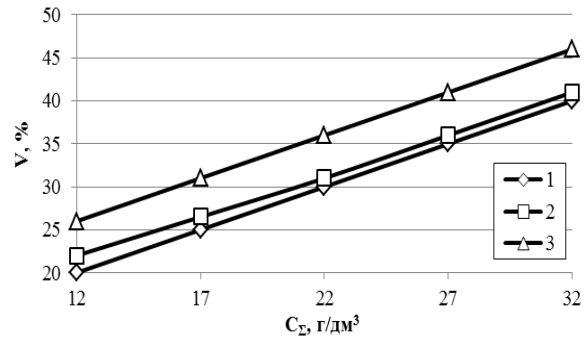


Рисунок 1 – Залежності об'ємів осаду V від концентрації розчину C_{Σ} осадженням центрифугуванням ($\Phi_r = 3600$); активація процесу: 1- термічна; 2- електромагнітна імпульсна; 3 – без додаткової активації

В табл. 1 наведені результати досліджень впливу концентрації іонів важких металів в вихідному розчині та різних способів активації феритизаційного процесу на вміст залишкових концентрацій іонів нікелю та заліза в очищеній воді. Аналіз результатів дослідів (табл. 1) показав високу ефективність використання електромагнітного імпульсного способу активації для очистки стічних вод, які містять іони важких металів, в порівнянні з термічним способом активації і без використання активації процесу. За залишковими концентраціями іонів нікелю та заліза очищена вода відповідає вимогам по скиду в міську каналізацію, або використанню її в оборотній системі водопостачання.

З наявних даних про механізм процесу феритизації, слід очікувати досить складний фазовий склад отриманих осадів, оскільки можуть бути присутні різні модифікації оксидів і оксигідратів заліза, а також так звані частинки фаз, які за своєю природою є феромагнітними, але завдяки малим розмірам мають парамагнітні властивості [8].

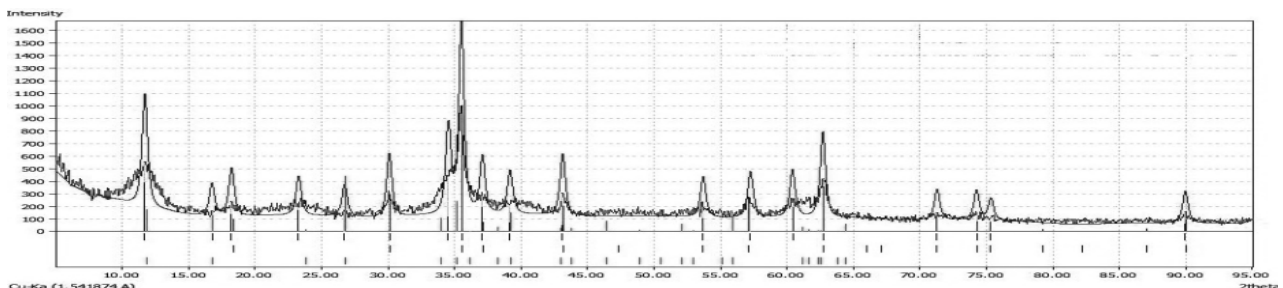
На рентгенограмі зразка осаду (рис. 2 в), який отримано без процесу активації розчину чітко ідентифікуються фази кубічної структури: магнетиту Fe_3O_4 з параметром решітки 8,396 Å і гематиту $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ - 8,339 Å. Крім того, нами визначені піки, які відносяться до фаз оксигідроксидів заліза та нікелю, а саме лепідокрокіту $\gamma\text{-FeO(OH)}$ – 10,48 Å. Ідентифіковані піки фаз NiO , Ni(OH)_2

Результати очистки промислових стічних вод

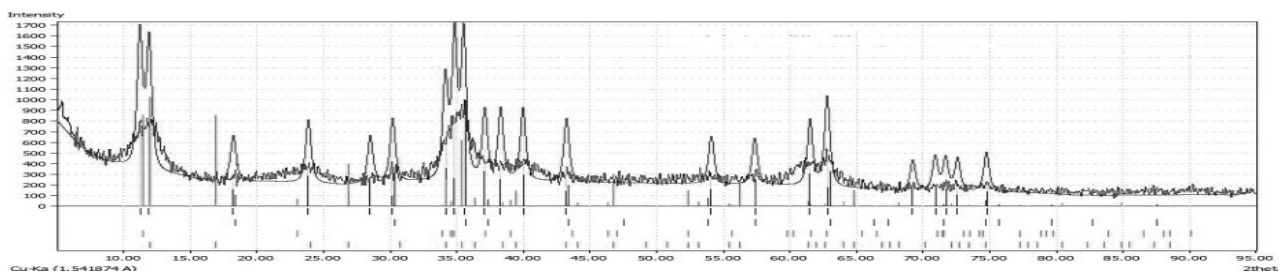
№ досліду	C _Σ , г/дм ³	Іони важких металів	C _{вих.} , мг/дм ³	C _{зал.} , мг/дм ³			
				Спосіб активації процесу феритизації			
				Термічний	Електромагнітно імпульсний	Без додаткової активації	
1	11,7	Fe ^{3ар.}	7800	0,10	0,10	0,10	
		Ni ²⁺	3900	0,36	0,33	0,31	
2	16,8	Fe ^{3ар.}	11200	0,17	0,14	0,10	
		Ni ²⁺	5600	0,45	0,42	0,39	
3	21,5	Fe ^{3ар.}	14380	0,26	0,17	0,10	
		Ni ²⁺	7190	0,52	0,49	0,46	
4	26,1	Fe ^{3ар.}	17440	0,21	0,21	0,11	
		Ni ²⁺	8720	0,58	0,55	0,52	
5	30,4	Fe ^{3ар.}	20270	0,17	0,24	0,12	
		Ni ²⁺	10130	0,63	0,60	0,59	

Рентгенограми зразків, які отримані при термічній та електромагнітній імпульсній активації майже ідентичні. Тому інтерпретація для них проведена як для одного зразку. В цих зразках спостерігається більш високий ступінь кристалічності структури в порівнянні з зразком, що отриманий без активації розчину. При електромагнітній імпульсній активації, крім вказаних вище фаз, ідентифіковано

незначну кількість фази фериту нікелю NiFe₂O₄. При термічній активації уже чітко ідентифікована фаза фериту нікелю зі структурою оберненої шпінелі, що має кубічну структуру з параметром решітки a = 8,339 Å. На рентгенограмі ідентифіковані також піки що належать сполукам Fe₃O₄, γ-Fe₂O₃, γ-FeO(OH), NiO, Ni(OH)₂.



а, б)



в)

Рисунок 2 – Дифрактограми осадів промислових стічних вод при різних способах активації процесу феритизації: а) термічній; б) електромагнітній імпульсній; в) без додаткової активації

На діаграмі (рис. 3) наведено економічну ефективність використання електромагнітного імпульсного способу активації феритної очистки стічних вод гальванічних виробництв в порівнянні з

термічним способом при різних концентраціях розчину. З приведених даних видно, що при очищенні концентрованих розчинів електромагнітний імпульсний спосіб дає можливість

в 15 р. зменшити витрати електроенергії в порівнянні з термічним способом.

Нами також запропоновано можливі шляхи утилізації осадів: використання у виробництві магнітнотривалих феритних осердь, або в якості сировини для виготовлення пігментів, які надають коричневе забарвлення будівельної керамічним виробам [9, 10].

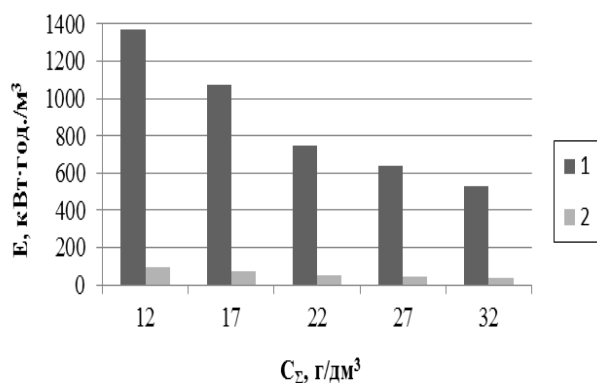


Рисунок 3 – Діаграма електроенергетичних витрат на очистку 1 м^3 (E) при реалізації феритної технології при різних вихідних концентрацій (C_2): 1- термічна активація; 2 - електромагнітна імпульсна активація.

Висновки

Таким чином, проведений аналіз стану новітніх технологій очищення стічних вод від сполук важких металів дозволив оцінити перспективним застосування феритного методу завдяки незаперечним техніко-економічним та екологічним перевагам у порівнянні з реагентним методом.

Отримані експериментальні результати свідчать про те, що визначені нами умови очищення стічних вод від іонів важких металів методом феритизації з використанням електромагнітного імпульсного способу забезпечують високий ступінь очистки стічної води, який дозволяє використовувати її в оборотній системі водопостачання підприємств. При цьому, витрата електроенергії в порівнянні з термічним способом значно зменшується, що дає можливість здешевити дану технологію, а отже зробити її інвестиційно привабливою для підприємств України. Осад, який отримано в результаті очищення стічної води феритним методом, характеризується кристалічною структурою і феромагнітними властивостями. Він легко піддається відокремленню та має високу хімічну стійкість, що дає змогу знайти реальні шляхи його утилізації на відміну від осадів реагентної очистки стічних вод.

Література

1. Доллина Л.Ф. Современная техника и технологии для очистки сточных вод от солей тяжелых металлов: Монография. – Дн-вск.: Континент, 2008. 254 с.
2. Kochetov G., Integrated treatment of rinsing copper-containing wastewater/ G. Kochetov, D. Zorya, J. Grinenko // Civil and Environmental Engineering – 2010. - vol 1, n. 4, pp. 301 – 305
3. Кочетов Г. М. Регенерация тяжелых металлов из промывных сточных вод гальванических производств / Г. М. Кочетов, В. Е. Терновцев, Б. М. Емельянов // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2004. – №1. – С. 35–37.
4. Goldman A. Modern ferrite technology Springer / Pittsburgh, PA, USA, - 2006. – pp. 445 p.
5. Кочетов Г. М. Очистка стічних вод, які містять нікель, феритизацією: вплив електромагнітної обробки / Г. М. Кочетов, А. М. Тугай, Д. М. Самченко, І. В. Затовський // Науково-технічний збірник «Комуніальне господарство міст». – Харків, 2014, Вип. 114. - С.114-117.
6. Tamaura J. Ferrite process: heavy metal ions treatment system / J. Tamaura, T. Katsura, S. Rojaryanont // Water Sci. Technol. – 1991. - 23, pp 399 - 404.
7. Ковалева О. Комбинированная очистка многокомпонентных сточных вод: высокотемпературная гидротермическая ферритизация осадков / Revistă științifică a Universității de Stat din Moldova, 2012, nr.6 (60).
8. Семенов В.В. Очистка гальваносточков с использованием отходов производства / В. В. Семенов, С. И. Варламова, Е. С. Климов // ЭКП, - 2005, № 9, с. 32-34.
9. Емельянов Б.М. Использование отходов гальваники для производства керамических изделий / Б. М. Емельянов, Б. И. Мороз, И. В. Цыльк // М.: ВНИИ ЭСМ, - 1986. - С.3-4.
10. Fefilatyeva O.N. Usage of magnetite for volumetric purification of water from petroleum / O. N. Fefilatyeva, O. P. Khokhotva // Third international students' conference " Environment. Development. Engineering." Krakow.— 2001.— P. 58-61.

Стаття надійшла в редколегію 03.04.17

Колодько Антон Александрович

Аспирант кафедры химии

Самченко Дмитрий Николаевич

Ведущий инженер кафедры водоснабжения и водоотведения

Кочетов Геннадий Михайлович

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры химии

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА ПЕРЕРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННИХ СТОЧНИХ ВОД

***Аннотация.** Разработан процесс комплексной очистки сточных вод гальванических производств от соединений никеля методом ферритизации. Исследован фазовый состав полученных осадков. Показана экономическая целесообразность применения электромагнитного импульсного способа активации при иницировании процесса ферритизации.*

***Ключевые слова:** очистка воды; ферритизация; энергоэффективность; электромагнитные импульсы*

Kolodko Anton

PhD student, Chemical Department

Samchenko Dmitry

Leading engineer of Water Supply Department

Kochetov Gennady

Doctor of technical Sciences, Professor, Professor, Chemical Department

Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kyiv

ENERGY EFFICIENT RECYCLING OF INDUSTRIAL WASTEWATER

***Abstract.** The process of integrated treatment of nickel-containing galvanic wastewater by ferritisation method was developed. The phase composition of obtained precipitates was received. Economic expediency of water electromagnetic pulse activation for initiation of ferritisation process was shown.*

***Keywords:** wastewater treatment; ferritization; energoefficienc; electromagnetic pulse*

УДК 662.997

Кріпак Іван Сергійович*Магістрант КНУБА, факультету інженерних систем і екології.**Київський національний університет будівництва і архітектури. Київ.***Приймак Олександр Вікторович***Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теплотехніки, ORCID: 0000-0002-3081-6057**Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ***АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ТА ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ У ЕНЕРГЕТИЧНОМУ ВІКНІ**

***Анотація.** Метою даної роботи є аналіз існуючих і розробка конструкцій та фізичної моделі теплових процесів енергетичного вікна на основі аналізу літературних джерел та патентних досліджень. Енергетичне вікно крім освітлення простору приміщення має забезпечувати його теплою у холодний період року і холодом в теплий за допомогою теплового насосу з мікрокомпресором. Поєднання енергоефективного вікна з роботою теплового насосу може перетворити світлопрозору конструкцію з найбільш уразливого щодо теплових втрат елемента конструкції огороження - навпаки в енергогенеруючий елемент. Таке вікно може працювати повністю автономно, як звичайний опалювальний прилад.*

***Ключові слова:** *теплота; тепловий потік; розрахунковий період; енергозбереження; енергоефективність; відновлювальна енергія**

Постановка проблеми

Сучасний розвиток суспільства зазнає зростаючого негативного впливу від глобальних енергетичної та екологічної проблем використання існуючих і перспективних теплових технологій, зокрема, у будівельній галузі. Розв'язання зазначених проблем можливе при системному комплексному підході до архітектурно-планувальних та інженерно-конструкторських рішень, зокрема, огорожень, інженерних систем життєзабезпечення, у тому числі, на основі hi-tech і smart- технологій.

Значні втрати виробленої теплової енергії та викиди парникових газів (CO₂) пов'язані з тепловим захистом зовнішніх огорожень будівель та споруд. Віконні прорізи в загальній площі таких огорожень складають значно меншу, у 2-3 рази, величину у порівнянні із стінами і виконують дві основні функції – природне освітлення середовища приміщення та його тепловий захист. У проаналізованих літературних джерелах та охоронних документах удосконалюються конструкції вікон на основі використання новітніх матеріалів, інертних газів, вакуумування, елементів smart-систем і т.д.

Аналіз основних досліджень і публікацій

Теплоізоляційні властивості вікон постійно покращуються одночасно із посиленням жорсткості норм з енергоефективності та енергозбереження будівель. Наприклад, коефіцієнт термічного опору теплопередачі (R) вікна для будівель енергоефективності класу А1 сьогодні складає більше 0,8 м²·К/Вт [1]. Згідно з будівельними нормами,

енергоефективними є вікна, приведений опір теплопередачі яких більший ніж 0,75 м²·К/Вт для І температурної зони (вікна класу А1 та А2) та більше ніж 0,6 м²·К/Вт для ІІ температурної зони (вікна класу А1, А2, Б1, Б2, В1). [3]

Проте цей коефіцієнт має тенденцію до збільшення [4-8]. Таким чином, вікно стало енергозберігаючим елементом огороження будівель і за теплофізичними характеристиками наближається до рівня теплоізолюваної стіни. Це відкриває нові перспективи з покращення енергозбереження, енергоефективності, архітектурно-планувальних і архітектурно-об'ємних рішень інтер'єрів та екстер'єрів, мікроклімату в приміщеннях [10].

Формулювання мети статті

Метою даної статті є розроблення конструкції та фізичної моделі енергетичного вікна на основі аналізу літературних джерел та патентних досліджень.

Енергетичне вікно крім освітлення простору приміщення може забезпечувати його, як теплою у холодний період року, так і холодом в теплий. Такі функції, тепло-холодопостачання, можуть здійснюватись за допомогою теплового насосу. Поєднання енергоефективного вікна з роботою теплового насосу (ТН) може перетворити світлопрозору конструкцію з найбільш уразливого щодо теплових втрат елемента конструкції огороження навпаки в енергогенеруючий елемент, який може працювати автономно. Досягається додатковий економічний ефект через відсутність опалювального приладу, а також соціальний - покращення естетичного вигляду інтер'єру

та зменшення викидів парникових газів (CO₂) через відсутність спалювання органічних палив.

Основна частина

Влітку температура повітря навколишнього середовища часто може бути вищою від температури внутрішнього повітря. Відповідно, густина теплового потоку q , векторна величина, Вт/м², буде направлена із зовні у середину приміщення. При цьому у звичайних світлопрозорих конструкціях спостерігаються такі тепломасообмінні процеси: тепловіддача конвекцією від зовнішнього повітря до скла, переніс теплоти теплопровідністю через товщину скла, тепловіддача конвекцією від внутрішньої поверхні зовнішнього скла до повітря (газу) всередині склопакету. Далі тепловіддачею конвекцією від повітря (газу) в склопакеті до внутрішньої поверхні другого шару скла, теплопровідністю через товщину другого шару внутрішнього скла, і, далі, конвекцією від внутрішньої поверхні другого шару скла до повітря в середині приміщення. При наявності трьох і більше шарів скла, і відповідно, двох і більше повітряних (газових) камер процес тепло масообміну доповнюється відповідним чином. Також у літній період (Рис.1) спостерігається часткове відбивання склом інфрачервоної та ультрафіолетової складових сонячної енергії (СЕ). Незважаючи на це, видима складова СЕ потрапляє до приміщення.



Рис.1. Схема впливу СЕ, зовнішнього повітря на внутрішній мікроклімат через вікно улiтку.

В холодний період року температура повітря навколишнього середовища значно менша від температури внутрішнього повітря, відповідно, густина теплового потоку q направлена з приміщення назовні: спочатку тепловіддачею конвекцією передається від внутрішнього повітря до скла вікна; потім теплопровідністю через товщу внутрішнього скла; далі – тепловіддачею конвекцією від цього скла до повітря (газу) у склопакеті, і, відповідно, від повітря (газу) до внутрішньої поверхні зовнішнього скла, потім теплопровідністю через товщу зовнішнього скла, і, останньою, конвекцією від зовнішньої поверхні зовнішнього скла до зовнішнього повітря. У холодний період року через світлопрозорі огорожуючі конструкції спостерігаються значні втрати теплової енергії. (Рис.2)



Рис.2. Схема впливу СЕ, зовнішнього повітря на внутрішній мікроклімат через вікно взимку.

Запропоновано конструкцію, енергетичного вікна, яка вирізняється поєднанням кращих конструктивних досягнень енергозберігаючого вікна та термотрансформатора. (Рис 3.)

Схема і принцип дії енергетичного вікна

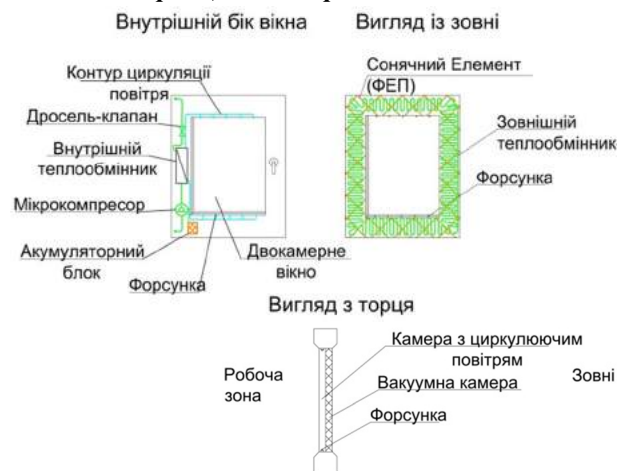


Рис.3. Схема конструкції енергетичного вікна.

Принцип роботи запропонованої конструкції полягає в тому, що в холодний період року тепловий насос, який влаштований в раму енергетичного вікна – має використовувати низькопотенційну теплоту повітря зовнішнього середовища, яка підвищується з допомогою мікрокомпресора ТН за рахунок підвищення тиску, а потім в конденсаторі видає теплоту вищого потенціалу в опалювальний контур енергетичного вікна. Контактною стінкою між приміщенням і теплоносієм має слугувати внутрішній шар скла склопакету.

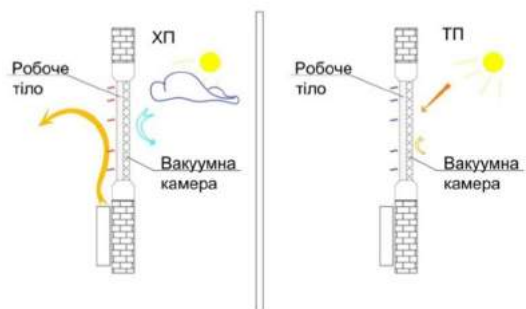


Рис.3. Схема руху теплових потоків від енергетичного вікна.

В теплий період енергетичне вікно має працювати у зворотньому порядку. Тобто в режимі холодильної машини, охолоджуючи обслуговуване приміщення.

Робоче тіло опалювального контуру повітря (газ) в енергетичному вікні повинно рухатись за рахунок сил гравітації, а циркуляція робочого тіла теплонасосно-холодильної машини здійснюється мікрокомпресором. Тобто, в холодний період року, робоче тіло опалювального контуру, забравши теплоту від теплоносія з контуру теплового насосу через теплообмінник (конденсатор), що розташований в бічній частині рами вікна – має стрімко підійматися догори, а потім, втративши теплоту між шарами скла склопакету опускається вниз в бік теплообмінника (конденсатора). Влітку рух теплоносія в контурі теплового насосу і в опалювальному контурі енергетичного вікна відбувається у зворотньому напрямку, тобто, теплоносій, забравши певну кількість теплоти у повітря внутрішнього середовища приміщення через скло – піднімається у склопакеті, а потім рухається до теплообмінника (випарник). Одночасно з цим, в контурі теплового насосу відбувається забір тепла у опалювальному контурі і віддача його в зовнішнє середовище через теплообмінник (випарник).

Проблема тепловтрат назовні вирішується розташуванням другої, зовнішньої, камери між двома шарами скла з вакуумом між ними (Рис 4.).

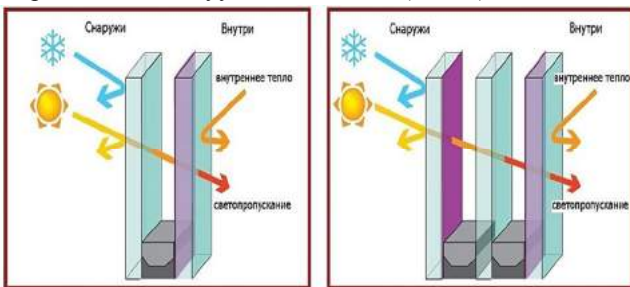


Рис.4. Схема проходження теплових потоків крізь двокамерне і трикамерне вікна.

Зменшення тепловтрат можливе шляхом нанесення надтонкого шару надтонкого срібла на поверхню скла, як це виконано в мультизберігаючому склопакеті [9]. Мультизберігаючий склопакет дає

досить велике значення коефіцієнту термічного опору теплопередачі – 0,94 м²*К/Вт. У порівнянні для двокамерного енергозберігаючого склопакету це число складає 0,72 м²*К/Вт, а для звичайного однокамерного – всього 0,32 м²*К/Вт. Срібло напилюється на ту сторону скла, що знаходиться всередині склопакета, завдяки чому воно стає буквально вічним. Незважаючи на нанесення надтонкого шару срібла на скло – вікно не втрачає своїх світлопрозорих здібностей. Напилення зовсім не видиме для неозброєного ока і не втрачає своїх оптичних властивостей.

Живлення мікрокомпресора електроенергією передбачається здійснювати завдяки фотоелектричним елементом на зовнішній рамі вікна, один м² площі якого здатен забезпечити близько 180-250 Вт*год електроенергії. Мікрокомпресор має споживати до 15 Вт*год. Звичайне одинарне вікно з розмірами зовнішньої поверхні рами 1,3x0,6 м з шириною рами 0,1 м утворює площу 0,38 м² для влаштування фотоелектричного елемента і забезпечить виробництво 70-95 Вт електроенергії. Для забезпечення роботи мікрокомпресора в темну пору доби - необхідно передбачити акумулятор електричної енергії.

Теплову енергію, яку може віддати енергетичне вікно опалювальному приміщенню доцільно розраховувати за наступною формулою

$$Q_{em,in} = Q_{em,out} - k * W_{em,aux} - Q_{em,is}$$

де: $Q_{em,out}$ – теплота на виході з тепловіддавальної складової системи, Дж., рівна корисній тепловій енергії будівлі Q_H (EN ISO 13790);

k – частина додаткової енергії, яку відновлюють;

$Q_{em,is}$ – регулярні тепловтрати, Дж;

$W_{em,aux}$ – додаткова енергія, Дж [2].

Висновки

Запронована конструкція енергетичного вікна технічно можлива для реалізації, проте на даному етапі розвитку матеріалів, робочих тіл, мікрокомпресорів та теплообмінників економічна доцільність її виготовлення є нерентабельною. Проте можливе підвищення ККД даної системи, збільшення коефіцієнту термічного опору конструкції та підвищення тепловіддачі від контактної поверхні скла до внутрішнього повітря.

Література

1. ДСТУ Б В.2.6-23:2009 «Блоки віконні і дверні»
2. ДСТУ Б EN 15316-2-1:2011 «МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕНЕРГОПОТРЕБИ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ» Частина 2-1. «Тепловіддача системою опалення» (EN 15316-2-1:2007, IDT)
3. ДБН В 2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель»
4. Пат. 20041008373 Україна, МПК E06B 5/00. Вікно-теплообмінник / Пономарчук І. А.; заявник і патентовласник – Пономарчук І.А.; заявл. 15.10.2004 ; опубл. 16.05.2005, Бюл. №5

5. Пат. u201008733 Україна, МПК F24J 2/00. Вікно «СОНЯЧНЕ» / Корнаракі О. В.; заявник і патентовласник – Корнаракі О.В.; заявл. 13.07.2010 ; опубл. 10.03.2011, Бюл. №5
6. Пат. u201010933 Україна, МПК E06B 3/66. Вікно зі змінним коефіцієнтом теплопередачі / Строй А.Ф., Піотровські Є.З., Гірман Л.В.; заявник і патентовласник – Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка.; заявл. 13.09.2010 ; опубл. 25.03.2011, Бюл. №6
7. Пат. A200505792 Україна, МПК E06B 3/66. Теплоізоляційне вікно / Вінфілд А. Ф.; заявник і патентовласник – Візінволл корпорейшн.; заявл. 13.11.2002 ; опубл. 15.01.2007, Бюл. №1
8. Пат. A200710628 Україна, МПК H01J 33/00. Герметичне вікно для випуску потоку прискорених частинок з вакуумного об'єму в зовнішнє робоче середовище. / Гурін В.А, Колосенко В.В., Ковпик О.Ф., Корлінов Є.О., Сторов О.М., Саєнко С.Ю., Бірюков О.В.; заявник і патентовласник – Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут»; заявл. 25.09.2007 ; опубл. 10.11.2009, Бюл. №21
9. Виробник світлопрозорих та алюмінієвих конструкцій «Артагруп» - Режим доступу до сайту: <http://artagroup.org/ua/energoberegayuschie-okna>
10. Виробник енергоефективних вікон «Корса» - Режим доступу до сайту: <https://www.korsa.ua/ua/energoefektyvni-vikna-yak-pravylnno-obraty>

Стаття надійшла в редколегію 18.04.17

Крипак Иван Сергеевич

Магистрант КНУСА, факультета инженерных систем и экологии.

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев.

Приймак Александр Викторович

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры теплотехники

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ «ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОКНА»

Аннотация. Целью данной работы является разработка конструкции и физической модели тепловых процессов энергетического окна на основе анализа литературных источников и патентных исследований. Энергетическое окно кроме освещения пространства помещения должно обеспечивать его, как теплотой в холодный период года, так и холодом в теплый с помощью теплового насоса. Сочетание энергоэффективного окна с работой теплового насоса может превратить светопрозрачные конструкции из наиболее уязвимого со стороны тепловых потерь элемента конструкции ограждения - наоборот в энергогенерирующий элемент. Такое окно может работать полностью автономно, заменив при этом обычные отопительные приборы.

Ключевые слова: выделение теплоты; расчетный период; энергосбережение; энергоэффективность; потребление энергии; восстанавливаемая энергия

ANALYSIS OF CONSTRUCTIONS «OF ENERGY WINDOW»

Kripak Ivan Sergiyovych

Undergraduate KNUCA, department of engineering systems and ecology.

Kyive national university of construction and architecture, Kyive.

Priymak Olexander

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the department of Thermal Physics

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Abstract. The aim of this work is to develop design and physical model of thermal processes of energy window that based on an analysis of the literature and patent research. Energy window except light room space should provide it as warmth in the cold season and cold in the warm using the heat pump. The combination of energy-efficient windows with a heat pump can turn translucent fence design element that have the most heat loss - contrary to the energy generating element. This window can operate completely independently, thus replacing conventional heaters.

Keywords: heat release; the billing period; energy demand; energy conservation; energy efficiency; energy; renewable energy

УДК 628.474

Крот Ольга Петрівна*Кандидат технічних наук, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та інженерної екології, докторант, ORCID: 0000-0002-2376-4981**Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків*

ДО АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБЕРТОВИХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ СПАЛЮВАННЯ МУНІЦИПАЛЬНИХ ВІДХОДІВ

***Анотація.** Технологія спалювання муніципальних відходів широко використовується в багатьох країнах. В умовах дефіциту енергоресурсів і високих цін на природний газ і нафтопродукти спалювання відходів є ефективним способом отримання енергії. Сучасні способи очищення викидів дозволяють звести до мінімуму надходження в навколишнє середовище небезпечних викидів. Успішне функціонування процесу спалювання відходів тісно пов'язане з неоднорідністю фізичного складу та хімічними властивостями муніципальних відходів, а також з особливостями механізму горіння. Стаття ілюструє потенціал застосування барабанних обертових печей для спалювання муніципальних відходів. Розглянуто основні джерела втрат тепла. Наведено розрахунок витоку теплоти з печі і запропоновані рішення щодо зниження витрат тепла.*

***Ключові слова:** спалювання; обертова піч; тепловий та масовий баланс; відходи в енергію*

Постановка проблеми

Тверді побутові відходи (ТПВ) – це джерело енергії яке постійно поновлюється і економічно доступне. Сучасні побутові відходи по теплоті згорання можна порівняти з торфом і деякими марками бурого вугілля. Вони утворюються в місцях, де електроенергія найбільш затребувана – в урбанізованих територіях, в яких зростання споживання викликає все більше і більше відходів. Отримання енергії з ТПВ не залежить від природних умов і географічного розташування (на відміну, наприклад, від сонячних, вітрових, приливних або геотермальних установок) і в результаті її експлуатації, крім вироблення енергії, вирішується важливе соціальне завдання – утилізуються відходи, утворені в процесі життєдіяльності людини.

Склад і обсяг ТПВ залежать від багатьох факторів: місцевості, пори року, рівня життя населення країни, тощо. За даними досліджень морфологічного складу, тверді побутові відходи, що утворюються в Харкові, в середньому містять (у відсотках за масою) – в житловій забудові: харчові відходи – 54,07 %, папір та картон – 7,61 %, пластмаса – 7,7 %, скло – 6,3 %, чорні метали – 2,18 %, кольорові метали – 0,23 %; на підприємствах невиробничої сфери: харчові відходи – 22,68 %, папір та картон – 29,84 %, пластмаса – 11,91 %, скло – 10,72 %, чорні метали – 2,7 %, кольорові метали – 2,165 % [1]. З усіх існуючих методів утилізації сміття спалювання забезпечує найвищий ступень

руйнування, а при використанні сучасних технологій очищення викидів оказує мінімальний вплив на навколишнє середовища. При впровадженні технології спалювання муніципальних відходів повинні виконуватися такі рекомендації: використання нових, сучасних методів при проектуванні і експлуатації установок для спалювання відходів (наприклад, попередній підігрів, розрахунок продуктивності для виключення перевантаження, спалювання при температурі не нижче 800 °С і т.д.); використання сортування відходів для максимального зменшення утворення і виділення токсичних речовин в процесі спалювання відходів; постійний контроль і навчання операторів, що здійснюють управління установками для уникнення недоліків, які можуть призвести до погіршення роботи установок для спалювання відходів; застосуванням багатоступінчастої системи очистки газових викидів [2, 3].

Успішне спалювання відходів дозволяє досягти значного зменшення обсягу відходів, отримати компактний і стерильний залишок, усунути широкий спектр забруднюючих речовин, ліквідувати або покращити санітарний стан звалищ.

Аналіз основних досліджень та публікацій

На сьогоднішній день, багато досліджень проведено у напрямку аналізу методів спалювання ТПВ, в яких відзначено, що однією з причин незадовільного управління твердими відходами є

недостатнє і неправильне функціонування обладнання, що використовується для спалювання сміття [4]. Дослідження процесів спалювання відходів різної категорії небезпеки [5] полягають у вивченні поточного стану питання, з метою розв'язання технологічних і екологічних проблем в перспективі. У роботі [6] була проаналізована перспективність комбінованого використання теплової та електричної енергії на існуючих сміттєспалювальних заводах в Мальме і Гетеборзі (Швеція). Також автор [6] провів критичний аналіз впливу ефективності рекуперації енергії на викиди парникових газів. Приведений баланс на основі даних існуючих заводів, а не модель заводу. Авторами [7] була використана модель барабанної печі для виконання аналізу поведінки печі при різних експлуатаційних і конструктивних параметрах, а саме: швидкості потоку відходів, коефіцієнту надлишку повітря, властивостей та товщини вогнетривких матеріалів і ізоляторів.

Розрахунок балансу енергії і маси в печі для спалювання відходів є дуже важливою частиною розробки і оцінки процесу спалювання. Авторами [8] описується комп'ютерна модель, яка використовується для розрахунку балансу енергії і маси обертової печі для спалювання відходів. Розрахунок заснований на припущенні, що існує термодинамічна умова рівноваги в камері згоряння. Були враховані такі основні параметри моделі: теоретична витрата повітря для горіння, кількість надлишкового повітря, необхідного для конкретних випадків горіння, швидкість потоку димового газу і температури на виході.

На сьогоднішній день один із пріоритетних напрямком є енергозбереження – низьке споживання енергії і мінімальні теплові втрати. У роботі [9] були розглянуті втрати тепла і енергії печі через димові гази, дверні отвори, крізь стіни тощо (рис.1). Оптимізація енергоспоживання була розглянута при прокатці сталі необхідною для зниження вартості продукту і конкурентоспроможності ціни, а скорочення питомого споживання енергії є найбільш важливим і найменш витратним підходом до енергозбереження.

Підвищення енергоефективності може бути досягнуто при використанні існуючих промислових печей, за рахунок зниження втрат тепла через викиди димових газів, інфільтрації повітря, екранування стін і випромінювання.

Формулювання мети статті

Метою статті є організація енергоефективного застосування барабаних обертових печей для спалювання сміття. Зниження втрат тепла від обертової печі до мінімально можливих.

Основна частина

Аналізуючи результати проведених досліджень можна зробити такі висновки. По-перше, зміна морфологічного складу ТПВ відображає світову тенденцію, а саме зростання складової полімерів в муніципальних відходах, за рахунок збільшення частки пакувальних матеріалів і зменшення частки харчових відходів.

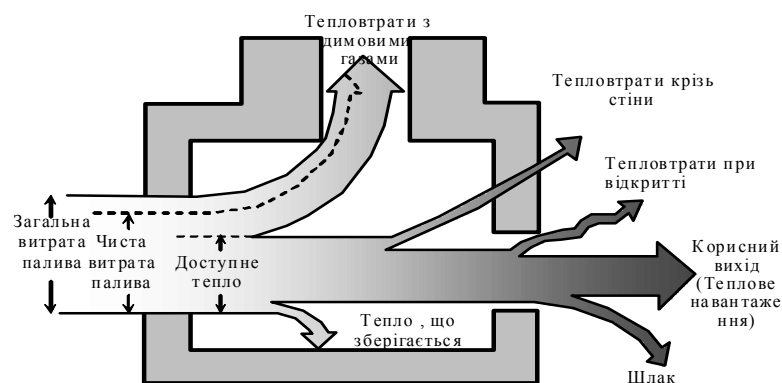


Рисунок 1 – Витрати тепла в стандартному промисловому процесі нагрівання

По-друге, як наслідок – зростання теплотворної здатності ТПВ майже в 2,5 рази порівнює їх до традиційних видів палива. По-третє, навіть муніципальні відходи з максимальним баластом (зола і волога) придатні для самостійного, без використання додаткового палива, спалювання

(наприклад, отримання палива у піролізній печі). Однак практично всі сміттєспалювальні підприємства використовують додаткове паливо. Це пов'язано з необхідністю підігріву камер спалювання до температури 750–850 °С, під час пуску з холодного стану. Сміттєпереробні

підприємства часто є джерелами теплової енергії, і при пікових навантаженнях неможливо покрити всю потужність, використовуючи відходи в якості палива, і доводиться використовувати традиційне висококалорійне паливо (газ або мазут). Для підвищення ефективності спалювання відходів доцільно використовувати сортування. В процесі сортування з маси відходів є можливість видалити негорючу складову: ґрунт і склобій шляхом просіювання; склотару і метал – шляхом ручного відбору. Для зниження вологості відходів їх необхідно підсушувати перед подачею на спалювання. Підсушування відходів можна організувати безпосередньо в камері спалювання, застосовуючи двокамерні печі або печі з ступінчастими колосниковими решітками. При

використанні двохкамерної печі в першій камері йде підсушування відходів газами з подальшою їх подачею в другу камеру, де йде безпосередньо процес спалювання. Але найбільш ефективним в даній ситуації є застосування барабаних обертових печей. У них по довжині барабана йде «самоорганізація» процесу сушіння і спалювання. Крім сортування і підсушування при підготовці відходів до спалювання доцільно застосовувати їх дроблення, це дозволить збільшити площу контакту горючих речовин з повітрям горіння.

Установки для спалювання в обертових печах (рис. 2) є більш універсальними в тому сенсі, що вони можуть бути застосовані для знищення твердих відходів, шламів і відходів в контейнерах, а також рідин.

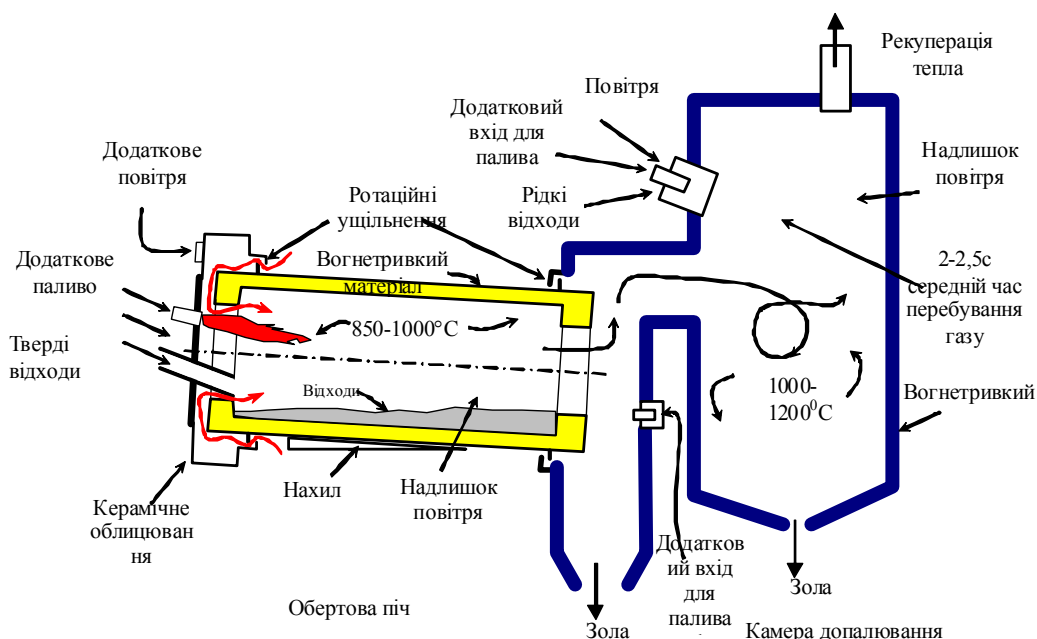


Рисунок 2 – Установки для спалювання муніципальних відходів в обертових печах

Ці пристрої найчастіше включаються в комерційні проекти по спалюванню відходів [10]. Обертова піч являє собою горизонтальну циліндричну оболонку з вогнетривкої футеровкою, встановлену на невеликому схилі, який дозволяє регулювати час перебування відходів у реакційній масі, також передбачено частотне регулювання швидкості обертання барабана. Такі особливості дозволяють знешкоджувати відходи різних механічних фракцій і різноманітного хімічного складу. Обертання корпусу забезпечує транспортування відходів крізь піч, а також поліпшує перемішування спалюваних ТПВ. Час перебування твердих відходів в печі зазвичай становить від 0,5 до 1,5 годин. Це контролюється швидкістю обертання печі (зазвичай від 0,5 до 1,0

оборотів в хвилину), швидкістю подачі відходів і, в деяких випадках, включенням внутрішніх уповільнювачів для зменшення швидкості переміщення відходів крізь піч. Швидкість подачі також, як правило, регулюється, щоб обмежити кількість відходів, що обробляються в печі, до максимуму 20 відсотків від обсягу печі. Основна функція печі - перетворювати тверді відходи в гази, що відбувається в результаті серії летючих процесів, реакцій деструктивної дистиляції та часткового спалювання. Однак для завершення газозафазових реакцій горіння необхідно допалювання. Допалювач з'єднаний безпосередньо з випускним кінцем печі.

Димові гази знаходяться в камері допалювання при температурі 1000÷1200 °С протягом 2÷2,5 с, що забезпечує розкладання і спалювання важких

вуглеводнів, а також СО не менш, ніж на 98 %. Камера допалювання також обладнана дизельним пальником для підтримки заданої температури.

Далі димові гази проходять рекуператор, у якому зовнішнє повітря, подається дуттєвим вентилятором, нагрівається до температури 300÷350 °С. Нагріте повітря подається в барабан печі й у камеру допалювання з регулюванням витрати повітря по вузлах подачі для інтенсифікації процесу горіння й економії дизельного палива.

Найбільший можливий напрямок економії енергії при спалюванні – використання підігрітого повітря. Підігрівання при цьому здійснюються гарячими газами, що відходять від печі з використанням теплообмінників чи рекуператорів. У випадку, коли для спалювання використовується повітря з атмосферною температурою, і навіть коли є нещільності у сполученнях обертової печі з нерухомими частинами, витрати енергії на підігрів повітря перед спалюванням є досить суттєвими. Нижче наведено приклад додаткових втрат енергії для випадку коли між обертовою піччю та нерухомою частиною є зазор 1 см.

Розглянемо обертову піч діаметром 1,2 м; між корпусом і голівкою печі є зазор 1 см, через який у піч всмоктується зовнішнє повітря. Площу кільцевого зазору визначимо як різницю між площами кіл діаметром 1,2 м і 1,18 м ($\approx 0,15 \text{ м}^2$). При звичайному рівні розрідження швидкість всмоктування зовнішнього повітря через такий зазор дорівнює 5 м/с; його витрата $0,15 \text{ м}^2 \cdot 5 \text{ м/с} = 0,75 \text{ м}^3/\text{с}$ (або $45 \text{ м}^3/\text{хв}$). При щільності повітря близько $1,3 \text{ кг/м}^3$ масова витрата складатиме $45 \cdot 1,3 = 58,5 \text{ кг/хв}$.

Якщо температура в зоні спалювання 1200 °С, то втрати тепла на нагрівання повітря з 10 °С до

1200 °С складе:

$$58,5 \text{ кг} \cdot 0,26 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} (1200-10) = 18099,9 \text{ ккал/хв.}$$

Тут $0,26 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ – масова питома теплоємність сухого

повітря. Якщо калорійність природного газу 8000 ккал/м^3 , то надлишкова витрата газу на нагрівання повітря "підсосу" складе:

$$\frac{18099,9 \text{ ккал/хв}}{8000 \text{ ккал/м}^3} = 2,26 \frac{\text{м}^3}{\text{хв}},$$

або близько $3258 \text{ м}^3/\text{добу}$.

Таким чином, нещільності у голівки печі є причиною щодобових втрат палива, в даному прикладі близько 3258 м^3 .

$$3258 \text{ м}^3 \cdot 6,879 \text{ грн/м}^3 = 22412 \text{ грн.}$$

Висновки

1. Найбільш перспективними для України можна вважати обертові печі для спалювання сміття, оскільки дозволяють знешкоджувати відходи різних фракцій і різноманітного хімічного складу.

2. Технологія допалювання відпрацьованих газів дозволяє: по-перше мінімізувати викид у повітря найбільш шкідливих газоподібних речовин, а по-друге задіяти в технології ефективні теплообмінники та рекуператори для підігріву повітря, що подається на спалювання.

3. Використання не підігрітого повітря та наявність нещільностей у стикуванні обертової печі істотно підвищує енергоємність.

Література

1. Горюх Н.П. Экологическая оценка вредных веществ при комплексной утилизации муниципальных отходов / Н.П. Горюх // Коммунальное хозяйство городов – 2005. – №63. – С. 172 – 181.
2. Крот О.П. Експериментальні дослідження методів зменшення викидів від процесів термічного знешкодження побутових відходів / О.П. Крот, В.В. Конев, О.І. Ровенський // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – Х.: «УкрДУЗТ». – 2016. – №166 – С. 78-86.
3. Крот О.П. Обоснование экологических аспектов сжигания отходов в различных отраслях / О.П. Крот, А.И. Ровенский // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: БРУ, 2016. —С. 261–263.
4. Rigassa N. Challenges and opportunities in municipal solid waste management / N. Rigassa., R.D. Sundaraa, B.B. Seboka // Journal of Human Ecology. – 2011. – № 33(3). – P. 179-190.
5. Dempsey C.R. Incineration of Hazardous Waste: A Critical Review Update / C.R. Dempsey, E.T. Oppelt. // Air & Waste, 1993. – Vol.43. – P. 25-73.
6. Gohlke O. Efficiency of energy recovery from municipal solid waste and the resultant effect on the greenhouse gas balance / O. Gohlke // Waste Management & Research, 2009. – № 27. – P.894–906. DOI: 10.1177/0734242X09349857.
7. Lombardi F. Waste incineration in rotary kilns: a new simulation combustion tool to support design and technical change / F. Lombardi, E. Lategano, S. Cordiner // Waste Management & Research. – 2013. – № 31, 7. – P. 739 – 750.

-
8. Lee C.C. *Energy and mass balance calculations for incinerators* / C.C. Lee, G.L. Huffman // *Energy Sources*. – 1998. – № 20(1). – P. 990-1000.
9. Shri Thakur P.K. *A Review On: Efficient Energy Optimization In Reheating Furnaces* / Shri P.K. Thakur, Shri K. Prakash, Shri K.G.Muralidharan, V.Bahl, Shri S.Das // *International Journal of Mechanical And Production Engineering* . – 2015. – Volume- 3, Issue-2. – P. 18 – 24.
10. Kong W.M. *Implementation of Incineration for Efficient Waste Reduction* / Wing Man Kong // *International Conference on Advances in Environment Research*. – 2015. – V87. 14 . – P. 77 – 80. DOI: 10.7763/IPCBE. 2015.

Стаття надійшла до редколегії 30.03.2017 р.

Рецензент: д.т.н.,проф. О.Ф. Редько, Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків

Крот Ольга Петровна

Кандидат технических наук, доцент кафедры безопасной жизнедеятельности и инженерной экологии, докторант, ORCID: 0000-0002-2376-4981

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков

К АНАЛИЗУ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ ДЛЯ СЖИГАНИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Аннотация. *Технология сжигания муниципальных отходов широко используется во многих странах. В условиях дефицита энергоресурсов и высоких цен на природный газ и нефтепродукты сжигание отходов является эффективным способом получения энергии. Современные способы очистки выбросов позволяют свести к минимуму поступление в окружающую среду опасных выбросов. Успешное функционирование процесса сжигания отходов тесно связано с неоднородностью физического состава и химическими свойствами муниципальных отходов, а также с особенностями механизма горения. Статья иллюстрирует потенциал применения барабанных вращающихся печей для сжигания муниципальных отходов. Рассмотрены основные источники потерь тепла. Приведен расчет утечки теплоты из печи и предложены решения по снижению затрат тепла.*

Ключевые слова: *сжигание; вращающаяся печь; тепловой и массовый баланс; отходы в энергию*

Krot Olga

Candidate of Technical Sciences, Docent of the Department of safety life and environmental engineering,

ORCID: 0000-0002-2376-4981

Kharkov National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkov

TO THE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF ROTARY KILNS FOR THE INCINERATION OF MUNICIPAL WASTE

Abstract. *The technology of incineration of municipal waste is widely used in many countries. In conditions of a shortage of energy resources and high prices for natural gas and oil products, incineration of waste is an effective way of obtaining energy. Modern methods of emission cleaning allow to minimize the release of hazardous emissions into the environment. The successful operation of the incineration process is closely related to the heterogeneity of the physical composition and the chemical properties of municipal waste, as well as to the features of the combustion mechanism. The article illustrates the potential of using rotary kilns for burning municipal waste. The main sources of heat loss are considered. The calculation of heat leakage from the furnace is given and solutions for reducing heat costs are proposed.*

Keywords: *incineration; rotary kiln; thermal and mass balances; waste-to-energy*

УДК 537684; 608.4

Крупа Микола Миколайович

Доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник,
ORCID: 0000-0002-0113-9448

Інститут магнетизму НАН і МОН України, Київ

Приймак Олександр Вікторович

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теплотехніки, ORCID: 0000-0002-3081-6057

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Коваленко Надія Олександрівна

Інженер II категорії кафедри теплотехніки

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ВОДУ І ВОДЯНІ РОЗЧИНИ І ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

***Анотація:** В даній роботі розглядаються основні принципи очистки води фізичними методами та описані результати досліджень впливу на солевий склад водопровідної води змінного електричного та постійного магнітного поля. Аналізується механізми такого впливу електромагнітного поля на воду. Приведені схеми і зовнішній вигляд пристрою для очищення води, в якому використовуються ці поля. На даний пристрій отримано позитивне рішення про видачу патенту України на винахід.*

***Ключові слова:** очистки води; фізичні методи; магнітне поле; схема пристрою*

Вступ

Вода відіграє найважливішу роль в житті і життєдіяльності людини. Економне використання питної і технічної води вимагає створення ефективних систем її очистки і підготовки. На сьогодні використовуються, в основному, хімічні методи очистки воли. Фізичні методи обробки і очистки води порівняно з хімічними методами краще вписуються в існуючі технологічні схеми водопостачання, є менш затратними і більш компактними та вносять набагато менше екологічне і техногенне навантаження на навколишнє середовище через відсутність додаткової утилізації залишкових хімічних продуктів обробки. Тому в багатьох країн світу ведуться дослідження фізичних методів обробки води і розробка технології очистки води та створення відповідного обладнання. Розглянемо деякі основні фізичні методи очистки води. Сьогодні на практиці використовуються такі технології очистки води: термічний метод очистки, заснований на нагріванні, кип'ятінні, дистиляції або виморожуванні води; очистка води за рахунок її фільтрації; очистка води методом зворотного осмосу; очистка води під дією окремо електричного поля і окремо магнітного поля; очистка води під дією одночасно магнітного і електричного поля;

очистка води ультрафіолетовим світлом; очистка води з використанням сорбентів.

Термічний метод очистки води є найбільш поширений в промисловості і побуті, проте він є найбільш енергетично затратний. Метод очистки води зворотнім осмосом дозволяє провадити глибоке очищення води, яке здійснюється за допомогою мембран з одностороннім проникненням. Через мікроскопічно малі пори розміром порядку 0,0001 мікрона таких мембран можуть проходити тільки молекули води й кисню, а мікроорганізми, розчинені у воді солі й органічні сполуки затримуються мембраною. При оптимальних значеннях температури й тиску ступінь очищення цим методом досягає 95-98%. Проте ступінь очищення і продуктивність роботи мембран сильно залежить від загального вмісту солі в сирій воді і від атомного складу самої солі, а також від тиску і температури, а сам процес очистки є досить дорогим. По суті, очистка води зворотним осмосом є способом фінішної очистки води і не має перспективи застосування для очистки технічної води.

Очистка води під дією окремо електричного поля дає досить слабку очистку то на практиці майже не застосовується. Очистка води з використанням сорбентів є досить ефективною, але

при такій технології постає питання підготовки ефективних сорбентів і їх утилізації. Очистка води ультрафіолетовим світлом, по суті, використовується швидше для обеззараження води і може застосовуватись на етапі кінцевої очистки води з хорошою прозорістю. Очистка води під дією одночасно магнітного і електричного поля є досить поширеною для технічної очистки води і також використовуються на етапі попередньої очищення і питної води. Цей метод є досить економічним і може використовуватись для технічної очистки води.

1. Вплив електромагнітного поля на воду

Зміна фізико-хімічних властивостей чистої води під дією слабких електромагнітних полів (ЕМП) становить інтерес у зв'язку з пошуком механізму біологічної дії полів. В деяких роботах повідомляється про достовірне збільшення швидкості осідання еритроцитів *in vitro* під дією низько інтенсивних електромагнітних полів міліметрового діапазону. Проте, вплив електромагнітних полів на характеристики води і водяних розчинів мало вивчені. Механізм нетеплової дії електромагнітних полів на воду та живі організми до цих пір неясний і активно обговорюється в науковій літературі. Перший патент на очистку води магнітним полем був виданий в Бельгії Т. И.С. Вермейрену в 1946 році і з тих пір цей метод неодноразово використовувався на практиці як спосіб запобігання накипу в пароводяних пристроях. Дослідження в цій області проводилися в багатьох лабораторіях. Практично усі дослідники спостерігали позитивний результат зниження жорсткості води і накипу на термповерхнях при магнітній обробці води, але навіть сьогодні немає однозначного теоретичного обґрунтування ефекту впливу слабких магнітних полів на водяні розчини, хоча існує чимало гіпотез, що пояснюють цей ефект.

Під терміном "магнітна обробка води" [1] звичайно розуміється процес обробки магнітним полем водяного розчину, у якому містяться солі тимчасової жорсткості, в основному, це гідрокарбонати кальцію й магнію: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ і $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Під дією змінного електричного і магнітного полів в воді відбувається відомий процес зменшення жорсткості, який пов'язаний з розкладанням під дією поля розчинних в воді бікарбонатів Ca і Mg і утворенням нерозчинних карбонатів з виділенням газу CO_2 .

Ця реакція описується [2] як

$$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O},$$

$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 = \text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow + 2\text{CO}_2 \uparrow$. Факт такого процесу був зафіксований давно і пояснювався як вихід газу з води під дією електромагнітного поля, хоча фізичний механізм був у ті часи не зрозумілий.

Найбільш прийнятним механізмом такого процесу вважається наступний. В області між полюсами постійного магніту утримуються частки з феромагнітними властивостями, на яких відбувається формування зародку для утворення кристалів і починається стадія інтенсивного газовиділення. Далі при нагріванні водяного розчину процес кристалізації буде конкурувати з утворенням накипу на теплопередаючій поверхні. Причому карбонат кальцію при нагріванні кристалізується не в кальцит, а арагоніт, кристали якого мають більш низьку адгезію до поверхні металів і більш низьку когезію між собою. В результаті вони виносяться з потоком води. У системах опалення закритого типу нанобульбашки газу, що утворилися при проходженні води через обладнання видаляються із вказаної системи через автоматичний клапан. Це приводить до значного зниження змісту кисню в теплоносії й знижує його корозійну активність. Необхідною умовою для формування зародка кристалізації і газовиділення є наявність у водяному розчині домішок з феромагнітними властивостями, наприклад, окислів заліза, та утримання їх у зазорі між магнітами, а також локальне перенасичення водяного розчину солями накипу і розчинним газом. В результаті виникає вимога до швидкості руху водяного розчину, яка не повинна перевищувати максимально допустиму. Ці вимоги, як правило, відповідають реальним умовам експлуатації при правильному підборі технології очищення. Дія обладнання проявляється не відразу, а після накопичення достатньої кількості феромагнетиків у зазорі магнітів. Руйнування накипу відбувається в результаті термічної деформації шару накипу при відсутності його відновлення. Експериментально виявлений вплив магнітного поля (МП) на домішки у воді і зареєстрований факт сильного збільшення числа зародків і зростання кристалів у МП та кристалізації солей жорсткості показав, що феромагнітні частки стають центрами кристалізації, тільки якщо крім них у воді присутні солі жорсткості.

В інших роботах [3, 4] вплив МП на воду пояснюється тим, що вода стає більш структурованою і в результаті збільшується швидкість хімічних реакцій та кристалізація розчинених в воді речовин, і інтенсифікуються процеси адсорбції. Класен [1] розділяє наявні гіпотези на три групи: "іонні", "колоїдні" і "водяні".

Перша полягає в тому, що під вплив МП відбувається поляризація й деформація іонів, що підвищує ймовірність їх зближення й утворення центрів кристалізації. Друга передбачає руйнування в МП колоїдних утворень і кластерів домішок води, а їх осколки утворюють центри кристалізації домішок. Третя гіпотеза полягає в впливу МП на агрегацію молекул або спінову поляризацію води (водню і кисню), що може викликати зміни в агрегації молекул води.

Останнім часом отримані експериментальні дані на користь "іонної" гіпотези впливу МП. Встановлено, що під впливом МП виникає деформація гідратних оболонок іонів, змінюється їхній розподіл у воді. Не виключено, при магнітній обробці води може також виникати електролізний струм або пульсація тиску [5]. Чиста вода є діаманетиком, а при структурних змінах і ослабленні міжмолекулярних зв'язків діаманетизм води може збільшуватись [6]. Наявність іонів заліза сприяє утворенню зародків кристалізації, що приводить до утворення осаду. Деформація іонів жорсткості впливає на енергію взаємодії між ними. Солі жорсткості виділяються у вигляді пухкого шламу. Під дією МП може також прискорюватись коагуляція часток з утворенням великих пластівців і випаданням їх в осад. Таким чином, МП може діяти як на катіони заліза, так і на солі жорсткості, а не на структуру води. При очистці води від солей жорсткості кип'ятінням спостерігалася велика кількість пухких пластівців - шлам солей жорсткості. Вплив МП на воду протягом тривалого часу показав, що шлам у ній під дією МП не утворюється. МП впливає на іони бікарбонату кальцію, не дозволяючи їм об'єднуватись між собою для утворення карбонату кальцію у вигляді кальциту, і сприяє утворенню дрібних кристалів арагоніту, які виводяться потоком води.

В останні роки [7] встановлено, що у будь-якій воді навіть в дистильованій є нанобульбашки. Нанобульбашки виникають при кавітації, і як показують вимірювання їх розмір при кавітації складає кілька сотень нм. Нанобульбашки в рідині, як правило, виникають і концентруються на межі розділу рідина-тверде тіло. Їх існування було передбачено на основі ряду непрямих ознак і розгляду деяких теоретичних моделей. На перших порах вважалось, що нанобульбашки хоч і виникають, проте майже відразу і зникають, оскільки не можуть бути стабільними. Наявність нанобульбашок дозволяє просто пояснити різні явища, пов'язані з поверхнею розділу рідина - тверде тіло, такі як великий коефіцієнт ковзання в рідині або аномальне притягування гідрофобних поверхонь

у воді. Вимірювання на атомно силовому мікроскопі у воді при різних тисках доводять існування стабільних нанобульбашок. Густина таких стаціонарних нанобульбашок в одиниці об'єму складає порядку 104 см³ при характерному розмірі від 100 нм до 1.5 мкм. Тиск усередині нанобульбашок P_i пов'язаний із кривизною поверхні і тим вищий, чим менший їх радіус r_i $P_i = P_{atm} + 2\alpha/r_i > P_{atm}$, де α - коефіцієнт поверхневого натягу рідини. Високі тиски повинні б заставляти гази всередині нанобульбашок швидко розчинятися в навколишній воді, і нанобульбашки повинні були б спонтанно зникати. Проте експериментальні дослідження показують, що нанобульбашки не круглі, а сплюснені подібно млинцям, із невеликою кривизною і тому тиск всередині їх набагато менший. На поверхні таких нанобульшок конденсують іони, атоми і навіть наноконплекси домішок, які є в воді [8, 9].

2. Експериментальні дослідження очищення води від солей жорсткості з допомогою електромагнітного поля

Проведено дослідження впливу постійного і змінного високочастотного електромагнітного поля на воду і слабкі парамагнітні водянні розчини і на основі отриманих результатів був розроблений метод і схема пристрою для очищення води від солей жорсткості. Метою наших досліджень було визначення природи домішки і величини їх концентрації в нашій звичайній водопровідній воді, а також як з допомогою електричного та магнітного поля можна покращити характеристика даної води.

Вимірювання складу домішок показали, що вода містить значну кількість солей кальцію й магнію. Крім того у воді є як катіони заліза так і домішки інших металів. (табл. 1).

Таблиця 1. Хімічний склад домішок в воді

Елемент	Вхідний склад	Труба 6	Труба 7(-)	Труба 7(+)
		вміст (мг/л)		
Ca ²⁺	48,4	3,0	5,1	50,0
Mg ²⁺	18,3	5,2	7,0	28,2
Fe	0,27	0,05	0,24	0,28
Al ³⁺	0,67	0,1	0,98	0,25
Cl ⁻	22,4	11,0	15,8	26,0
SO ₄ ²⁻	32,0	8,7	14,0	48,7

Нами було проведено дослідження впливу електричного і магнітного поля на кристалізацію солей жорсткості в воді. Для більш чіткого дослідження впливу постійного магнітного поля (МП) було проведено дослідження впливу МП на кристалізацію насиченого соляного розчину води.

Ефективність кристалізації залежить від концентрації домішки, тому якщо створити умови, при яких МП викликає збільшення концентрації домішки, це приведе до збільшення швидкості утворення і зростання кристалів під дією МП. При цьому ми вважаємо, що МП впливає на катіони заліза, які теж беруть участь в утворенні кристалічної ґратки кристалів солей жорсткості у воді як каталізатор для утворення зародків кристалізації. При русі рідини на заряджені частинки в ній діє сила Лоренца направлена перпендикулярно швидкості й індукції магнітного поля Лоренца $F=quB$, і пропорційна заряду q частинки, швидкості його руху u та індукції магнітного поля B . На позитивно й негативно заряджені частки сила Лоренца діє в протилежних напрямках.

Якщо розглянути одиничний об'єм рідини, то при русі рідини на одиничний заряд в ній діє сила направлена перпендикулярно до напрямку швидкості руху технологічної рідини та до лінії індукції магнітного поля. Під дією цієї сили Лоренца відбувається розділення заряджених іонів з різними знаками, виникає різниця електричних потенціалів між областями технологічної рідини і може виникнути електричний струм. Внаслідок цього заряджені частинки обертаються в магнітному полі, і період обертання не залежить від швидкості. Траєкторія руху буде гвинтова лінія з постійним кроком і радіусом кривизни. Інтеграл струмів по перерізу труби повинен дорівнювати нулеві в створюваному електричному полі E . Тобто при протіканні провідної рідини через магнітне поле виникає різниця потенціалів між областю з максимальним значенням індукції й областю з мінімальним значенням індукції B .

$$E = \frac{1}{2a} \left(\int_{-a}^a u dy \right) B_0 = UB_0 \quad (1)$$

Під дією цієї сили Лоренца відбувається розділення протилежно заряджених частинок, і виникає різниця електричних потенціалів між стінками. Напруженість електричного поля направлена паралельно силі Лоренца, але в протилежну сторону. Згідно з теорією Арреніуса активні зіткнення іонів приводять до їх зближення двох іонів на віддаль, достатню для протікання реакції кристалізації. Активуючи дифузію іонів у середовищі шляхом індукування електричних струмів у магнітному полі, можна підвищити концентрацію реагуючих між собою іонів і збільшити число їх зіткнень у зоні з нульовим значенням магнітної індукції. Таким чином, у цій зоні відбувається примусова кристалізація солей жорсткості. Швидкість реакції w визначається по

формулі $w=\pi rDN_A c_1 c_2$, де r – віддаль між іонами, D – коефіцієнт дифузії, N_A число Авогадро, c_1 і c_2 – концентрації іонів.

Для того щоб ініціювати кристалізацію солей жорсткості усередині об'єму рідини вдалині від стінок труб у зазорі магнітного обладнання необхідно задати такий напрямок індукції магнітного поля, при якому у середині зазорів утворювалася б зона з нульовим значенням індукції. Все це показує, що вибираючи необхідне розташування вектора магнітної індукції щодо вектора швидкості потоку, можна цілеспрямовано впливати на іони солей жорсткості та перерозподіляти їх в об'ємі води.

Схеми експериментальних досліджень представлені на рис.1. Використовуючи таку схему ми побудували макетний зразок пристрою і провели дослідження впливу однорідного магнітного поля і постійного електричного поля на кристалізацію солей жорсткості в водяному розчині. Результати експериментальних досліджень показали, якщо час проходження води через зону між полюсами магніту більший однієї секунди в ній починають утворюватися дрібні кристали даних солей жорсткості. Далі ці дрібні кристалики виносяться разом з водою.

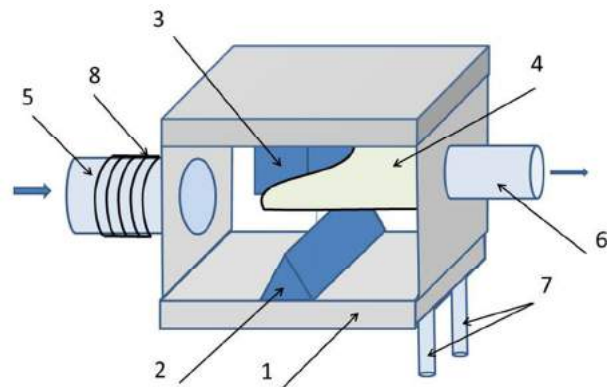


Рисунок 1 - Схема експериментальних досліджень впливу магнітного і електричного поля на кристалізацію солей жорсткості в водяному розчині: 1- камера обробки води, 2 і 3 - постійні магніти, 4 - ізолювані електроди, 5 - труба для подачі води, 6 – труба для виведення очищеної води, 7 - труби для відводу розсолу, 8 - котушка.

При дослідженні використано камеру обробки води в виді паралелепіпеда з магнітного матеріалу (сталь 3). На верхній і нижній стінці камери посередині один навпроти другого поперек камери від однієї бокової стінки до другої були закріплені постійні магніти 2 і 3. Верхня грань нижнього магніту 2 мала форму рівносторонньої трапеції з вершиною орієнтованою до центра верхнього магніту, а

верхній магніт 3 мав форму у виді паралелепіпеда. Обидва магніти виготовлялись з магнітного матеріалу з високою коерцитивною силою і індукцією насичення і намагнічувались паралельно в напрямку перпендикулярному до нижньої і верхньої стінок камери, так що S полюс нижнього магніту розміщений навпроти N полюса верхнього магніту. На бокових стінках камери між двома магнітами від магнітів до торцевої вихідної стінки камери розміщувались два плоскі ізольовані електроди 4. Труба для подачі води 5 і труба для виведення очищеної води 6 розміщувались по центру торцевих стінок камери. На нижній стінці камери знаходилась дві труби для відводу розсолу 7, які розміщені в вихідній частині камери біля протилежних її бокових стінок. На трубі для подачі води 5, яка виготовлялась з непровідного немагнітного матеріалу (капрон) намотана котушка 8, на яку подається високочастотне електричне поле. В середині ця камера захищалась водостійким покриттям.

В даній камері існує ряд конструктивних вимог. Так площа в зоні між двома магнітами $S_I = lh$ повинна бути рівна площі перерізу труби для подачі води $S_I = S_0 = \pi R^2$, де l – довжина магнітів, h – відстань від верхнього магніту до вершини трапеції нижнього магніту і R – внутрішній радіус труби для подачі води, а площа перерізу труби для виведення очищеної води $S_1 = \pi r_1^2$ має бути більшою в два-три рази від площі перерізу труб для відводу розсолу труби $S_2 = \pi r_2^2$ для виведення очищеної води $S_1 = (2-3)S_2$. Площа перерізу труби для подачі води вибирається з умови продуктивності даного пристрою та потужності джерела високочастотного електричного поля $U = U_0 \cos \omega t$, яке повинно створювати всередині цієї труби напруженість магнітного поля $H = 4\pi nI$ в інтервалі від 4×10^4 до 2×10^6 А/м, де $I = U_0 / R_0$ – струм через котушку на трубі для подачі води, R_0 – загальний опір цієї котушки для струму, n – число витків котушки на одиницю довжини.

Під час роботи нашого експериментального макету вода через трубу 5 поступала в камеру обробки води. В момент проходження води через трубу 5 на котушку 8 подавався високочастотний електричний імпульс. Це забезпечувало дію на воду в трубі потужного змінного електричного $E = E_0 \cos \omega t$ ($E_0 > 10$ В/см) і магнітного $H = H_0 \sin \omega t$ (2×10^6 А/м $< H_0 < 2 \times 10^6$ А/м) поля, де ω_0 лежить в інтервалі від 10^5 до 10^6 Гц. Таке змінне електромагнітне поле діє на воду в трубі протягом десяти періодів коливань $\tau_i = 10T = 1/2\pi\omega_0$. Це забезпечується за рахунок того, що на котушку 8 подається послідовність імпульсів,

кожен з яких складається з цугу (десять періодів) гармонічних коливань $U = U_0 \cos \omega t$, а інтервал між імпульсами τ_T значно менший від часу проходження води через ділянку труби для подачі води з котушкою $\tau_T \ll L/v$, де L – довжина котушки, м, v – швидкість руху води в трубі, м/с, для подачі води, Причому амплітуда електричного живлення котушки U_0 достатня щоб збудити в котушці струм $I = U_0/R_0$ для отримання заданого магнітного поля $H = 4\pi nI$, де R_0 – загальний опір котушки, n – число витків котушки на одиницю довжини. На рис. 2 представлена фотографія макетного зразка камери для очистки води і осцилограма імпульсу збудження, який подавався на трубку 5 для вводу води

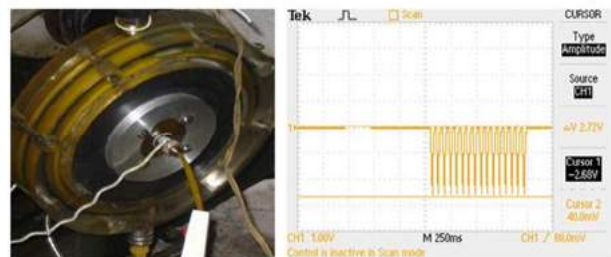


Рис. 2. Фотографія макетного зразка камери для очистки води і осцилограма імпульсу збудження, який подавався на трубу для вводу води в камеру

При проходженні води через цю щілину між магнітами під дією сильно градієнтного магнітного поля заряджені і магнітні іони, наночастинки і нанобульбашки, які є у воді, відхиляються під діє сили Лоренца F . Величина цієї сили рівна добутку $F = VBQ \sin \beta$, де Q – заряд іона, V – індукція магнітного поля, V – швидкість руху іона (води) в щілині між магнітами, β кут між напрямом магнітного поля і швидкість руху іона. В нашій конструкції позитивно заряджені іони, нанобульбашки і наночастинки будуть відхилятися в одну сторону (наприклад до правої бокової стінки камери), а негативно заряджені будуть відхилятися в іншу сторону (до лівої бокової стінки). Парамагнітні атоми, іони, нанобульбашки і наночастинки під дією сильно градієнтного магнітного поля в щілині будь відхилятися в напрямки градієнта поля, тобто вниз, а діамантні атоми, іони, нанобульбашки і наночастинки будуть відхилятися в протилежному напрямку. Після проходження води крізь щілину між магнітами вона попадає в вихідну частину камери, де на заряджені іони, нанобульбашки і наночастинки діє електричне поле яке додатково відхиляє їх в цьому ж напрямі як і магнітне поле. Це досягається за рахунок різного

знаку електричного потенціалу, який подається на бокові плоскі електроди камери для очистки води. В результаті крізь трубу для виведення очищеної води, яка розміщена по центру торцевої стінки камери на висоті щілини між магнітами з камери виходить очищена вода, а крізь дві труби для відводу розсолу, які розміщені в нижній стінці вихідній частині камери біля протилежних бокових стінок виводиться сильно збагачений розчинними домішками і осадом розсіл. Далі воду яка вийшла з труби для виведення очищеної води можна повторно пропустити через аналогічний пристрій і покращити її очистку, а розсіл, виділений трубами для його відводу, можна використати для виділення цінних домішок, які є в цьому розсолі. Осад можна виділяти також за рахунок відкривання нижньої стінки камери.

Результати наших експериментальних досліджень представлені в таблиці 1, показують, що під дією змінного електричного і магнітного поля в камері відбувається відомий процес зменшення жорсткості води. Причому, якщо вихідна трубка для води складається з трьох (центральна і дві бокових), то вміст солей в воді, яка виходить через бокові трубки значно вищий ніж в воді з центральної трубки. При зростанні тривалості обробки води МП темп кристалізації майже не змінювалася. Отже, вплив МП на кристалізацію солей має високу ефективність умови утворення кластерів, необхідні для початку процесу кристалізації, створюються швидко.

На основі отриманих результатів нами був запропонований новий фізичний механізм впливу електромагнітного поля на очистку води. В останні роки з'явилась теорія, що первинною мішенню впливу електромагнітного поля на воду і біорідини можуть служити нанобульбашки з розчиненого у воді повітря, поляризація яких прискорює їх зростання, коалесценцію і спливання, що приводить до дегазації води. Дегазація рідини, по суті, накопичує дію електромагнітного поля, оскільки при цьому змінюються фізико-хімічні властивості рідини, наприклад, провідність чистої води збільшується в кілька разів, а кислотність рН зростає приблизно на одиницю після двогодинної обробки в слабкому електромагнітному полі з частотою 150 МГц [10]. Цей парадокс можна пояснити, якщо прийняти гіпотезу про дегазуючу дію ЕМП на воду і біорідини. ЕМП дегазує плазму і тим самим змінює концентрацію і розмір нанобульбашок повітря. Переваги такої моделі у порівнянні з іншими теоріями полягають у наступному. По-перше, не потрібні припущення про специфічні умови для поглинання випромінювання,

нанобульбашки завжди є на в рідині, що контактує з повітрям. Також не виникає необхідність вводити значний нагрів макробульбашок, оскільки поле взаємодіє з макрооб'єктами. У [10] первинними мішеннями впливу ЕМП є мікро- або нанобульбашки розчиненого повітря. Під дією поля виникає поляризація і змінюється тиск в середині нанобульбашок, що змінює величину і навіть форму нанобульбашок.

Висновки

Вважаємо, що під впливом електромагнітного поля на воду виникає поляризація нанобульбашки, що приводить до зміни їх форми а також зростання розміру за рахунок об'єднання. Змінне електромагнітне поле приводить до поляризації молекул рідини, яка зменшує зовнішній вплив в ϵ раз (ϵ - величина діелектричної проникливості рідини). У результаті напруженість поля в рідині буде в ϵ раз менше, ніж у повітряній бульбашці, де ϵ - діелектрична проникність рідини (для води $\epsilon = 80$). А енергія поля в бульбашці буде в ϵ разів більше, ніж у такому ж об'ємі рідини. Оскільки в природі всяка система прагне до мінімуму енергії, то об'єм бульбашки повинен зменшуватися під дією цього додаткового тиску електромагнітного поля. У змінному полі тиск буде змінним, і це може викликати зростання об'єму бульбашок. В результаті під впливом ЕМП відбувається дегазація рідини через зростання, злиття і вихід мікробульбашок з рідини, що може тривати години або навіть дні. В результаті на ділянці великої кривизни поверхні газ з середини нанобульбашки проривається в рідину. Крім того виникає спливання нанобульбашок великого розміру, що також приводить до дегазації води і початку вище описаної реакції зменшення її жорсткості. Цей процес починається в трубці для подачі води і далі продовжується в камері для очистки води. Частина нерозчинних солей осідає у вхідній частині камери до магнітів а частина проходить через щілину між магнітами.

Зростання бульбашок пояснюється односторонньою або випрямленою дифузійною пульсацією бульбашки під дією змінного тиску, створюваного електромагнітним полем, що добре відоме в акустиці [2]. При стисканні бульбашки концентрація газу в ньому збільшується, і газ дифундує із нанобульбашки в рідину, а при розширенні - таким же чином виникає дифузійний потік у зворотному напрямку. Явище зростання бульбашок пояснюється тим, що при розширенні бульбашки її поверхня більша, ніж при стисненні,

тому потік газу при розширенні перевищує потік при стисненні бульбашки. Крім того, дифузія газу в нанобульбашку йде з більшою швидкістю внаслідок більшого градієнта концентрацій при розширенні.

На основі отриманих результатів нами розроблена схема будови пристрою для очистки води, виготовлений макетний зразок пристрою, проведена експериментальна перевірка його роботи, подана заявка і отримане позитивне рішення на видачу та отримання патенту України на винахід [11].

Таким чином, приведені в даній статті результати підтверджують можливість

використання електромагнітного поля в системах очищення води і водяних розчинів від солей жорсткості та їх дегазації. Зрозуміло що для повного очищення води потрібно використовувати і методи фінішного очищення. Проте електромагнітні методи очищення є мало затратними і можуть використовуватись не тільки для очищення і дегазації води в промислових технологіях, і особливо для звільнення води в системах тепlopостачання від кисню, що підвищує антикорозійну стійкість сталевих трубопроводів, але й для ефективного знесолення морської води.

Література

1. Классен В. И. Омагничивание водных систем / В. И. Классен В. И. – Москва: Химия, 1978. - 240 с.
2. Кларк Г., Стренг П., Уэстер Дж. Вопросы физики кипения / Кларк Г., Стренг П., Уэстер Дж.: под редакцией - Аладьев И.Т. – Москва: Мир, 1964. -443 с.
3. Страйер Л. Биохимия / Страйер Л. – Москва: Мир, 1984. 232 с.
4. Брановер Г.Г., Цинобер А.Б. Магнитная гидродинамика несжимаемых сред / Брановер Г.Г., Цинобер А.Б. – Москва: Наука, 1970. 380 с.
5. Paul A. Influence of Electrical Double-Layer Interaction on Coal Flotation / Paul A. Harvey, Anh V. Nguyen, I and Geoffrey M. Evans // Journal of Colloid and Interface Science. – Vol. 250. - 2002. – Pp. 337–343.
6. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы / Фролов Ю.Г. – Москва: Химия, 1989. - 464 с.
7. Qingyi Xu 1. Biosurfactants for Microbubble Preparation and Application / Qingyi Xu 1, Mitsutoshi Nakajima, Zengshe Liu, Takeo Shiina // International Journal of Molecular Sciences. – Vol. 12. - 2011. Pp. 462-475.
8. Sung-Ho Cho. Ultrasonic formation of nanobubbles and their zeta potentials in aqueous electrolyte and surfactant solutions Colloids and Surfaces A / Sung-Ho Cho, Jong-Yun Kim, Jae-Ho Chun, Jong-Duk Kim // Physicochemic. Eng. Aspects. Vol. 269. – 2005. – Pp. 28–34.
9. Bunkin N.F. Long-living nanobubbles of dissolved gas / Bunkin N.F., Ninham B.W., Ignatiev P.S., Kozlov V.A., Shkirin A.V., Starosvetskij A.V. // J. Biophotonics. Vol. 4. – 2011.- № 3. – Pp. 150-164.
10. Смит Я. Накопление и коммутация энергии больших плотностей. / Смит Я.: под редакцией - Бостик У., Нарди В., Цукер О. - Москва: Мир 1979. 476 с.
11. Крупа М.М. Пристрій для очищення води / Крупа М.М, Дейна О. А., Коваленко Н. О., Скурта Ю. Б., Шарай І. В.// Заявка на патент України а 2014 12966, позитивне рішення №25992/ЗФ/16 від 21.10 2016. 10 с.

Стаття надійшла в редколегію 09.04.2017

Крупа Николай Николаевич

Доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник, ORCID: 0000-0002-0113-9448

Институт магнетизма НАН и МОН Украины, Киев

Приймак Александр Викторович

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры теплотехники Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

Коваленко Надежда Александровна

Инженер второй категории кафедры теплотехники

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ВОДУ И ВОДНЫЕ РАСТВОРЫ И ОЧИСТКИ ВОДЫ

Аннотация: В данной работе рассматриваются основные принципы очистки воды физическими методами и описаны результаты исследований влияния на солевой состав водопроводной воды переменного электрического и

постоянного магнитного поля. Анализируются механизмы такого влияния электромагнитного поля на воду. Приведены схемы и внешний вид устройства очистки воды, в котором используются эти поля. На данное устройство получено положительное решение о выдаче патента Украины на изобретение.

Ключевые слова: *очистки воды; методы; магнитное поле; схема устройства*

Krupa Mykola

*Doctor of Physical, Senior Scientis, Chief Scientist, ORCID: 0000-0002-0113-9448
Institute of Magnetism of NAS and MES of Ukraine, Kyiv*

Priymak Olexander

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the department of Thermal Physics
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv*

Kovalenko Nadia.

*Engineer of the second category of the department of Thermal Physics
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv*

INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC FIELDS ON WATER AND WATER SOLUTIONS AND WATER PURIFICATION

Abstract: *This paper discusses the basic principles of physical methods of water treatment and described the results of studies on the impact of water and salt solution alternating electric and permanent magnetic field. Analyzes of the mechanisms of electromagnetic fields on the water. Resulted scheme and appearance for water treatment, which uses these fields In this unit received a positive decision on granting Ukraine patent for invention.*

Keywords: *water treatment; physical methods; magnetic field; circuit device*

УДК 621.577

Кулінко Євген Олександрович

Молодший науковий співробітник науково-дослідної частини КНУБА, ORCID: 0000-0002-8834-3600

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Кузицький Іван Тарасович

Аспірант кафедри теплотехніки КНУБА, ORCID: 0000-0003-0337-7105

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Погосов Олександр Григорович

Кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки КНУБА, ORCID: 0000-0003-2158-8897

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ТЕПЛОВІ НАСОСИ ЯК ДЖЕРЕЛА НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

***Анотація.** Зростаюче енергетична криза, необхідність диверсифікацій джерел енергії призводять до появи та широкого впровадження альтернативних джерел енергії, зокрема геотермальних теплових насосів. При використанні низькопотенціальної теплової енергії ґрунтів неглибокого залягання (10 – 100 м) особливо актуальним є питання відновлення температурного режиму джерела та використання теплового насосу в реверсивному режимі: взимку – на потреби опалення, влітку – холодопостачання. Для можливості корелювання показників питомого відбору теплової енергії з погонного метру свердловини необхідне створення динамічних фізичних моделей.*

***Ключові слова:** тепловий насос; альтернативні джерела енергії; низькопотенціальна теплова енергія*

Актуальність (Вступ)

Україна знаходиться в умовах підвищеної залежності від імпорту енергетичних ресурсів та дефіциту первинних джерел енергії, а також перед необхідністю подолання економічної кризи. Енергоефективність – цінний засіб вирішення цих проблем. Енергоефективність, як тренд, посилює енергетичну надійність та стійкість України шляхом зменшення первинного енергоспоживання та скорочення імпорту енергоресурсів. Крім того, вона сприяє економічно ефективному зменшенню викидів парникових газів і, отже, пом'якшенню наслідків зміни клімату. Перехід до більш енергоефективної економіки також має прискорити поширення інноваційних технологічних рішень і підвищити конкурентоспроможність України в європейському регіоні, стимулюючи економічне зростання і створюючи високоякісні робочі місця в багатьох секторах, пов'язаних із енергоефективністю. Крім цього, приймаючи до уваги четвертий звіт про оцінку МГЕЗК (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC), варто відзначити загальну політику європейського

регіону щодо переходу на низьковуглецеву енергетику [1]. Україна знаходиться на шляху імплементації 31 директиви ЄС [2], яка власне передбачає обов'язкову первинну оцінку альтернативних джерел енергії, в переліку яких базові позиції займає теплонасосна техніка. Одним із активних заходів щодо енергозбереження є застосування в якості низькотемпературних джерел енергії теплонасосної техніки. На даний час теоретичному та техніко-економічному аналізу роботи теплових насосів при різних умовах джерела та споживача присвячено значну кількість праць та досліджень на просторах країн СНД, ЄС та світу. В розрізі коливань сезонних надходжень теплової енергії, особливо цікавим питанням є дослідження систем теплохолодопостачання на базі акумулювання теплової енергії в природних середовищах (ґрунті, водяних лінзах неглибокого залягання тощо).

Основна частина

Ефективність ідеального пароконденсаційного циклу (ПКЦ) компресійного теплового насосу можна описати відомою залежністю коефіцієнту

трансформації енергії для циклу Карно:

$$K_{tr} = \frac{T_{out} - T_{in}}{T_{out}} \quad (1)$$

де: T_{out} – середня температура на виході з теплового насоса (середня температура графіка системи тепlopостачання), К; T_{in} – середня температура низькопотенційного середовища, К.

При цьому фактичний коефіцієнт трансформації може бути описаний залежністю:

$$COP = \eta / K_{tr} \quad (2)$$

де: η – коефіцієнт ефективності, що вказує на термодинамічну недосконалість характерних теплових насосів та втрати теплової енергії по елементах пароконденсаційного циклу.

Коефіцієнт η попередньо визначався на базі термодинамічного аналізу реальних ПКЦ теплових насосів на базі програмного комплексу CoolPack

(фрагменти циклів наведено на рис. 2-3). Відповідно до [1] в перспективі до 2035 року холодоагенти, які використовуються в ПКЦ, не повинні містити фторвмістні речовини. Тому в рамках дослідження застосовується рекомендований [1] холодоагент R290. Реальні коефіцієнти трансформації отримано для різних температурних рівнів споживача (рис. 1). Для оцінки температурних рівнів систем тепlopостачання за навантаженням системи опалення (без урахування системи гарячого водопостачання) побудовано необхідний температурний графік системи опалення (рис. 1). В якості системи тепlopостачання розглядається низькотемпературна система з температурним графіком 50-35 °С. Низькопотенційне джерело представлено масивом ґрунту на глибині нижчій 20 м. Температурний рівень джерела прийнято 8 °С.

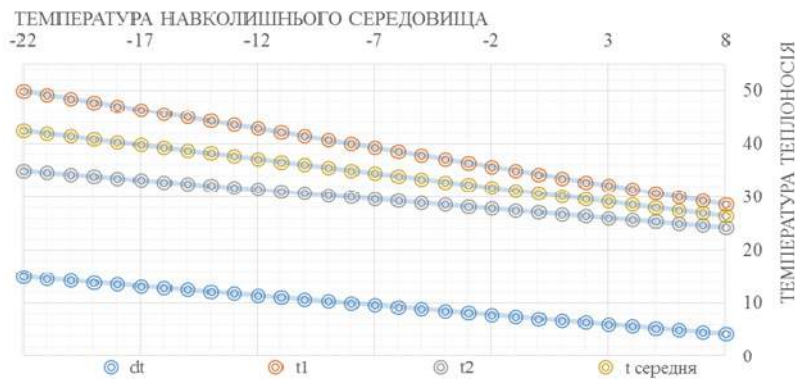


Рисунок 1 – Температурний графік низькотемпературної системи тепlopостачання

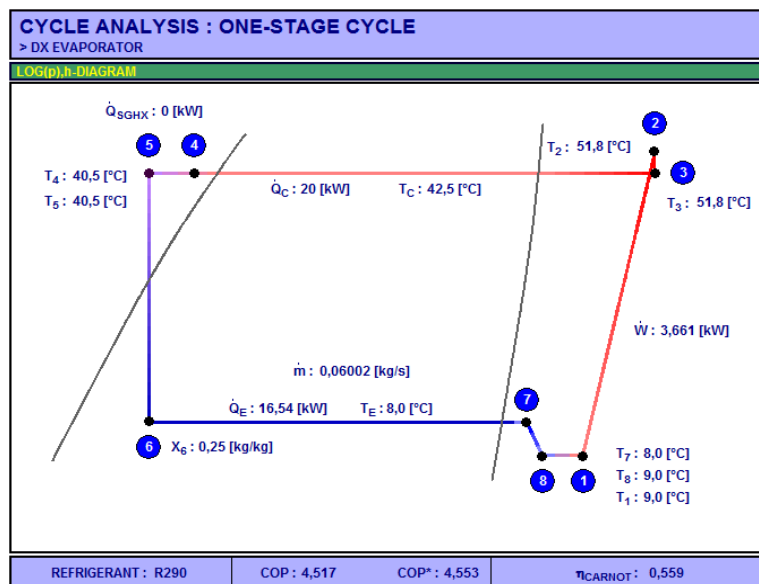


Рисунок 2 – ПКЦ (координати $\log(p), h$) із застосуванням холодоагенту R290 при роботі на низькотемпературну систему тепlopостачання при температурі випарника на рівні +8 °С, температурі конденсатора – +42,5 °С (процеси: 7-8-1-2-3 – процес стискування холодоагенту в компресорі з урахуванням недосконалості процесів та втрат, 3-4-5 – процес конденсації холодоагенту в конденсаторі, 5-6 – процес розширення холодоагенту в процесі редуціювання, 6-7 – процес випарювання холодоагенту в випарнику)

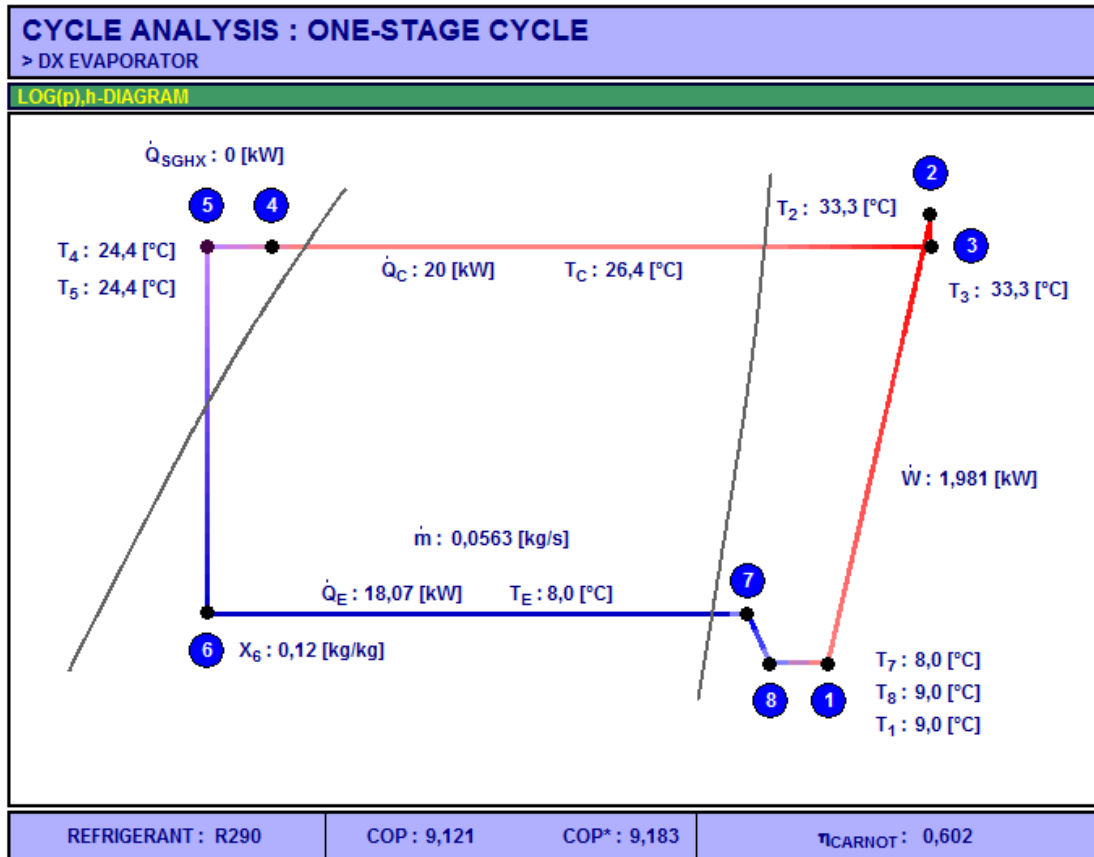


Рисунок 3 – ПКЦ (координати $\log(p),h$) із застосуванням холодоагенту R290 при роботі на низькотемпературну систему теплопостачання при температурі випарника на рівні 8 °C, температурі конденсатору – +25,4 °C (процеси – див. рис. 2)

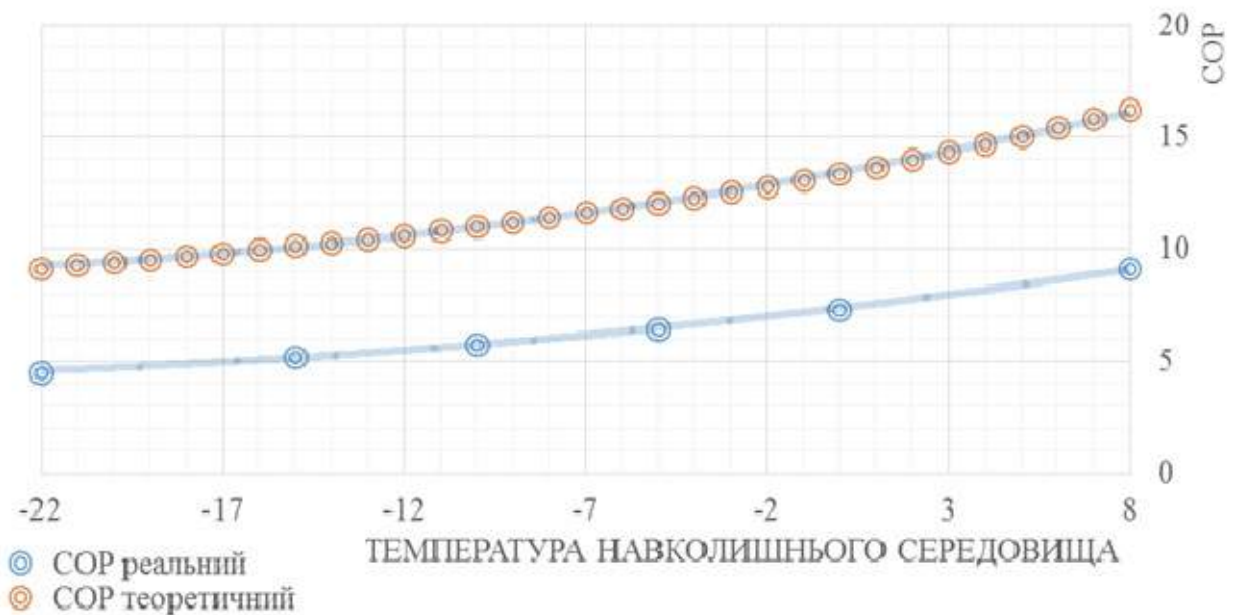


Рисунок 4 – Залежність реального та ідеального COP від зміни навантаження (температури навколишнього середовища) системи теплопостачання

Бачимо, що реальний COP для геотермального теплового насосу при роботі на низькотемпературну систему опалення складає 4.9 в залежності від навантаження системи опалення. Базуючись на

даних, щодо стояння температур наводимо техніко-економічні показники системи низькотемпературного теплопостачання (таблиця 1).

Таблиця 1 Техніко-економічні показники роботи геотермальних теплових насосів «грунт – низькотемпературна система опалення»

t	-22	-20	-15	-10	-5	0	8
t _{тр}	8	61	222	605	1260	2760	4320
COP	4,417	4,517	5,184	5,761	6,454	7,295	9,121
Q	20	19,05	16,67	14,29	11,9	9,52	5,71
QH	160	1162,05	3700,74	8645,45	14994	26275,2	24667,2
QE	36,22	257,26	713,88	1500,69	2323,21	3601,81	2704,44

t - температура навколишнього середовища, °C;
 t_{тр} - тривалість стояння температур, год;
 COP – реальний коефіцієнт трансформації;
 Q – навантаження системи опалення, кВт;
 QH – споживання теплової енергії системою опалення, кВт·год;
 QE – споживання електричної енергії компресором ТН, кВт·год.
 Застосування акумуляційних систем

теплохолодопостачання потребує детальної оцінки теплового балансу ґрунту. Необхідна розробка фізичних моделей щодо зміни температурного режиму ґрунту як нескінченного циліндру. Пропонується концептуальна фізична модель (рис. 4), яка враховує надходження радіогенної (фонової) теплової енергії, зміну температури нескінченного циліндру [3] та представлена для режимів «опалення - охолодження».

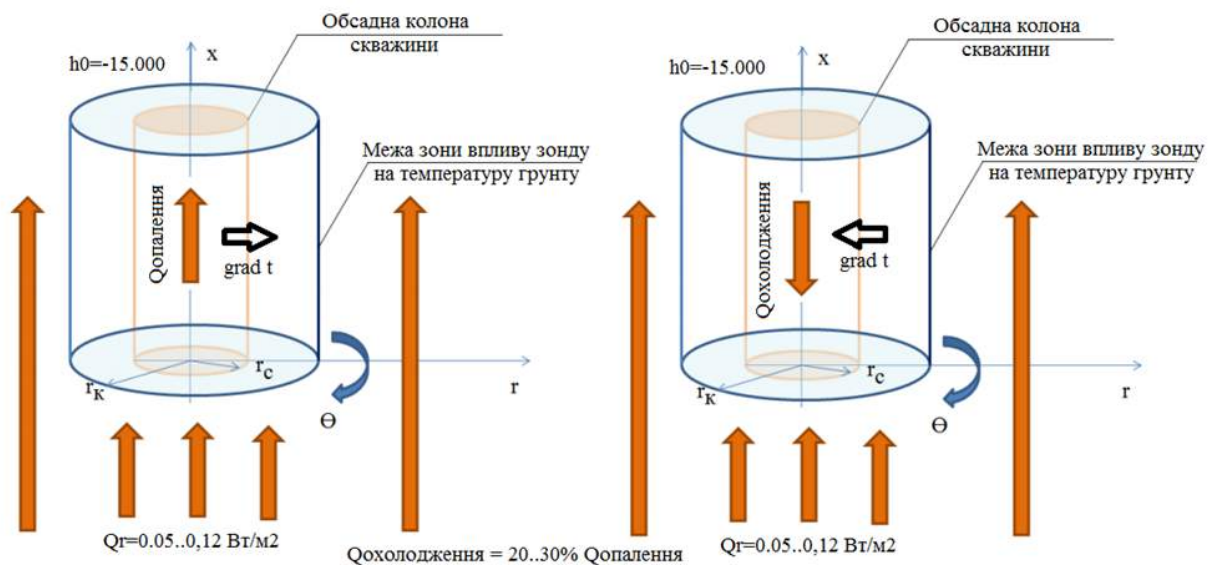


Рисунок 5 – Концептуальна фізична модель акумуляційної системи теплохолодопостачання на базі геотермальних теплових насосів

Вважаємо, що оптимальну потужність геотермального теплового насосу необхідно обирати з умови незмінності середньої температури ділянки впливу зонду. Варто зазначити, що потужність в режимі «опалення» може бути збільшена шляхом повернення теплової енергії ґрунту в режимі «охолодження».

Висновки

1. Доцільним є використання геотермальних теплових насосів для низькотемпературних систем опалення, при роботі яких можливе досягнення

реальних коефіцієнтів COP=4..9 в залежності від навантаження системи опалення.

2. Необхідне створення фізичної моделі зміни температури в зоні впливу зонду ТН і відповідних чисельних методів щодо її розв'язання.

3. При розробці фізичної моделі необхідне врахування компенсатору теплової енергії у вигляді радіогенного тепла Землі на рівні 0,005..0,012 Вт/м².

4. Для збільшення можливої потужності геотермального теплового насосу необхідне застосування комплексної системи теплохолодопостачання.

Література

1. РЕГЛАМЕНТ (ЄС) № 517/2014 ЄВРОПЕЙСЬКОГО ПАРЛАМЕНТУ ТА РАДИ від 16 квітня 2014 р про фторовмістні парникові гази і анулюванні Регламенту (ЄС) № 842/2006.
2. ДИРЕКТИВА ЄВРОПЕЙСЬКОГО ПАРЛАМЕНТУ ТА РАДИ 2010/31/ЄС від 19 травня 2010 року щодо енергетичної ефективності будівель.
3. Хайнрих Г., Найорн Х., Нестлер В. Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения. М.: Стройиздат, 1985. 351 с.

Стаття надійшла в редколегію 05.04.2017

Рецензент: д.т.н., проф. О.В. Приймак, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Кулинко Євген Александрович

Младший научный сотрудник научно-исследовательской части КНУСА, ORCID: 0000-0002-8834-3600

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

Кузицкий Иван Тарасович

Аспирант кафедры теплотехники КНУСА, ORCID: 0000-0003-0337-7105

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

Погосов Александр Григорьевич

Кандидат технических наук, доцент, кафедры теплотехники КНУСА, ORCID: 0000-0003-2158-8897

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

ТЕПЛОВИЕ НАСОСИ КАК ИСТОЧНИК НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Аннотация. Растущий энергетический кризис, необходимость диверсификаций источников энергии приводят к появлению и широкому внедрению альтернативных источников энергии, в частности геотермальных тепловых насосов. При использовании низкопотенциальной тепловой энергии почв неглубокого залегания (10 - 100 м) особенно актуальным является вопрос восстановления температурного режима источника и использования теплового насоса в реверсивном режиме: зимой - на нужды отопления, летом - холодоснабжения. Для возможности корреляции показателей удельного отбора тепловой энергии с погонного метра скважины необходимо создание динамических физических моделей.

Ключевые слова: тепловой насос; альтернативные источники энергии; низкопотенциальная тепловая энергия

Kulinko Yevhen

Junior Researcher Scientific Research of KNUCA, ORCID: 0000-0002-8834-3600

Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kiev

Kuzytskyi Ivan

Postgraduate of Department of Heat Engineering of KNUCA, ORCID: 0000-0003-0337-7105

Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kiev

Pogosov Oleksandr

Doctor of Philosophy, Associate Professor, Department of Heat Engineering of KNUCA, ORCID: 0000-0003-2158-8897

Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kiev

HEAT PUMPS AS A SOURCE FOR LOW TEMPERATURE HEATING

Abstract. The growing energy crisis, the need for the diversity of energy sources leads to the emergence and widespread introduction of alternative energy sources, including geothermal heat pumps. When using the low potential heat energy of soil with low deep diapason (10 - 100 m), we must think about recovering of temperature conditions of source and using heat pumps in the reverse mode: in winter - for heating, in summer - for cooling. To be able to select the specific ratio of the thermal energy per meter of wells is necessary to create a dynamic physical models.

Keywords: heat pump; alternative energy sources; low temperature heat energy

УДК 697.94.(075)

Лабай Володимир Йосифович

*Доктор технічних наук, професор,
Національний університет «Львівська політехніка», Львів*

Гарасим Дмитро Ігорович

*Аспірант,
Національний університет «Львівська політехніка», Львів*

Генсецький Микола Петрович

*Кандидат технічних наук, доцент,
Інститут інноваційної освіти
Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ*

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СИСТЕМІ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ЧИСТОГО ПРИМІЩЕННЯ ЗА ЕКСЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ

***Анотація** У статті наведений аналіз ексергоефективності центральної прямотечійної системи кондиціювання повітря (СКП) чистого приміщення, отриманий на її інноваційній математичній дослідницькій моделі залежно від різних факторів, що впливають на її роботу, та запропоновані шляхи енергозбереження для цієї СКП. Встановлено, що найбільший вплив на ексергетичний ККД вибраної системи кондиціювання мають різниця температур між внутрішнім і припливним повітрям у приміщенні, температура внутрішнього повітря, залежна від температури зовнішнього повітря, та коефіцієнт трансформації EER прийнятої холодильної машини СКП.*

***Ключові слова:** системи кондиціювання повітря; чисті приміщення; ексергетичний баланс; ексергетична ефективність; енергозбереження*

Вступ

В останні десятиріччя за кордоном з метою заощадження енергетичних ресурсів ведуться фундаментальні дослідження діяльності ряду галузей, виробництв і технологій із позицій ексергетичної методології [2-5]. Ця методологія була обґрунтована у роботах Р.К. Клаузіуса, Дж.В. Гіббса, Ж. Гюї, А. Стодоли, Я. Шаргута та Р. Петели. Величина, що визначає придатність до дії (працездатність) ресурсів речовини та енергії, була названа ексергією, а функції, що визначають її значення, – ексергетичними.

Ексергія не тільки кількісно характеризує енергію будь-якого виду, а й дозволяє оцінити її якісний стан. Вона визначає перетворюваність, придатність енергії для технічного використання в будь-яких заданих умовах.

Оскільки ексергія є єдиною мірою працездатності, придатності енергетичних ресурсів, її застосування дає змогу дати об'єктивну оцінку цих ресурсів будь-якого виду. Отже, ексергія є деякою універсальною мірою енергетичних ресурсів. А ексергетичний баланс, на підставі якого встановлюється масштаб використання

енергетичних ресурсів, вказує на можливість підвищення коефіцієнта корисної дії (ККД) процесу.

Нині вартісні оцінки не можуть служити єдиною мірою ефективності енергетичного обладнання, які переробляють енергоресурси. Ексергія є фізичним, а не економічним критерієм і визначає незалежність цього параметра від кон'юнктурних коливань цін. В той самий час вартісні показники не дозволяють здійснити довгострокове прогнозування. Визначати мінімум необхідно не за грошовими витратами, а витратами ексергії на одиницю виданої теплоти.

У сучасних технологіях, пов'язаних з перетворенням енергії, а саме у системах кондиціювання повітря, важливе місце займають обладнання і процеси, об'єктивна оцінка ступеня енергетичної досконалості яких може бути встановлена тільки на основі аналізу їх ексергоефективності.

Отже, зменшення затрат енергії, споживаної системами кондиціювання повітря, диктує необхідність їх оптимізації, що найповніше може бути досягнуто на основі ексергетичного аналізу, який враховує не тільки кількість, але й якість затраченої енергії [2-5].

Описання об'єкту аналізу та його роботи

Для чистого приміщення нами застосовано центральну прямотечійну СКП, схематично зображену на рис. 1. У теплий період року (ТПР) повітря з навколишнього середовища через повітрязабірну шахту 6 забирається центральним кондиціонером, очищається у фільтрі зовнішнього повітря 7, далі проходить через повітрянагрівник I підігрівання 8, охолоджується та осушується за політропою розбризкуваною холодною водою з холодильної машини у камері зрошення 9, підігрівається у повітрянагрівнику II підігрівання 10 гарячою водою з котельної установки, а відтак вентиляторним агрегатом 12 подається у чисте приміщення через фільтр припливного повітря 11 у центральному кондиціонері, припливні повітропроводи 5 та фільтри припливного повітря 4 на вході у приміщення.

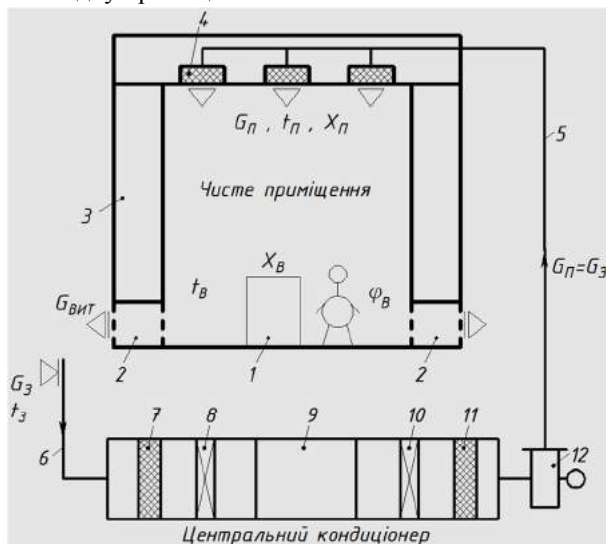


Рисунок 1 – Принципова схема центральної прямотечійної системи кондиціонування повітря чистого приміщення:

- 1 – технологічне обладнання, 2 – витяжні канали,
- 3 – шлюзові приміщення, 4 – фільтри припливного повітря у приміщення, 5 – припливний повітропровід,
- 6 – повітрязабірна шахта, 7 – фільтр зовнішнього повітря, 8 – повітрянагрівник I підігрівання, 9 – камера зрошення, 10 – повітрянагрівник II підігрівання,
- 11 – фільтр припливного повітря у кондиціонері, 12 – вентиляторний агрегат

Завданням даної роботи було провести дослідження ексергоефективності вибраної прямотечійної системи кондиціонування повітря чистого приміщення, отриманий на її інноваційній математичній дослідницькій моделі [5] залежно від різних факторів, що впливають на її роботу, та запропонувати шляхи енергозбереження для цієї СКП. В цій моделі склалися матеріальний,

тепловий (енергетичний) та ексергетичний баланси даної системи, які враховували всі можливі варіанти її роботи в реальних умовах.

Для оцінки ексергоефективності вказаної СКП користувались поняттям ексергетичного ККД, який визначався як відношення приросту ексергії повітря у кондиціонованому приміщенні $E_{\text{аєо}}$ до ексергії приводу СКП $E_{\text{ає}}$, яка витрачалась на підтримання процесу [5]:

$$\eta_e = \frac{E_{\text{вих}}}{E_{\text{вх}}} \quad (1)$$

Результати дослідницької роботи

Завдяки розрахунково-кількісним експериментам, проведеним на інноваційній математичній дослідницькій моделі вказаної центральної прямотечійної системи кондиціонування повітря чистого приміщення, отримані значення ексергетичного ККД η_a залежно від різниці температур між внутрішнім і припливним повітрям Δt_i , температури t_a внутрішнього повітря і коефіцієнта трансформації EER холодильної машини, та подані у вигляді відповідних залежностей ексергетичного ККД η_a (рис. 2, 3) і на цій основі зроблений аналіз. Разом з тим нами було встановлено незначний вплив на ексергетичний ККД η_a відносних вологостей зовнішнього ϕ_c , внутрішнього ϕ_a і припливного ϕ_i повітря (максимально у межах 10%).

Результати дослідницької роботи кінцево було вирішено подати у вигляді такої узагальненої степеневі залежності:

$$\eta_a = \tilde{N} \cdot (\Delta t_i / t_a)^\alpha \cdot EER^\beta \quad (2)$$

Показники степеня α і β у рівнянні (2) отримані з результатів досліджень, поданих нами на рис. 2 і 3.

Тоді залежність ексергетичного ККД η_a центральної прямотечійної системи кондиціонування повітря чистого приміщення від відношення різниці температур між внутрішнім і припливним повітрям до температури внутрішнього повітря $\Delta t_i / t_a$ можна подати такою степеневою залежністю:

$$\eta_e = 52,6 \cdot (\Delta t_i / t_a)^{1,94} \quad (3)$$

Максимальна похибка розрахунків за формулою (3) становить 3,9%.

Отже, на основі залежності (рис. 2, формула (3)) знайдено значення показника степеня α , який для нашого випадку становить 1,94.

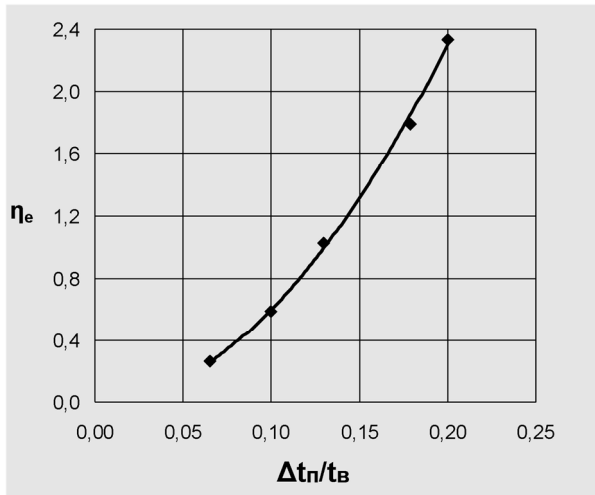


Рисунок 2 – Залежність ексергетичного ККД η_a центральної прямотечійної системи кондиціонування повітря чистого приміщення від відношення різниці температур між внутрішнім і припливним повітрям Δt_i до температури t_a внутрішнього повітря $\Delta t_i / t_a$ і умов проведення досліджень:
 $G_i = 10000$ кг/год; $\Delta t_i = 1,5-6,0^\circ\text{C}$; $t_a = 23-30^\circ\text{C}$;
 $EER = 2,8$; $t_c = 26-42^\circ\text{C}$;
 $\varphi_a = 50\%$; $\varphi_c = 27-44\%$; $\varphi_i = 69-54\%$

Отже, на основі залежності (рис. 2, формула (3)) знайдено значення показника степеня α , який для нашого випадку становить 1,94.

Аналізуючи отримані дані досліджень на рис. 2, можна дійти таких висновків. Загальне зростання відношення різниці температур між внутрішнім і припливним повітрям до температури внутрішнього повітря $\Delta t_i / t_a$ від 0,07 до 0,20, тобто в 2,86 рази, призводить до значного зростання значення ексергетичного ККД η_a від 0,26 до 2,33, тобто в 8,96 рази або на 796%. Варто також зауважити (рис. 2), що найбільше зростання ексергетичного ККД відбувається за різниці температур між внутрішнім і припливним повітрям $\Delta t_i = 6,0^\circ\text{C}$. Тому з метою енергозбереження вибрану систему кондиціонування повітря потрібно використовувати за вищої різниці температур між внутрішнім і припливним повітрям, а саме, наприклад $\Delta t_i = 6,0^\circ\text{C}$ (за будь-якої температури внутрішнього повітря), що дасть можливість отримати найвищий ексергетичний ККД η_a , а значить отримати енергоощадний варіант використання цієї системи кондиціонування повітря.

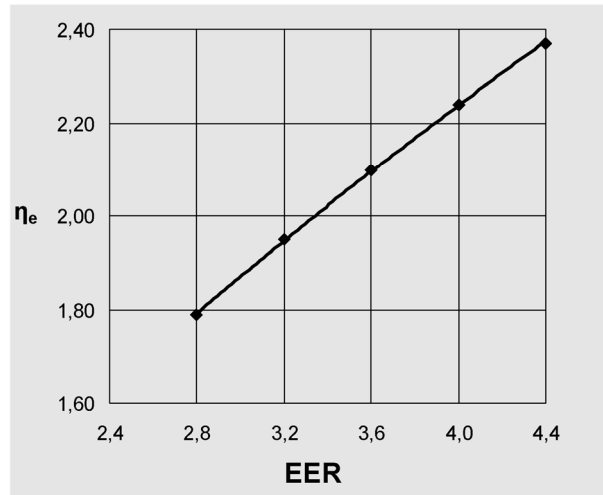


Рисунок 3 – Залежність ексергетичного ККД η_a центральної прямотечійної системи кондиціонування повітря чистого приміщення від коефіцієнта трансформації EER холодильної машини і умов проведення досліджень:
 $G_i = 10000$ кг/год; $\Delta t_i = 5,0^\circ\text{C}$; $t_a = 28^\circ\text{C}$;
 $\Delta t_i / t_a = 0,18$; $t_c = 38^\circ\text{C}$;
 $\varphi_a = 50\%$; $\varphi_c = 30\%$; $\varphi_i = 66\%$

Тоді залежність ексергетичного ККД η_a центральної прямотечійної системи кондиціонування повітря чистого приміщення від коефіцієнта трансформації EER холодильної машини можна подати такою степеневою залежністю:

$$\eta_a = 0,945 \cdot EER^{0,62} \quad (4)$$

Максимальна похибка розрахунків за формулою (4) становить 0,4%.

Отже, на основі залежності (рис. 3, формула (4)) знайдено значення показника степеня β , який для нашого випадку становить 0,62.

Аналізуючи отримані дані досліджень на рис. 3, можна дійти таких висновків. Загальне зростання відношення коефіцієнта трансформації EER холодильної машини від 2,8 до 4,4, тобто в 1,57 рази, призводить до зростання значення ексергетичного ККД η_a від 1,79 до 2,37, тобто в 1,32 рази або на 32%. Варто також зауважити (рис. 3), що найбільше зростання ексергетичного ККД відбувається за коефіцієнта трансформації холодильної машини $EER = 4,4$. Тому з метою енергозбереження вибрану систему кондиціонування повітря бажано використовувати за вищою коефіцієнта трансформації холодильної машини, а саме, наприклад $EER = 4,4$, що дасть можливість отримати вищий ексергетичний ККД η_a , а значить отримати енергоощадний варіант використання цієї системи кондиціонування повітря.

Остаточно визначаємо, що коефіцієнт $C = 27,1$, та отримуємо узагальнену степеневу залежність для вибраної центральної прямотечійної системи кондиціонування повітря чистого приміщення:

$$\eta_e = 27,1 \cdot (\Delta t_{\text{п}} / t_{\text{в}})^{1,94} \cdot EER^{0,62}. \quad (5)$$

Максимальна похибка розрахунків за формулою (5) становить 4,4%.

Висновки

Отримано узагальнену степеневу залежність ексергетичного ККД η_a центральної прямотечійної системи кондиціонування повітря чистого приміщення від відношення різниці температур між внутрішнім і припливним повітрям до температури

внутрішнього повітря $\Delta t_i / t_a$ та коефіцієнта трансформації EER холодильної машини. Показано, що з метою енергозбереження вибрану систему кондиціонування повітря бажано використовувати за вищої різниці температур між внутрішнім і припливним повітрям, а саме, наприклад $\Delta t_i = 6,0^\circ\text{C}$ (за будь-якої температури внутрішнього повітря), та за вищого коефіцієнта трансформації холодильної машини, а саме, наприклад $EER = 4,4$, що дасть можливість отримати найвищий ексергетичний ККД η_a , а значить отримати енергоощадний варіант використання цієї системи кондиціонування повітря.

Література

1. Федотов А.Е. Чистые помещения. Второе изд., перераб. и доп. – М.: АСИНКОМ, 2003. – 576 с.
2. Шаргут Я. Эксергия / Я. Шаргут, Р. Петела. – М.: Энергия, 1968. – 280 с.
3. Эксергетические расчеты технических систем: справ. пособие / [В.М. Бродянский, Г.П. Верхивкер, Я.Я. Карчев и др.]; под ред. А.А. Долинского, В.М. Бродянского; Ин-т технической теплофизики АН УССР. – Киев: Наук. думка, 1991. – 360 с.
4. Бродянский В.М. Эксергетический метод термодинамического анализа / В.М. Бродянский. – М.: Энергия, 1973. – 296 с.
5. Лабай В.Й. Влияние коэффициента трансформации холодильной машины на эксергетичный ККД системы кондиционирования воздуха чистого помещения / В.Й. Лабай, Д.І. Гарасим // Научно-технический журнал «Холодильная техника и технология», т. 51, вып. 2. – Одеса: ОНАХТ, 2015. – С. 18–24.

Стаття надійшла в редколегію 06.04.17

Лабай Владимир Иосифович

Доктор технических наук, профессор,

Национальный университет «Львовская политехника», Львов

Гарасим Дмитрий Игоревич

Аспирант,

Национальный университет «Львовская политехника», Львов

Генсецкий Николай Петрович

Кандидат технических наук, доцент,

Институт инновационного образования

Киевского национального университета строительства и архитектуры, Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА ЧИСТОГО ПОМЕЩЕНИЯ ПО ЭКСЕРГООЭФФЕКТИВНОСТИ

Аннотация. В статье приведенный анализ эксергоэффективности центральной прямоточной системы кондиционирования воздуха (СКВ) чистого помещения, полученный на ее инновационной математической исследовательской модели в зависимости от разных факторов, какие влияют на ее работу, и предложены пути энергосбережения для этой СКВ. Определено, что наибольшее влияние на эксергетический КПД избранной системы кондиционирования имеют разность температур между внутренним и приточным воздухом, температура внутреннего воздуха, зависящая от температуры наружного воздуха, и коэффициент трансформации EER принятой холодильной машины СКВ.

Ключевые слова: системы кондиционирования воздуха; чистые помещения; эксергетический баланс; эксергетическая эффективность; энергосбережение

Labay Volodymyr

*Doctor of Engineering Sciences, Professor
National University "L'viv Polytechnic", L'viv*

Harasym Dmytro

*Postgraduate
National University "L'viv Polytechnic", L'viv*

Hensetskyi Mykola

*Candidate of Engineering Sciences, Docent
Institute of Innovation Education
Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kiev*

**INVESTIGATIONS OF ENERGY SAVING IN AIR CONDITIONING SYSTEM
OF CLEANROOM FOR EXERGY EFFECTIVENESS**

Abstract. *Analysis of exergy effectiveness of central straight flow air conditioning system (ACS) for cleanroom which was obtained on its innovative mathematical research model depending on different factors that have influence on its work was presented in this article, and ways of energy saving for this ACS was proposed. It was found that the biggest impact on exergy output-input ratio of its air conditioning system have the temperature difference between inside and supplied air in a room, temperature of inside air which is depends on temperature of outside air, and coefficient of transformation EER of chosen refrigeration machine of air conditioning system.*

Keywords: *air conditioning systems, cleanrooms, exergy balance, exergy effectiveness, energy saving*

УДК 697.278

Лисак Олег Віталійович

інженер відділу геотермальної енергетики, ORCID: 0000-0002-4934-0685

Інститут відновлюваної енергетики Національної академії наук України, Київ

ДИНАМІЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ АКУМУЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ ТЕПЛО- ТА ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ ПРИМІЩЕНЬ

***Анотація.** Зараз в Україні актуальним питанням є зменшення вартості систем тепло- та холодопостачання для забезпечення мікроклімату приміщень. В цій роботі проведено аналіз акумуляційних підтипів розглянутих систем, що використовують електроенергію, вироблену в період дії пільгового тарифу, для генерації тепла чи холоду з метою забезпечення мікроклімату приміщень. Проведений аналіз створив підґрунтя для порівняння вартості електроенергії від різних джерел як в Україні, так і закордоном, а також продемонстрував переваги зміни вартості електроенергії в залежності від її реального споживання, яке має на меті забезпечити найбільш повне використання надлишків виробленої електроенергії. Також були розглянуті три варіанти систем з використанням акумуляції енергії: систем центрального холодопостачання з акумуляцією холоду, систем центрального опалення з акумуляцією теплоти та систем місцевого акумуляційного електроопалення. Для останніх систем було продемонстровано порівняння двох їх підтипів та представлено переваги систем, що здатні підтримувати різну температуру в обслуговуваних приміщеннях.*

***Ключові слова:** акумуляційні системи опалення, акумулятори холоду, динамічна зміна вартості електроенергії*

Постановка проблеми

Як правило, вибір технології для забезпечення потреб тепло- чи холодопостачання, обґрунтовують з огляду на зменшення витрат на систему протягом всього періоду експлуатації, тобто як мінімізацію витрат на встановлення системи та подальшу її експлуатацію. Не завжди можливо одночасно вирішити обидві задачі: зустрічаються випадки, коли системи з невеликими початковими капітальними витратами потребуватимуть значних коштів на свою експлуатацію та навпаки, коли системи, які потребуватимуть значних початкових капіталовкладень, не будуть занадто витратними при експлуатації.

За відповідного техніко-економічного обґрунтування можливо поєднати наведені вище системи з тим, аби раціонально використовувати кожен з них в залежності від потреби: для пікових короткочасних потреб – дешеві по капітальній вартості, для основних довготривалих потреб – дешеві в експлуатації. Можливо збільшу частку дешевших в експлуатації систем, якщо застосувати акумуляцію тепла чи холоду (в залежності від потреби), виробленого від дешевшого джерела енергії та в подальшому використовувати акумульоване тепло чи холод в залежності від

потреби в період, коли потужність основного джерела або не є достатньою, або ж недоступною.

В цій роботі в якості основного ресурсу для генерації тепла чи холоду розглянуто надлишково вироблену електроенергію, яка тарифікується в окремі години доби по пільговим цінам (рис. 1). Зазначимо, що надлишок виникатиме або внаслідок загального спаду споживання електроенергії, що як правило трапляється протягом нічних годин (також спади споживання, хоч і не так значні як в нічні години, трапляються протягом денних годин), так і через надлишкове виробництво електроенергії внаслідок певних обставин (наприклад, за використання відновлюваних джерел енергії, виробництво електроенергії якими є змінним у часі).

Сьогодні акумуляція електроенергії для живлення систем тепло- та холодопостачання набуває нового змісту за поширення сучасних систем обліку та прогнозування спожитої електроенергії [1, 2], які впроваджують для максимально повної утилізації надлишків електроенергії, що виникає внаслідок «спадів» її споживання, підвищуючи ступінь використання дійсних потужностей з виробництва електроенергії. Це дозволяє заощаджувати кошти не лише споживачу за рахунок менших витрат, але й

виробнику електроенергії за рахунок більш рівномірного завантаження потужностей електрогенеруючих установок. Проте зауважимо, що повний перехід на виключно акумуляційні системи для всіх споживачів може не мати економічного сенсу [3].

Розглянемо яким чином можливо утилізувати надлишково вироблену електроенергію. На рис. 2. наведено чотири можливі випадки використання надлишково виробленої електроенергії за умови, що з появою дешевого тарифу в певні години будуть з'являтися лише нові споживачі електроенергії та не відбудеться вирівнювання графіку споживання електроенергії. На рис. 2а показана типова ситуація, за умовами якої тариф є єдиним і яка є базисом для подальшого аналізу. На рис. 2б показана зона (заштрихована), яку можна використати з появою пільгового тарифу на електроенергію в нічні години. Проте рекомендований діапазон використання електроенергії в зазначені години не обов'язково відповідатиме її реальному споживанню – тобто потенціал систем не буде використовуватись в повній мірі. Дещо схожа ситуація виникає й за використання електроенергії під часу денного спаду споживання – як показано на рис. 2в – але в даному випадку відбулись певні зрушення в реальному споживанні електроенергії – і в результаті заплановане споживання електроенергії відбуватиметься частково в години, коли це є небажаним. На рис. 2г показано споживання електроенергії, коли в режимі реального часу буде прийматись рішення про раціональність споживання електроенергії в ті чи інші години, що й забезпечуватиме найбільш повне споживання надлишків електроенергії.

Подібні системи з регулюванням споживання електроенергії в реальному часу для забезпечення потреб теплопостачання в системах опалення й гарячого водопостачання розглядають в грантовому проекті програми Horizon-2020 під назвою «RealValue» (Project ID: 646116), яка призначена для вивчення шляхів утилізації електроенергії, виробленої від відновлюваних джерел енергії [4, 5, 6]. В якості систем опалення в даному проекті були прийняті сучасні моделі електротеплоакумулюючих обігрівачів [7, 8, 9] та електричні акумуляційні баки-акумулятори в системах гарячого водопостачання.

Мета та задачі статті

Метою даної роботи є вивчення особливостей використання акумуляційних систем тепло- та холодопостачання.

Для цього були поставлені наступні задачі: проаналізувати вартість електроенергії від різних

джерел енергії в Україні та закордоном, та типи систем акумуляції тепло- та холодопостачання. Також, враховуючи зацікавленість в системах місцевого акумуляційного електроопалення у вищезгаданому проекті з програми Horizon-2020, розглянемо якість регулювання систем опалення як фактор що визначає їх енергетичну ефективність.

Аналіз вартості електроенергії

Розглянемо структуру виробництва та вартості електроенергії, використаної ПАТ «Київенерго» в 2016 році (див. табл. 1).

Частка в обсягах виробництва електроенергії в кожного i -ого джерела $b_{пот}$, %, має сумарно складати:

$$\sum_{i=1}^n (b_{пот})_i = 100\%. \quad (1)$$

Частка у вартості електричної енергії в кожного i -ого джерела $z_{пот}$, %, має сумарно складати:

$$\sum_{i=1}^n (z_{ел})_i = \sum_{i=1}^n (d_{пот} \cdot b_{пот})_i = 100\%; \quad (2)$$

де $d_{пот}$ – відносна частка вартості, яку за відомих значення $b_{пот}$ та $z_{пот}$ й будемо визначати як:

$$d_{пот} = z_{ел} / b_{пот}. \quad (3)$$

Значення $b_{пот}$ та $z_{пот}$ надано в табл. 1, і відповідно до них обчислено значення $d_{пот}$.

Порівнювати вартість електроенергії будемо по відношенню до вартості АЕС, як найбільш прийняттого джерела електроенергії для систем акумуляційного електроопалення. Порівняння будемо здійснювати по формулі:

$$e_{АЕС, i} = \frac{e_i - e_{АЕС}}{e_{АЕС}} \cdot 100\%; \quad (4)$$

де e_i – вартість i -ого джерела електроенергії; $e_{АЕС}$ – вартість електроенергії від АЕС. У випадку України приймаємо значення e як $d_{пот}$. Обчислені значення представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняння вартості електроенергії від різних джерел в Україні на прикладі даних ПАТ «Київенерго» [10]

Джерело енергії	$b_{пот}$, %	$z_{пот}$, %	$d_{пот}$	$e_{АЕС}$, %
АЕС	29,32	53,74	55	0
Генеруючі компанії ТЕС	45,96	31,78	145	165
Теплоелектроцентралі	12,51	7,01	178	227
ГЕС (крім малих)	5,23	6,21	84	54
ГЕС (малі)	0,56	0,13	431	690
ВЕС	2,54	0,66	385	605
Інші	3,88	0,47	–	–

Загалом	100,00	100,00	–	–
---------	--------	--------	---	---

Отримані значення демонструють, що в умовах України найдешевшим джерелом електроенергії є АЕС. Для всіх інших джерел вартість електроенергії є значно вищою, особливо для відновлювальних джерел – малих ГЕС та ВЕС.

Порівнюємо ситуацію, що склалась в Україні з закордонним досвідом. Порівнювати будемо з країнами, де технології використання надлишково виробленої електроенергії для забезпечення потреб тепло- та холодопостачання систем мікроклімату будівель набули широкого використання: США [11] та Великобританією [7, 8, 9].

Таблиця 2 – Порівняння вартості електроенергії закордоном

Джерело електроенергії	Вартість електроенергії*			$e_{\text{АЕС, в}}$ %		
	Min	Av	Max	Min	Av	Max
США, \$/(МВт·год)						
Сучасні АЕС	91,8	95,2	101,0	0	0	0
Вугільні ТЕЦ (прості)	87,1	95,1	119,0	-5	0	18
ГЕС	69,3	83,5	107,2	-25	-12	6
Газові ТЕЦ з використанням комбінованого циклу (стандартні)	70,4	75,2	85,5	-23	-21	-15
ВЕС (наземні)	65,6	73,6	81,6	-29	-23	-19
Великобританія, £/(МВт·год)						
Сучасні АЕС	82	93	121	0	0	0
Вугільні ТЕЦ з інтегрованим комбінованим циклом газифікації, включно зі збором зберіганням вуглецю	137	148	171	49	55	69
Газові ТЕЦ з використанням комбінованого циклу (стандартні)	65	66	68	-29	-31	-33
ВЕС (наземні)	47	62	76	-49	-35	-25

*Примітка: вартість електроенергії наведена на 2015 рік у вказаних грошових одиницях по відношенню на 1 МВт·год для США згідно даних Energy Information Administration (з перспективою на 2020 рік) [12], а для Великобританії – згідно даних Department for Business, Energy and Industrial Strategy [13].

Дані з вартості електроенергії наведено в табл. 2. Дані наведено для трьох діапазонів, а саме найнижчого (Min), середнього (Av) та максимального (Max). Порівняння вартості кожного

з наведених джерел електроенергії по формулі (4) будемо провадити для вартості відповідних діапазонів.

Результати табл. 2 свідчать про відмінну від України ситуацію. Перш за все, вартість електроенергії від кожного з вказаних джерел є більш збалансованою (відсутня ситуація, коли електроенергія від одного джерела коштує в декілька разів більше за інше). По-друге, в деяких випадках є дешевші альтернативи з виробництва електроенергії, ніж АЕС. Як в США, так і Великобританії в усіх діапазонах вартості дешевшим за використання АЕС було використання газових ТЕЦ та ВЕС.

Що стосується використання газових ТЕЦ для потреб теплопостачання замість безпосереднього спалювання газу на котельних, то тут побутують різні думки щодо прийнятності того чи іншого рішення. Водночас, саме відновлювані джерела енергії, такі як ВЕС, сьогодні вивчають закордоном з огляду на використання їх надлишково виробленої електроенергії для забезпечення потреб опалення [11].

В якості висновку вкажемо, що вартість електроенергії залежить й від ступені використання зазначених джерел – і оскільки ступінь їх використання зростатиме завдяки глибокій інтеграції цих систем для забезпечення потреб в тепло- та холодопостачанні, то вартість електроенергії може зменшитись. При цьому зазначимо, що вартість електроенергії в період дії пільгової вартості буде меншою за вартість електроенергії в період основного навантаження системи, до якого й має відношення вартість електроенергії з табл. 2. Наприклад, в Україні вартість електроенергії в пільговий період становить для побутових споживачів за тризонного тарифу лише 40% від її вартості в основні години, а для непобутових споживачів за аналогічного тарифу – взагалі 25%.

Огляд систем акумуляції систем тепло- та холодопостачання

В цій роботі обмежимося оглядом трьох систем, які забезпечують або ж потреби холодопостачання, або ж потреби теплопостачання, а саме: 1) систем центрального холодопостачання установок кондиціонування повітря, 2) систем центрального опалення та 3) систем місцевого акумуляційного електроопалення.

Системи центрального холодопостачання установок кондиціонування повітря.

Створення централізованих систем

холодопостачання має ту перевагу, що дозволяє централізовано зберігати холод, тим самим значно здешевлюючи вартість системи, ніж це було б за індивідуального встановлення установок з генерації холоду (наприклад, холодильних машин SPLIT-кондиціонерів). Виробництво холоду в нічні години в період дії пільгового тарифу не тільки коштуватиме дешевше, але й у випадку використання повітряної холодильної машини (ХМ) за, як правило, нижчої вночі температури зовнішнього повітря позитивно вплине на коефіцієнт перетворення холоду.

Використання акумуляторів холоду є досить витратним і тому потребує попереднього техніко-економічного обґрунтування, бо зі зменшенням вартості електроенергії дешевшим може бути безпосереднє споживання електроенергії, а не акумуляованні її в період дії пільгового тарифу. Так, якщо розглядати досвід Північної Америки [14, 15], то практику впровадження позапікових систем кондиціонування повітря (off-peak air conditioning) там стимулювало як раз підвищення вартості електроенергії і ті роки, коли її вартість знижувалась, знижувалась й зацікавленість у використанні систем акумуляції [16].

З оглядом різних варіантів систем акумулявання холоду можна ознайомитись в [17] та [18]. Найбільшу увагу серед них приділяють фазовим акумуляторам холоду [19]. В літературі є певні розбіжності щодо температури, яка застосовується для акумулявання холоду в цих акумуляторах: в [19] діапазон температури становив (-6)...(-3) °С, в [20] наводилось 0 °С, а в [21] температура складала 10 °С.

Що стосується частки акумуляованого холоду від загальної холодопродуктивності протягом доби, то вона залежить від багатьох факторів: вартості електроенергії та характеру теплонадходжень у часі до приміщень, коливань температури навколишнього повітря і т.д. [22, 23].

Окрім акумуляції холоду можливо використовувати джерела холоду з низькими значеннями температури, на кшталт води з відкритих водойм – і за цих умов відмовитись повністю або частково від використання холодильної машини, охолоджуючи холодоносій напряму через теплообмінник [24, 25]. Але встановлення таких систем не виключає необхідності резервування запасу холодної води, необхідної для роботи в пікових режимах.

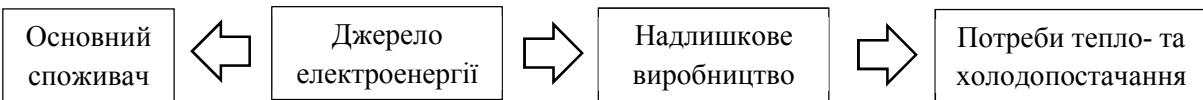


Рисунок 1 – Розподілення електроенергії

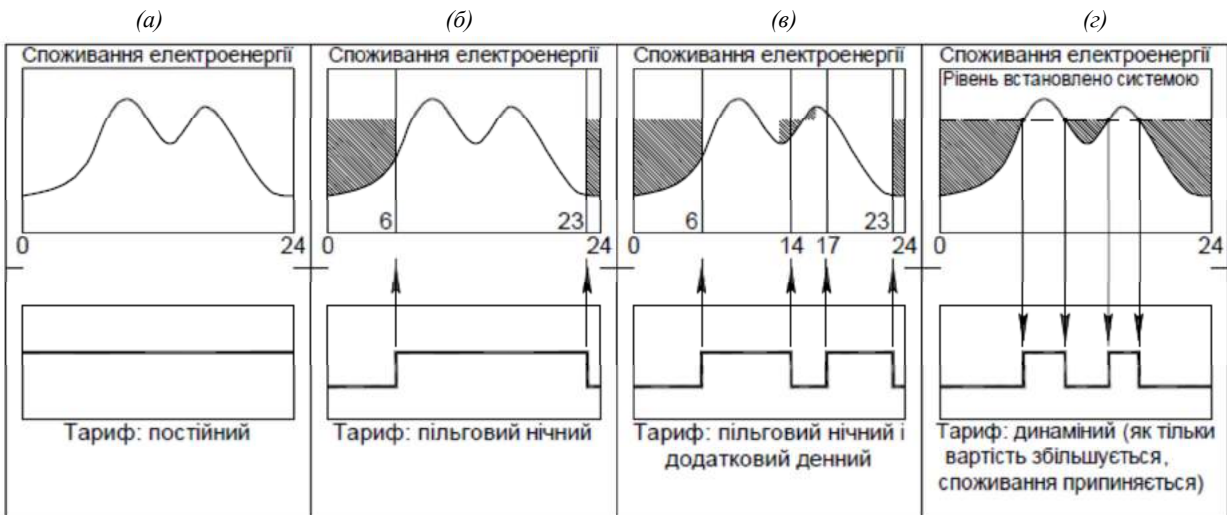


Рисунок 2 – Споживання електроенергії в залежності від вартості:

а) споживання електроенергії за єдиної вартості електроенергії; б) додаткове споживання надлишків електроенергії за пільгового тарифу в нічні години за сталого інтервалу; в) додаткове споживання надлишків електроенергії за пільгового тарифу в нічні та певні денні години за сталого інтервалу; з) додаткове споживання електроенергії за динамічного формування вартості.

Системи центрального тепlopостачання.

В [26] було продемонстровано, що ефективність системи центрального опалення зростатиме з її

централізацією: за однакової необхідної теплової потужності чим менше було акумуляторів (і чим, відповідно, була більшою теплоакумулююча

здатність одного акумулятора), тим раціональніше використовувалась їх теплоакумулююча здатність – за потужніших акумуляторів зменшувалась потреба в електроенергії в години пікового теплоспоживання, тобто можливо було акумулювати енергію в кількості, достатній для забезпечення потреб теплопостачання протягом довшого періоду часу.

Як правило, системи центрального теплопостачання з акумуляцією або використовують в якості теплоакумулюючого матеріалу (ТАМ) воду (або ж інший рідинний теплоносіє), або ж твердотільний матеріал. Генерація теплоти в цих системах може здійснюватися як за використання електричних нагрівачів опору, так і за допомогою теплових насосів. Відмінність варіантів полягає в тому, що за застосування електричних нагрівачів опору можливо досягти значення температури розігріву в твердотільних ТАМ, що сягає 600...800 °С (та з подальшим охолодженням ТАМ приблизно до 100 °С), в той час як за використання теплового насосу температура не буде перевищувати значень в 90 °С (і саме тому в цих системах використовуються переважно рідинні акумулятори). Розглянемо виконане в [3] порівняння системи центрального теплопостачання з застосуванням теплових насосів з водяним баком-акумулятором та з застосуванням центральних електротепло-акумулюючих обігрівачів (ЦЕО), що використовують для акумуляції теплової енергії твердотільний ТАМ та нагрівають його за допомогою електричних нагрівачів опору [8]. З останніми системами можна ознайомитись на прикладі техніки виробництва компаній Schürer-Benz та Steffes. Варто зазначити, що масштаб впровадження цих систем може помітно відрізнятись: у випадку теплових насосів мова може йти про забезпечення жителів цілого району, в той час як ЦЕО мають меншу потужність та використовуються для теплопостачання окремих об'єктів, на кшталт приватного будинку.

Порівняння з [3] показало як змінюється необхідне резервування системи (в якості резерву виступали газові котли) в залежності від доступності електроенергії від ВЕС та потреби в теплопостачанні за використання теплових насосів та ЦЕО. Наведена методика продемонструвала, що чим дешевшою є електроенергія, тим більш вигідним буде застосування ЦЕО, а з підвищенням вартості електроенергії кращі показники демонструють теплові насоси. В усіх розглянутих випадках існувала економічна виправдана потреба у використанні резервної газової системи теплопостачання. Але навіть авторами роботи [3] даний розрахунок характеризувався як ідеалізований і зазначалось, що ситуація з вибором джерела опалення залежить від

більшої кількості факторів.

Розглянуті в цьому аналізі системи можливо скомбінувати в єдиному приладі [27], в якому тепловий насос забезпечує потреби в теплоті у повітряній системі опалення будинку і працює до певної заданої температури зовнішнього повітря, а коли температура зовнішнього повітря є нижчою за встановлене значення, починає використовуватись ЦЕО для нагріву повітря в даній системі опалення.

З економічними аспектами ЦЕО можна ознайомитись в [28], де були наведені формули для визначення оптимальної потужності ЦЕО в залежності від теплоспоживання будівлі.

Акумулявання в системах місцевого (кімнатного) акумуляційного електроопалення.

До таких систем відносяться електрокабельні системи підлогового акумуляційного опалення (ЕКС ОТА) та електротеплоакумулюючі обігрівачі (ЕО), також відомі як теплонакопичувачі та теплоакумулюючі електродіодні печі [7, 8, 9]. Принцип роботи ЕО, як в ЦЕО, полягає в акумулюванні теплоти в твердому матеріалі шляхом нагрівання його в період дії пільгового тарифу електричними нагрівачами опору.

Якщо порівнювати ЕКС ОТА та ЕО, то останні системи мають значну перевагу в тому, що здатні у випадку відповідної конструкції змінювати температуру в обслуговуваному приміщенні і саме такі ЕО й представлені сьогодні на ринках [8]. Розглянемо це більш детально в наступному розділі.

Динамічне регулювання місцевих систем опалення

На рис. 3. показано три варіанти підтримання температури в приміщенні. Так, використання ЕКС ОТА може бути допустимим, якщо протягом доби не очікується жодних змін температури приміщення. (рис. 3а). В такому разі температура приміщення буде коливатися в заданому діапазоні.

Водночас, зараз все більша увага приділяється можливості зниження температури в обслуговуваному приміщенні та заощадженні коштів. Якщо використовувати нерегульовані системи, спроектовані на єдине (найвище) значення температури в приміщенні, то в години, коли було б бажаним знизити температуру повітря в обслуговуваному приміщенні, цього б неможливо було б досягти внаслідок відсутності регулювання теплового потоку (рис. 3б). В такому разі мав би місце перегрів приміщення та нераціональне використання акумульованого тепла.

У випадку використання ЕО, здатного регулювати температуру в обслуговуваному

приміщенні, можливо було б знизити температуру (рис. 3в) і таким чином не перегрівати приміщення та заощаджувати кошти. Зокрема, одним з питань, які вивчає проект RealValue є вивчення того, як користувачі налаштовують температуру в приміщеннях, з тим, аби оптимізувати споживання електроенергії ЕО та оптимізувати прогнози зі споживання електроенергії.

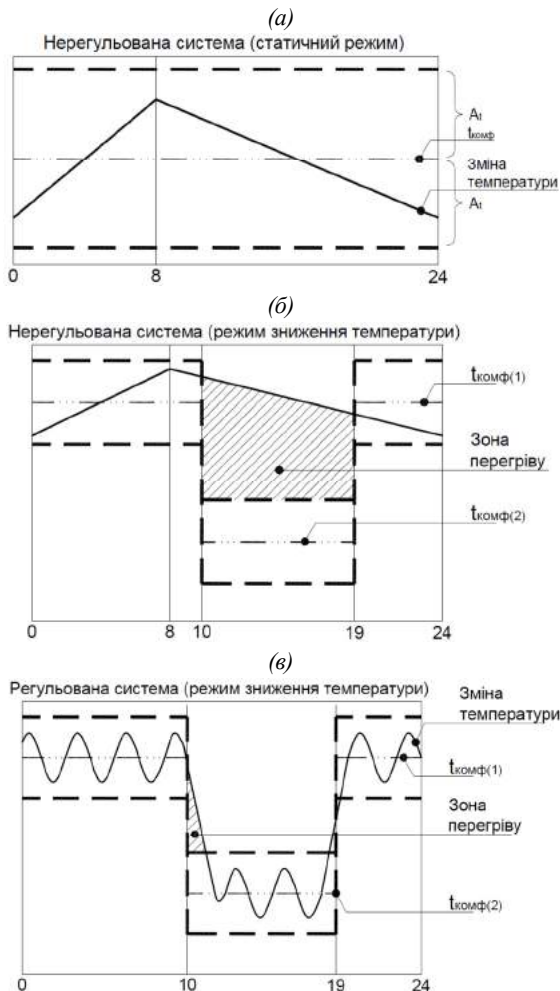


Рисунок 3 – Якість підтримання температури в приміщенні в залежності від необхідних її значень протягом доби:

(а) – нерегульована система (статичний режим); (б) – нерегульована система (режим зниження температури); (в) – регульована система (режим зниження температури).

Примітки: A_1 – допустиме значення коливання температури в приміщенні.

В залежності від здатності до регулювання тепловіддача від ЕО загальна тепловіддача від приладу Q_{EO} , Вт, поділяється на дві складові: регульована тепловіддача Q_{per} , Вт, від повітряних каналів приладу та нерегульована тепловіддача $Q_{n.per}$, Вт, від зовнішніх поверхонь приладу:

$$Q_{EO} = Q_{per} + Q_{n.per} \quad (4)$$

Значення нерегульованої тепловіддачі (яке в літературі інколи характеризують як статичне – див. рис. 3а) від приладу може змінюватись протягом доби, так як воно залежить від температури ТАМ. Оскільки акумульоване тепло витрачається протягом доби, то й температура ТАМ зменшується, внаслідок чого й зменшується перепад температур в теплоізоляційному прошарку, що відділяє ТАМ від оточуючого середовища. Тому для підбору ТАМ необхідно проаналізувати два значення тепловіддачі: максимальної (в момент найвищої температури ТАМ) та мінімальної (в момент найнижчої температури ТАМ).

На відміну від нерегульованої тепловіддачі, максимальне значення регульованої тепловіддачі потрібно приймати таким, аби його можливо було б досягти в будь який період доби. Таким чином, здійснювати регулювання приладу можливо буде лише в тому випадку, коли сума мінімального значення нерегульованої тепловіддачі та регульованої тепловіддачі будуть перевищувати максимальне значення нерегульованої тепловіддачі від приладу:

$$Q_{per} + (Q_{n.per})_{min} > (Q_{n.per})_{max} \quad (5)$$

Підбір відповідної конструкції ЕО для заданого діапазону тепловіддачі потребує розрахунків для визначення співвідношення $(Q_{per}/Q_{n.per})$. Це співвідношення залежить від того, наскільки може коливатись значення необхідного теплового потоку до приміщення протягом доби. Певні рекомендації з цього питання наводились в [7].

Висновки

Було проаналізовано роботи, присвячені підвищенню ефективності використання наявних потужностей з виробництва електроенергії, які продемонстрували значну зацікавленість у вивченні систем з динамічним (непостійним у часі) акумулюванням електроенергії для забезпечення потреб систем тепло- та холодопостачання мікроклімату приміщень. Проведений аналіз показав суттєві відмінності в оцінці вартості електроенергії в Україні та тих країнах, де вказані вище системи отримали широке застосування. В подальшому планується вивчення впливу ціноутворення в Україні на стан справ з поширенням технології систем акумуляційного електроопалення.

Огляд питання вибору між двома типами місцевих систем опалення продемонстровано яким чином динамічне регулювання тепловіддачі від приладів дозволяє заощаджувати теплову енергію за умови зниження температури в обслуговуваному приміщенні та те, яким має бути співвідношення

регульованої та нерегульованої тепловіддачі від режиму у обслуговуваному приміщенні. приладу для забезпечення заданого теплового

Література

1. *Potential for Smart Electric Thermal Storage Contributing to a low carbon energy system* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.dimplex.co.uk/assets/Downloads_PDF/Kema_Report.pdf – назва з екрану
2. *Nicolson M. Are consumers willing to switch to smart time of use electricity tariffs? The importance of loss-aversion and electric vehicle ownership* / M. Nicolson, G. Huebner, D. Shipworth // *Energy Research & Social Science*. – 2017. – Volume 23. – pp. 82-96. – ISSN 2214-6296. – doi: 10.1016/j.erss.2016.12.001
3. *Pensini A. Economic analysis of using excess renewable electricity to displace heating fuels* / A. Pensini, C.N. Rasmussen, W. Kempton // *Applied Energy*. – 2014. – Volume 131. – pp. 530-543. – ISSN 0306-2619. – doi: 10.1016/j.apenergy.2014.04.111
4. *RealValue* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.realvalueproject.com/> – назва з екрану
5. *RealValue* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ec.europa.eu/inea/en/horizon-2020/projects/h2020-energy/realvalue> – назва з екрану
6. *RealValue* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://cordis.europa.eu/project/rcn/196841_en.html – назва з екрану
7. Лисак О. В. Визначення необхідної потужності електричних теплоаккумуляційних обігрівачів / О. В. Лисак // *Вісник Національного університету «Львівська Політехніка». Серія «Теорія і практика будівництва»*. – Львів : НУ «Львівська політехніка», 2016. – № 844. – С. 127-138. – ISSN 0321-0499.
8. Малкін Е. С. Теплоакмулюючі електронечі. Термінологія і класифікація / Е. С. Малкін, О. В. Лисак // *Промислова електроенергетика та електротехніка (Промелектро)*. – 2014. – № 3. – С. 69–74. – ISSN 2409-2924.
9. Лысак Олег. Выбор теплоаккумулирующих электронечей при внедрении в Украине / Олег Лысак, Эдуард Малкин // *Budownictwo o zoptimalizowanym potencjale energetycznym*. – *Częstochowa (Poland) : Politechnika Częstochowska*, 2015. – № 1 – С. 117–125. – ISSN 2299-8535.
10. *Електроенергія з ОРЕ (2016 рік)* [Електронний ресурс]. – Режим доступу http://kuivenergo.ua/elektroenergiya_z_ore – назва з екрану
11. *Sateriale M.E. Modeling and analysis of masonry electro-thermal heating and storage for optimal integration with remote stand-alone wind-diesel systems: Master's thesis* [Електронний ресурс] / Maura Eileen Sateriale. – College of Engineering and Mines, University of Alaska Fairbanks, United States, 2013. – Режим доступу <https://scholarworks.alaska.edu/handle/11122/4476> – назва з екрану
12. *Levelized cost and levelized avoided cost of new generation resources in the Annual Energy (2015 year)* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.eia.gov/outlooks/archive/aeo15/pdf/electricity_generation_2015.pdf – назва з екрану
13. *Electricity generation costs* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/566567/BEIS_Electricity_Generation_Cost_Report.pdf – назва з екрану
14. *Hasnain S.M. Review on sustainable thermal energy storage technologies, Part II: cool thermal storage* / S.M. Hasnain // *Energy conversion and management*. – 1998. – Volume 39. – P. 1139-1153. – ISSN 0196-8904 – doi: 10.1016/S0196-8904(98)00024-7.
15. *Nagengast B. A History of Comfort Cooling Using Ice* / B. Nagengast // *ASHRAE Journal*. – New York. – Feb 1999. – pp. 49-57.
16. *Bahnfleth W.P. Prospects for Cool Thermal Storage in a Competitive Electric Power Industry* / W.P. Bahnfleth, D.T. Reindl // *Journal of Architectural Engineering*. – 1998. – Volume 4. – P. 18-25. – ISSN: 1076-0431 (Print); 1943-5568 (Online). – doi: 10.1061/(ASCE)1076-0431(1998)4:1(18).
17. *Mahlia T.M.I. A review of available methods and development on energy storage; technology update* / T.M.I. Mahlia, T.J. Saktisahdan, A. Jannifar, M.H. Hasan, H.S.C. Matseelar // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2014. – Volume 33. – P. 532-545. – ISSN 1364-0321. – doi: 10.1016/j.rser.2014.01.068.
18. *Yau Y.H. A review on cool thermal storage technologies and operating strategies* / Y.H. Yau, B. Rismanchi // *Y.H. Yau, B. Rismanchi // Renewable and sustainable energy reviews*. – 2012. – Volume 16. – P. 787-797. – ISSN 1364-0321. – doi: 10.1016/j.rser.2011.09.004.
19. Пуховий І.І. Акумулятори холоду з використанням фазового переходу / І.І. Пуховий, М.О. Кривошеєв // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2013. – № 1. – С. 74-49. – ISSN. 1997-9266.
20. *Бондарь Е.С. Энергосберегающие системы кондиционирования воздуха с аккумуляцией холода* / Е.С. Бондарь, П.В. Калугин // *СОК*. – 2006. – № 3. – С. 44-48.
21. *Mehling H. Heat and cold storage with PCM* / H. Mehling, L.F. Cabeza. – Berlin : Springer, 2008. – p. XVI, 308. – ISBN: 978-3-540-68556-2; e-ISBN: 978-3-540-68557-9. – doi: 10.1007/978-3-540-68557-9.
22. *Дубовський С.В. Стан, перспективи і проблеми розвитку централізованого теплопостачання* / С.В. Дубовський, О.С. Твердохліб, П.П. Куделя // *Відновлювана енергетика*. – 2015. – № 4. – С. 50-60. – ISSN 1819-8058.
23. *Селивестров Ю. М. Экономика систем кондиционирования воздуха с аккумулятором холода / Ю. М. Селивестров, В. В. Ефремов // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика*. – 2013. – № 1. – С. 30-33. – ISSN 1609-7483.

24. Лисак О. В. Використання відкритих поверхневих водойм для холодопостачання / О. В. Лисак, Є. О. Кулінко // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки. – К. : Київський національний університет технологій та дизайну, 2015. – № 5. – С. 15–23. – ISSN 1813-6796.

25. Лисак О. В. Системи прямого охолодження від відкритих водойм / О. В. Лисак // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки. – К. : Київський національний університет технологій та дизайну. – 2016. – № 5. – С. 57–65. – ISSN 1813-6796.

26. Hughes L. Meeting residential space heating demand with wind-generated electricity / L. Hughes // Renewable Energy. – 2010. – Volume 35. – Issue 8. – P. 1765-1772. – ISSN 0960-1481. – doi:10.1016/j.renene.2009.11.014

27. Forced Air Furnaces with Heat Pump [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://steffes.com/off-peak-heating/forced-air-heatpump.html> – назва з екрану

28. Bedouani B.Y. Central electric thermal storage (ETS) feasibility for residential applications: Part 2. Techno-economic study / B.Y. Bedouani, B. Labrecque, M. Parent, A. Legault // International Journal of Energy Research. – 2001. – Volume 25. – P. 73–83. – ISSN: 0363-907X (Print); 1099-114X (Online) – doi: 10.1002/1099-114X(200101)25:1<73::AID-ER611>3.0.CO;2-K.

Стаття надійшла в редколегію 05.04.2017

Рецензент: д.т.н., проф. Е. С. Малкін, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Лысак Олег Витальевич

инженер отдела геотермальной энергетики, ORCID: 0000-0002-4934-0685

Институт возобновляемой энергетики Национальной академии наук Украины, Киев

ДИНАМИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АККУМУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ ТЕПЛО- И ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА ПОМЕЩЕНИЙ

Аннотация. Сейчас в Украине актуальным вопросом является уменьшение стоимости систем тепло- и холодноснабжения для обеспечения микроклимата помещений. В этой работе проведен анализ аккумуляторных подтипов рассматриваемых систем, использующих электроэнергию, произведенную в период действия льготного тарифа для генерации тепла или холода с целью обеспечения микроклимата помещений. Проведенный анализ дал повод для сравнения стоимости электроэнергии от различных источников как в Украине, так и за рубежом, а также продемонстрировал преимущества изменения стоимости электроэнергии в зависимости от ее реального потребления, конечной целью которого является обеспечение наиболее полного использования излишков произведенной электроэнергии. Также были рассмотрены три варианта систем с использованием аккумуляции энергии: систем центрального холодноснабжения с аккумуляцией холода, систем центрального теплоснабжения с аккумуляцией теплоты и систем местного аккумуляторного электроотопления. Для последних систем было продемонстрировано сравнение двух их подтипов и представлены преимущества систем, способных поддерживать разную температуру в обслуживаемых помещениях.

Ключевые слова: аккумуляторные системы отопления, аккумуляторы холода, динамическое изменение стоимости электроэнергии

Lysak Oleg

Engineer, Geothermal department, ORCID: 0000-0002-4934-0685

Institute of Renewable Energy at National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

DYNAMIC REGULATION OF ELECTRIC SPACE HEATING AND COOLING SYSTEMS

Abstract. Nowadays in Ukraine it is an important issue is to reduce the cost of electric space heating and cooling. This paper analyzes the storage subtypes of the systems that use electricity generated during the period of low price for generating heat or cold and use it space heating or cooling, respectively. The analysis provided a comparison of the cost of electricity from different sources both in Ukraine and abroad, and demonstrated the benefits of changes in the cost of electricity based on its actual consumption, which is intended to ensure the fullest use of surplus electricity produced. There were considered three options for systems using stored energy: 1) central cooling systems with cold storage, 2) district heating systems with thermal storage and 3) room stores. There was made a special comparison of two types of room stores: 1) modern storages heaters with regulated heat output and 2) storage underfloor heating. It was demonstrated the advance of modern storage heaters on storage underfloor heating in terms of better maintaining room temperature. Storage heater can maintain different temperatures in room but it requires the right balance of regulated and unregulated heat output from unit.

Keywords: storage heating, cold storage, dynamic pricing of electricity

УДК721.021

Малий Олександр Віталійович

*Аспірант кафедри архітектурного проектування цивільних будівель і споруд, ORCID:0000-0002-1760-7445
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ*

Кащенко Тетяна Олександрівна,

*Кандидат архітектури, доцент кафедри архітектурного проектування цивільних будівель і споруд,
ORCID:0000-0002-8535-8399
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ*

АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНИХ ВИМОГ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ДИТЯЧИХ ЗАКЛАДІВ ОЗДОРОВЛЕННЯ ТА ВІДПОЧИНКУ

***Анотація.** В статті розглянуті питання пов'язані з екологічними проблемами та їх зв'язок з архітектурною діяльністю, та, зокрема, з проектуванням дитячих закладів оздоровлення та відпочинку. Розглянуті екологічні стандарти, в основі яких лежить метод LCA (LifeCycleAssessment) - оцінка екологічних, економічних і соціальних впливів на навколишнє середовище на всьому життєвому циклі будівель та їх компонентів, що поширені закордоном. Розглянуто екологічні вимоги, які зараз висуваються при проектування дитячих закладів оздоровлення та відпочинку. Наведені приклади реалізованих сучасних проектів дитячих закладів.*

***Ключові слова:** архітектура; екологія; сталий розвиток; архітектурне середовище; дитячі заклади; оздоровлення та відпочинок*

Постановка проблеми

В умовах погіршення екологічної ситуації в світі та Україні діяльність дитячих закладів оздоровлення та відпочинку стає дедалі актуальнішою, оскільки присвячена зменшенню негативного впливу міського середовища на фізичний та психологічний розвиток дітей. Крім того, дитячі заклади оздоровлення та відпочинку мають значний потенціал для розвитку особистості через залучення до різних видів діяльності, розкриттю власних талантів, набуття життєвого досвіду. І значний вплив на ці процеси має саме архітектурне середовище дитячих закладів оздоровлення та відпочинку, що повинно відповідати багатьом вимогам, основні серед яких екологічність, безпека і комфорт [4, 6, 8].

Більшість досліджень, що стосуються архітектури дитячих закладів зосереджуються на функціонально-економічних та художньо-образних аспектах формування цих закладів, проте недостатньо висвітлюють проблеми екологічного характеру.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Архітектори Полянський А.В., Гусев В.В., Сичьова А.В., Тхор Е.О. приділили свою увагу дослідженням структури піонерських таборів, типології та організації будівель, узгодженню стандартизації та індустріалізації будівництва з

архітектурною творчістю, архітектурній організації відкритого простору піонерських таборів.

Особливостям розвитку організації місць для відпочинку та рекреаційних зон присвячені роботи Фоміна І.О., Панченко Т.Ф., Вандаловської Е.І., Голод А.П., Папп В.В.

Основні принципи формування дитячого архітектурного середовища розглянуті в роботах Ковальського Л.М., Слепцова О.С., Куцевича В.В., Сьомки С.В., Ахаїмової А.О., Ернст Т. К., Антонюка Д.І., Платонової О.Б., R. Bachmann, K. Daniels, M. Krampfer.

Розглянуті проекти дитячих закладів розроблені архітекторами Studio Bernardo Secchi & Paola Viganò, B. Zeisser, M. Lammers з бюро 24H, а також проекти дитячих таборів - Beau Rivage Camp Site, International Camp Site of Bordeaux – Bruges, Les Chevreuils Camp Site, Cold'Ibardin Camp Site, Les Pin camp site, та інші.

Постановка задачі

Основна ціль статті полягає у вивченні та структуруванні екологічних вимог при проектування дитячих закладів оздоровлення та відпочинку.

Основна частина

Питання організації відпочинку та оздоровлення дітей є невід'ємною складовою державної політики України, і визначені Законом України "Про

оздоровлення та відпочинок дітей" (від 04.09.2008 №375-VI) та конкретизуються у Типовому положенні про дитячий заклад.

Основні екологічні вимоги, що стосуються улаштування, утримання і організації режиму діяльності дитячих закладів оздоровлення та відпочинку в Україні регламентуються ДСанПіН 5.5.5.23-99 "Улаштування, утримання і організація режиму діяльності дитячих оздоровчих закладів".

Так в цих нормативах визначено основні вимоги до зонування, розмірів ділянок та санітарно-захисних розривів між ділянкою дитячого закладу оздоровлення та відпочинку з об'єктами різного призначення.

Передбачено вимоги до озеленення території, та загальні вимоги до будівель і споруд, що включають в себе: вимоги по опаленню приміщень, орієнтації вікон житлових кімнат, та перелік основних приміщень та площ необхідних для закладу.

Також в цьому документі дані загальні рекомендації по опорядженню приміщень дитячих закладів оздоровлення та відпочинку [1, 3].

Проте, в цілому, ці вимоги не є достатніми, оскільки не охоплюють багато факторів, як, наприклад, вплив на навколишнє середовище при будівництві та експлуатації цих закладів, та, зокрема, екологічні вимоги до конструкційних, ізоляційних та опоряджувальних матеріалів, тощо.

Взаємодією та взаємозв'язками двох систем — міської і природної займається наука урбоекотологія. Важливою сферою досліджень урбоекотології є ризики та небезпеки, що пов'язані з процесами урбанізації та їх вплив на природне середовище.

Забруднення середовища становить небезпеку для людського організму і в санітарно-гігієнічному аспекті може бути розділене на чотири групи: хімічне, фізичне, біологічне та радіаційне [7].

Загалом, екологічні вимоги до штучно створеного середовища можуть бути умовно поділені на дві групи: ті що стосуються взаємодії людини з цим середовищем, і ті, що стосуються взаємодії штучно створеного архітектурного середовища із навколишнім природним середовищем (рис. 1).

До екологічних вимог, що стосуються взаємодії системи "людина-архітектурне середовище" можна віднести:

- Ергономічність;
- Інсоляційний режим;
- Тепловологісний режим;
- Екологічну чистоту компонентів середовища;
- Акустичний комфорт;
- Зоровий комфорт.
- Психологічний комфорт;



Рисунок 1. Схема зв'язку систем «Людина-Архітектурне середовище – навколишнє середовище»

Загальною вимогою, що стосуються взаємодії системи "архітектурне середовище - природне середовище" є зменшення негативного впливу на навколишнє середовище, під час всього життєвого циклу будівлі, від будівництва до утилізації, що передбачає:

- Оптимізацію архітектурних форм у відповідності до кліматичних особливостей ділянки будівництва;
- Оптимальну орієнтацію будинків з урахуванням впливу вітру і сонця;
- Оптимізацію конструктивних схем будівлі для можливості раціонального використання будівельних матеріалів;
- Використання екологічних будівельних матеріалів;
- Використання сучасного інженерного обладнання, що дозволяє заощадити використання енергоресурсів, або використовує поновлювані джерела енергії для обслуговування будівлі [5].

Однією із поширених екологічних концепцій в архітектурній діяльності є кордоном «еко-дизайн» та «зелене будівництво» - практики проектування, будівництва та експлуатації будівель, основна ціль яких - зменшити продукти негативного впливу на навколишнє середовище протягом всього життєвого циклу об'єкту, при одночасному збереженні або підвищенні якості будівель та комфорту їх внутрішнього середовища [10].

Крім функціональних та економічних характеристик в цих підходах приділяють особливу увагу споживанню ресурсів при проектуванні, використанню поновлюваних джерел енергії, походженню матеріалів, безпеці використання, можливості повторного використання матеріалів із мінімальним екологічним збитком.

Для того, щоб оцінити відповідність нових архітектурних об'єктів основним принципам

«зеленого будівництва» проводиться сертифікація на відповідність стандартам, найбільш відомими з яких є BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), LBC (Living Building Challenge), DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen).

В основі зелених стандартів лежить метод LCA (Life Cycle Assessment) - оцінка екологічних, економічних і соціальних впливів на навколишнє середовище на всьому життєвому циклі продукції що включає виробництво, експлуатацію та утилізацію цієї продукції (рис.2).

В значній мірі ця оцінка стосується будівельних матеріалів. Важливу роль при цьому відіграють походження матеріалів, властивості матеріалів щодо енергозбереження, технологічність, експлуатаційні характеристики та можливість їх подальшої переробки після закінчення строку служби.

Використання сировини чи матеріалів з поновлюваних сировинних джерел, використання

сировини що була повторно перероблена, або повторне використання будівельних матеріалів та виробів значно знижують екологічні навантаження на навколишнє середовище.

Вибір оптимальної конструктивної схеми, та технологій будівництва, може також значно знизити кількість будівельних матеріалів що також позитивно впливає на екологічні характеристики об'єктів [11].

Комплексна екологічна оцінка архітектурних об'єктів в Україні передбачена ДБН А.2.2-1-2003, що встановлює порядок розроблення матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) у складі проектної документації на нове будівництво, розширення, реконструкцію та технічне переоснащення об'єктів промислового та цивільного призначення. Метою ОВНС є визначення доцільності і прийнятності планованої діяльності і обґрунтування економічних, технічних, організаційних, санітарних, державно-правових та інших заходів щодо забезпечення безпеки навколишнього середовища.

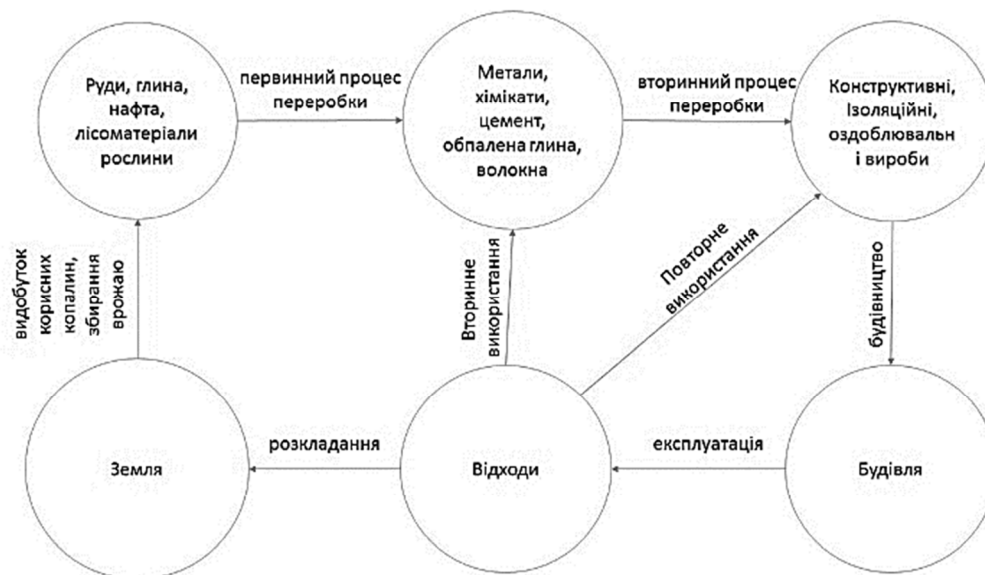


Рисунок 2. Схема життєвого циклу будівель та їх компонентів.

Оцінка впливів на навколишнє середовище, що регламентується ДБН А.2.2-1-2003 "Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд" вирішує ряд завдань, серед яких: - загальна характеристика існуючого стану території будівництва або їх варіантів; - визначення переліку можливих екологічно небезпечних впливів планованої діяльності на навколишнє середовище; - визначення масштабів та рівнів впливів планованої діяльності на навколишнє середовище; - прогноз змін стану навколишнього середовища відповідно до переліку впливів; - визначення комплексу заходів щодо

попередження або обмеження небезпечних впливів планованої діяльності на навколишнє середовище, необхідних для дотримання вимог природоохоронного та санітарного законодавств і інших законодавчих та нормативних документів, які стосуються безпеки навколишнього середовища [2].

Проте для дитячих закладів оздоровлення та відпочинку проходження повної оцінки не є обов'язковим в даний час.

В сучасній архітектурній практиці можна спостерігати збільшення кількості дитячих закладів оздоровлення та відпочинку, спроектованих з урахуванням екологічних вимог.

Зокрема, позитивним прикладом впровадження принципів еко-дизайну в архітектурі дитячих закладів можна назвати екологічний дитячий центр в Тайланді, в районі Ко Kut, розроблений архітекторами з бюро 24H (рис.3).



Архітектори надали переваги місцевим природним матеріалам: для оздоблення внутрішнього простору була використана деревина з сусідньої плантації, в якості конструктивних елементів були використані бамбукові колони та ротангові конструкції для куполу.

«De Hoge Rielen» - дитячий навчально-рекреаційний центр, розроблений архітекторами з Studio Bernardo Secchi & Paola Viganò в Бельгії (рис. 4).

Рисунок 3. Дитячий центр, Тайланд, арх. Boris Zeisser, Maartje Lammers (бюро 24H)

Кільцеподібна в плані структура будівлі оточує частину соснового лісу. До цього атріума звернений застеклений коридор – «зимовий сад», який розмиває межі інтер'єру і навколишнього середовища, та втілює ідею взаємозв'язку та взаємопроникності, що також продовжена у взаємодії між приміщеннями загального та особистого користування (рис. 5).

Конструкція цієї одноповерхової будівлі являє собою дерев'яний каркас з подвійно-утепленими стінами, що обшиті дерев'яними дошками з європейської модрина, яку вибрали за її стійкість до негативного впливу середовища. За задумом архітекторів, трохи скошений всередину «зелений» дах повинен працювати як покрівля давньоримського будинку, що збирає дощову воду в басейн-імпульсиві.

Численні успішні проекти екологічних дитячих закладів оздоровлення та відпочинку свідчать про актуальність розвитку цього напрямку.



Рисунок 4. Дитячий навчально-рекреаційний центр «DeHogeRielen. Фото FrederikBuyckx.

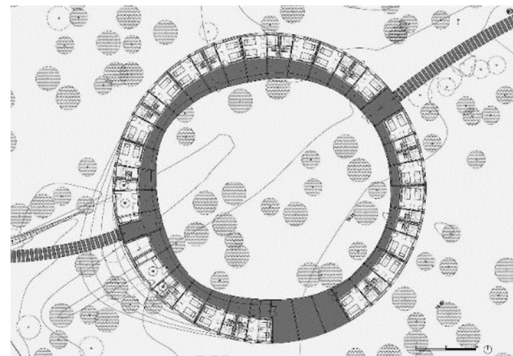


Рисунок 5. План дитячого навчально-рекреаційного центру «De Hoge Rielen».

Висновки

В умовах погіршення екологічної ситуації в світі доцільним є дослідження нових технологій і підходів в будівництві та проектуванні, що враховують антропогенний вплив на навколишнє середовище та мінімізують його негативні наслідки.

Існуючі норми потребують переосмислення, і мають набути структурного і комплексного характеру, та враховувати вплив архітектурного середовища, як на людей, так і на навколишнє середовище. Особливої уваги потребують норми, що стосуються діяльності дитячих закладів, оскільки дотримання екологічних вимог є основою створення сприятливого мікроклімату, безпечного та комфортного середовища, сприятливих умов для навчання, відпочинку і оздоровлення дітей.

Література

1. ЗАКОН УКРАЇНИ Про оздоровлення та відпочинок дітей [Електронний ресурс] // Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2008, № 45, ст.313. – 2008. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/375-17>.
2. ДБН А.2.2-1-2003 Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) [Електронний ресурс] // Державне підприємство "Український державний головний науково-дослідний і виробничий інститут інженерно-технічних і екологічних вишукувань УкрНДІПТБ". – 2003. – Режим доступу до ресурсу: http://www.dnaop.com/html/29828/doc-%D0%94%D0%91%D0%9D_%D0%90.2.2-1-2003.

3. ДСанПіН 5.5.5.23-99: Улаштування, утримання і організація режиму діяльності дитячих оздоровчих закладів / КИЇВ : Збірник важливих офіційних матеріалів з санітарних і протиепідемічних питань., 1999.
4. Ернст Т. К. Принципи формування архітектурного середовища дитячих освітньо-виховних закладів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. арх. наук : спец. 18.00.01 "теорія архітектури, реставрація пам'яток архітектури" / Ернст Тетяна Казимирівна – Київ, 2007. – 20 с.
5. Цигичко С. П. Екологія в архітектурі і містобудуванні / С. П. Цигичко. — Харків : ХНАМГ, 2012. — 146 р.
6. Куликовський С. С. Актуальний стан системи відпочинку та оздоровлення дітей в Україні / С. С. Куликовський // Вісник Черкаського університету. — 2015. — Vol. 10, No. Педагогічні науки. — Р. 84–89.
7. Кучерявий В. П. Урбоекологія: Підручник / В. П. Кучерявий. — Львів: Світ, 2001. — 440 с.
8. Олексієнко Н. Етапи розвитку освітньо-виховної роботи в дитячих оздоровчих таборах (друга половина ХХ – початок ХХІ століття). на / Н. Олексієнко // В. 121. — С. 307–311.
9. Савицький М. В. Оцінка екологічних параметрів об'єктів будівництва / М. В. Савицький, Ю. Б. Бендерський, М. М. Бабенко // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). — 2014. — В. 3. — С. 144–149.
10. Малий О. В. Застосування принципів "еко-дизайну" при проектуванні дитячих закладів оздоровлення та відпочинку з урахуванням досвіду програми "eco-camp" / О. В. Малий, Т. О. Каценко // Енергоефективність в будівництві та архітектурі. — 2016. — В. 8. — С. 202–206.
11. Berge B. The ecology of building materials / Bjørn Berge. — Oxford: Elsevier, 2009. — 447 с.

Стаття надійшла в редакцію 04.12.2015

Рецензент: док. арх., проф. В.В. Куцевич, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Малый Александр Витальевич

Аспирант кафедры архитектурного проектирования гражданских зданий и сооружений, ORCID:0000-0002-1760-7445
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев.

Кащенко Татьяна Александровна

Кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектурного проектирования гражданских зданий и сооружений,
ORCID:0000-0002-8535-8399
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев.

АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДЕТСКИХ ЗАВЕДЕНИЙ ОЗДОРОВЛЕНИЯ И ОТДЫХА

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы, связанные с экологическими проблемами в мире, и их связь с архитектурной деятельностью, и проектированием детских учреждений оздоровления и отдыха. Рассмотрены экологические стандарты, в основе которых лежит метод LCA (Life Cycle Assessment). Рассмотрены экологические требования, которые сейчас предъявляются при проектировании детских учреждений оздоровления и отдыха. Приведенные примеры реализованных современных проектов детских учреждений.

Ключевые слова: архитектура, проектирование, строительство, экология, архитектурная среда, детские учреждения, оздоровление, отдых.

Malyi Oleksandr

post-graduate in the Department of architectural design of civil buildings and structures, ORCID: 0000-0002-1760-7445
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kiev

Kashchenko Tetyana

PhD, associate Professor in the Department of architectural design of civil buildings and structures, ORCID: 0000-0002-8535-8399
Kyiv national University of construction and architecture, Kyiv

ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL REQUIREMENTS IN THE DESIGN OF CHILDREN'S INSTITUTIONS OF REHABILITATION AND RECREATION

Abstract. The article considers the issues related to environmental problems in the world, and their connection with architectural work, and in particular, design of children's institutions of rehabilitation and recreation. The environmental standards, which are based on the method of LCA (Life Cycle Assessment). Describes the environmental requirements that are now put forward in the design of children's institutions of rehabilitation and recreation.

Keywords: architecture, design, construction, environment, architectural environment, child care, recreation.

УДК 515.2

Мартынов Вячеслав Леонидович

Доктор технических наук, профессор

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

Икхалеа Едесири Бриджет

Студентка КНУСА

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ ОБОЛОЧКИ ЗДАНИЙ ЗАДАНОГО КЛАСА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В УЧЕБНО-ЖИЛЫХ УНИВЕРСИТЕТСКИХ КОМПЛЕКСАХ (КАМПУСАХ)

Аннотация. Для проектирования зданий заданного класса энергоэффективности предлагается аналитический способ определения оптимальных параметров: пропорций зданий, уровень сопротивления теплопередаче непрозрачных и светопрозрачных ограждающих конструкций, площади окон и их расположения на гранях здания для обеспечения заданного теплоэнергетического баланса здания (теплопотерь и теплопоступления от солнечной радиации через ограждающие конструкции). При этом возможна оптимизация как одного так и нескольких параметров одновременно. Разработан комплекс прикладных программ для быстрого решения в ходе архитектурного проектирования.

Ключевые слова: Университетский комплекс; оптимальные параметры здания; класс энергоэффективности здания; моделирование параметров

Постановка проблемы

В наше время в Украине есть потребность в повышении энергоэффективности зданий существующей застройки, в том числе и в сложившихся учебно-жилых

университетских комплексах (кампусах) за счет применения энергоэффективных мероприятий. Кампусы имеют учебные корпуса (рис.1), медицинские, центры культуры и искусства, студенческие общежития, научно-технические библиотеки и др.



Рисунок 1 – План университетского кампуса (КПИ)

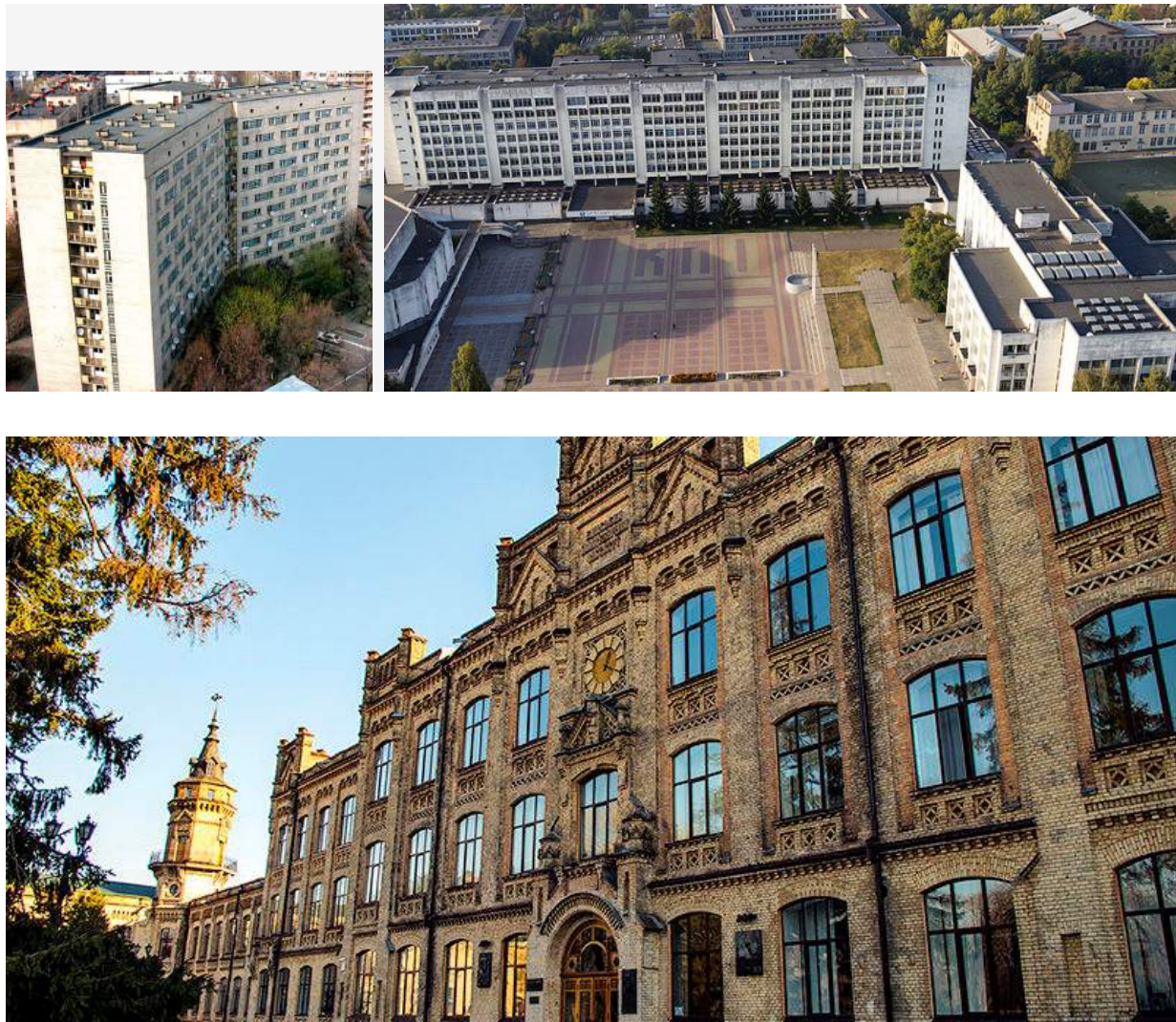


Рисунок 2 – Учебные и жилые здания кампуса (КПИ)

Кампусы имеют как исторические здания (рис.2) представляющие архитектурную ценность так и здания массовой застройки которые возможно термомодернизировать.

Перед архитекторами и инженерами-проектировщиками при проектировании новых зданий заданного класса энергоэффективности и термомодернизации существующих с целью повышения энергоэффективности и обеспечения заданного уровня теплового баланса ограждающих конструкций с окружающей средой, возникает задача определения оптимальных параметров здания: пропорций, площади световых проемов и расположения их на гранях здания, сопротивления теплопередаче светопрозрачных и непрозрачных ограждающих конструкций с учетом климатических особенностей места строительства, теплопотерь и теплопоступления от солнечной радиации.

Использование рассчитанных оптимальных параметров зданий, с учетом геометрической формы

и ориентации позволит сократить объемы строительных работ и расход строительных материалов, повысит скорость проектирования и качество проектных решений.

Таким образом проектировщику необходимо иметь способ быстрого определения оптимальных параметров здания еще на стадии эскизного проектирования. В этом направлении было проведено ряд исследований.

Анализ основных достижений и публикаций

Решению вопроса повышения энергоэффективности зданий посвящены работы [1–3], но в них определялись оптимальные пропорции зданий с точки зрения минимизации теплопотерь через ограждающие конструкции по одному параметру пропорций, даны рекомендации по ориентации здания в виде прямоугольного параллелепипеда без учета норм освещенности и инсоляции,

особенностей сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.

В работах [4, 5] отдельно оптимизировалась форма здания и отдельно параметры утеплителя непрозрачных конструкций здания с точки зрения минимального теплового баланса ограждающих конструкций. В работе [6] рассматривалась многопараметрическая оптимизация энергоэффективных зданий. Вопрос разработки способа и оптимизации параметров (формы, сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, площади и расположения окон на гранях) для получения заданного класса энергоэффективности зданий не рассматривался.

Цель исследований

Для быстрого определения параметров зданий, снижения объемов строительных работ и расхода строительных материалов, повышения скорости и качества проектирования, зданий заданного класса энергоэффективности необходимо предложить аналитический способ оптимизации параметров зданий с последующей разработкой пакета прикладных программ.

Критерием оптимизации является минимизация объемов расхода строительных материалов.

Основная часть

Разработан аналитический способ оптимизации параметров здания: сопротивления теплопередаче ($R_{ст.}, R_{вi}$) светопрозрачных и непрозрачных ограждающих конструкций при заданном общем уровне теплопотерь ΔQ_B для отопительного периода; пропорций зданий (a, b, h); площади конструкций ($S_{вi}, S_{стi}$) и геометрические параметры ориентации ($A_{вi}, \omega_{вi}$) расположения окон на гранях здания и др.

Математическая модель

Для решения составлена математическая модель теплового баланса $\Delta Q_{грi}$ каждой грани здания, которая имеет следующий вид:

$$\Delta Q_{ад_i} = \frac{S_{п\ddot{o}_i}}{R_{п\ddot{o}_i}} \cdot \left(t_{\ddot{a}_i} - \left(t_{\zeta_i} + \frac{r_i \cdot I_{сп_i}}{\alpha_{\zeta\ddot{o}_i}} \right) \right) \cdot N_{\ddot{a}\ddot{a}} + \frac{S_{в_i} \cdot D_{d_i}}{R_{в_i}} - Q_{сп_i} \cdot K_i \cdot \zeta_i \cdot \varepsilon_{o_i} \cdot S_{в_i} \quad (1)$$

Решение данной задачи сводится к оптимизации нелинейной функции с несколькими переменными с использованием компьютера. Переменными являются параметры сопротивления теплопередаче ($R_{стi}, R_{вi}$) светопрозрачных и непрозрачных конструкций, параметры пропорций

зданий (a, b, h), площадь ($S_{вi}$) светопрозрачных конструкций.

При этом суммарное сопротивление теплопередаче непрозрачных и светопрозрачных конструкций (объем строительных материалов) минимизируется:

$$\sum (R_{в_i} S_{в_i} + R_{ст_i} S_{ст_i}) \rightarrow \min. \quad (2)$$

Система ограничений

Суммарное количество теплопотерь ΔQ_B через ограждающие конструкции соответствует классу энергоэффективности здания и является неизменным:

$$\Delta Q_B = \sum \Delta Q_{гр_i} = \text{const}. \quad (3)$$

Объем здания при этом остается постоянным:

$$V_B = \text{const}. \quad (4)$$

Количество утеплителя, объем строительных работ минимизируется, при этом ограничиваются геометрические параметры сопротивления теплопередаче утеплителя соответственно [3]:

$$0,6 \leq R_{в_i} \leq 1,3, \quad 2,8 \leq R_{ст_i} \leq 7. \quad (5)$$

В зависимости от типа здания уточняются параметры ограничения, где t_{ζ_i} – фактическая температура наружного воздуха (град); $t_{вi}$ – температура внутреннего воздуха (град); r_i – альbedo поверхности грани здания; $I_{сп_i}$ – энергетическая освещенность воздуха коротковолновой радиацией ($Вт/м^2$); $\alpha_{\zeta\ddot{o}_i}$ – коэффициент теплообмена между наружной поверхностью ограждающей конструкции и наружным воздухом; $R_{ст_i}$ – сопротивление теплопередаче непрозрачных ограждающих конструкций ($м^2 \cdot К/Вт$); $N_{д\ddot{o}_i}$ – количество суток отопительного периода; $R_{в_i}$ – сопротивление теплопередаче светопрозрачных ограждающих конструкций ($м^2 \cdot К/Вт$); ζ_i – коэффициент, учитывающий затенение оконного проема непрозрачными элементами; ε_{o_i} – коэффициент относительного поступления солнечной радиации для светопрозрачных конструкций; $g = \zeta_i \cdot \varepsilon_o$ – фактор остекление окон.

Для расчетов оптимальных разработан ППП *Optimparam* (рис. 3). Решение данной задачи сводится к оптимизации нелинейной функции с использованием компьютера по нескольким переменным методом Хука-Дживса.

В зависимости от решаемой задачи возможно оптимизировать как один параметр так и несколько параметров зданий.

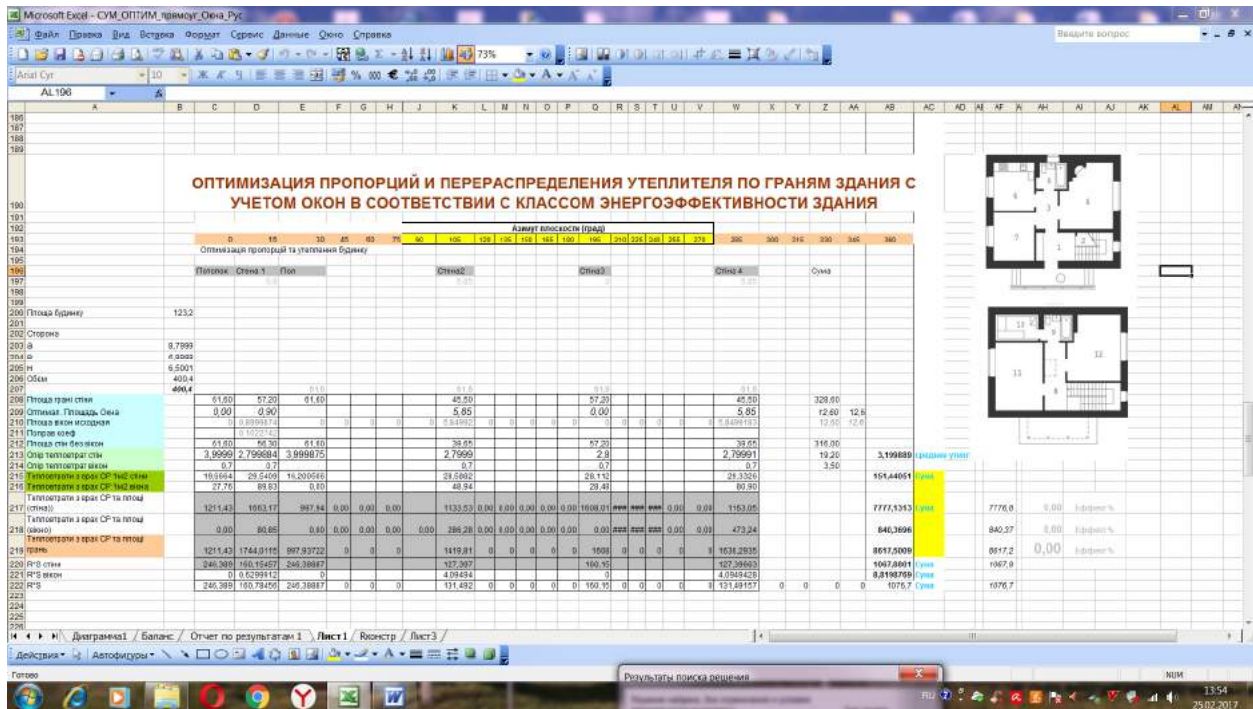


Рисунок 3 – Расчет оптимальных параметров зданий

Вывод

Разработан аналитический способ и комплекс программ *Optimparam* для оптимизации параметров

зданий гранной геометрической формы заданного класса энергоэффективности в учебно-жилых комплексах по критерию минимизации использования объема строительных материалов.

Литература

1. Маркус Т. А. Здания, климат и энергия / Т. А. Маркус, Э. Н. Морис. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 540 с.
2. Табунициков Ю. А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю. А. Табунициков М. М. Бродач. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2002. — 194 с.
3. Мартинов В. Л. Геометричне моделювання параметрів енергоактивних житлових будинків / В. Л. Мартинов // Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції «Геометрическое моделирование и компьютерные технологии: теория, практика, образование». – Харьков, 2009. – С. 153–158.
4. Сергейчук О. В. Оптимізація розподілу утеплювача по поверхні будівлі при заданому класі його ефективності / О. В. Сергейчук // Матеріали VI Міжнародної Кримської науково-практичної конференції «Геометричне та комп'ютерне моделювання: енергозбереження, екологія, дизайн». – Сімферополь, 2009. – С. 44–49.
5. Сергейчук О. В. Оптимізація форми енергоефективної будівлі, зовнішня оболонка якої n-параметрична поверхня / О. В. Сергейчук // Матеріали VII Міжнародної Кримської науково-практичної конференції «Геометричне моделювання та комп'ютерний дизайн». – Сімферополь, 2010. – С. 150–155.
6. Мартинов В. Л. Багатопараметрична оптимізація граничних енергоефективних будівель / В. Л. Мартинов // Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «Геометричне моделювання, комп'ютерні технології та дизайн: теорія, практика, освіта». – Ужгород, 2011. – С. 135–139.

Стаття надійшла в редколегію 08.04.2017

Мартинів Вячеслав Леонідович

Доктор технічних наук, професор

Київський національний університет будівництва і архітектури

Ікхалеа Едесірі Бріджет

Студентка

Київський національний університет будівництва і архітектури

**МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОЇ ОБОЛОНКИ БУДИНКУ ЗАВДАНЬ
КЛАСА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В НАВЧАЛЬНО-ЖИТЛОВИХ УНІВЕРСИТЕТСЬКИХ КОМПЛЕКСАХ
(КАМПУСАХ)**

***Анотація.** Для проектування будівель заданого класу енергоефективності пропонується аналітичний спосіб визначення оптимальних параметрів: пропорцій будівель, рівня опору теплопередачі непрозорих і світлопрозорих огорожувальних конструкцій, площі вікон і їх розташування на гранях будівлі для забезпечення заданого теплоенергетичного балансу будівлі з точки зору тепловтрат і теплонадходження від сонячної радіації через огорожувальні конструкції. При цьому можлива оптимізація як одного так і декількох параметрів одночасно. Розроблено комплекс прикладних програм для швидкого вирішення в ході архітектурного проектування.*

Ключові слова: *Університетський комплекс; оптимальні параметри будівлі; клас енергоефективності будівлі; моделювання параметрів*

Viacheslav Martynov

Doctor of technical sciences, professor

Kiev National University of construction and architecture (KNUCA), Kyiv

Ikhalea Edesiri Bridget

Student

Kiev National University of construction and architecture (KNUCA), Kyiv

**MODELING OF OPTIMUM PARAMETERS OF THERMAL INSULATION SHELL OF BUILDINGS OF ENERGY
EFFICIENCY ENERGY EFFICIENCY IN STUDY-RESIDENTIAL UNIVERSITY COMPLEXES (CAMPUSES)**

***Abstract.** For the design of buildings of a given class of energy efficiency, an analytical method is proposed for determining the optimal parameters: the proportions of buildings, the level of resistance to the heat transfer of opaque and translucent enclosing structures, the area of windows and their location on the sides of the building to provide the given heat and energy balance of the building (heat loss and heat input from solar radiation through enclosing structures). It is possible to optimize one or several parameters simultaneously. A set of application programs for a quick solution in the course of architectural design was developed.*

Keywords: *University complex; optimal building parameters; energy efficiency class of the building; parameter modeling*

УДК 697.7.

Масюк Ганна Юріївна

Магістрантка факультету інженерних систем та екології

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Приймак Олександр Вікторович

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теплотехніки, ORCID: 0000-0002-3081-6057

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

УТОЧНЕННЯ КУТА НАХИЛУ ПЛОЩІ ПОВЕРХНІ СОНЯЧНОГО ТЕПЛООВОГО КОЛЕКТОРА З УРАХУВАННЯМ ПРОГНОЗНИХ КЛІМАТИЧНИХ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВ РОБОТИ СИСТЕМИ.

***Анотація.** Вибір раціонального кута нахилу площі поверхні сонячного теплового колектора з метою одержання максимального значення коефіцієнта корисної дії перетворення сонячної енергії у теплову в залежності від призначення сонячної системи теплопостачання та від режимів її роботи протягом доби, місяця, сезону або року є актуальною задачею. Актуальність підтверджується децю різними підходами і відповідно використанням різних методик інженерного розрахунку, які пропонуються різними фірмами-виробниками геліотехнічного обладнання.*

***Ключові слова:** Сонячний тепловий колектор; сонячна енергія; сонячна система гарячого водопостачання*

Постановка проблеми

Використання нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії (НВДЕ) є нагальним в умовах сучасного світу задля економії традиційних енергоресурсів та запобігання парникового ефекту, забруднень довкілля від їх спалювання. В даний час в Німеччині заміщено близько 30% традиційних джерел енергії за рахунок НВДЕ. Найбільш енергоємним і доступним джерелом енергії з усіх НВДЕ є сонячна енергія (СЕ). Середньорічна кількість сумарної СЕ, що поступає на 1 м² поверхні, на території України знаходиться в межах 1000 – 1400 кВт·год/м². Таку кількість можна охарактеризувати, що сонячна енергія, яка надходить за три дні на територію України, перевищує усе річне споживання електроенергії нею. Тривалість сонячних годин (не сонячної радіації, а прямого сонячного випромінювання) впродовж року 1600-2400 годин за рік. Встановлено, що це число з кожним роком зростає. Отже, середньорічна кількість СЕ в Україні на горизонтальну поверхню складає 1250 кВт·год/м² є достатньо високою і вища ніж в європейських країнах (наприклад в Німеччині - 1000 кВт·год/м²). Таким чином, Україна має значні можливості для ефективного застосування сонячних систем теплопостачання (ССТ). Для підвищення теплової та

економічної ефективності сонячних систем гарячого водопостачання (ССГВ) стоїть проблема вибору раціонального кута нахилу площі поверхні сонячного теплового колектора (СТК) з метою одержання максимальної кількості теплоти переданої споживачеві в залежності від режимів роботи системи.

На основі аналізу літературних джерел з кліматичних даних України та кількості ясних днів для м. Києва протягом останніх близько 20 років з метою визначення максимально раціонального кута нахилу площі поверхні СТК для вищої сезонної теплової ефективності встановлено, що дані, які рекомендуються для використання у проектній практиці про пряму, розсіяну та відбиту СЕ на горизонтальну поверхню в безхмарний день можуть знижувати середньосезонну ефективність ССГВ до 5% через визначення не зовсім точних значень кутів нахилу СТК. Крім цього встановлено, що на вказаний показник ефективності ССГВ впливають режими її експлуатації або витрати гарячої води протягом доби, місяця, сезону. Тому дослідження визначення раціонального кута нахилу площі поверхні (ПП) поглинаючого елемента (ПЕ) СТК при проектуванні сонячних систем гарячого водопостачання для конкретних кліматичних умов конкретного місця її функціонування є актуальним.

Аналіз основних досліджень та публікацій

У середньому річна кількість сонячної радіації (СР), що потрапляє на поверхню Землі, складає 2000 – 2500 кВт·год/м² у зонах пустель і 1000 – 1500 кВт·год/м² у районах високих широт. Розрахунки показують, що сучасні світові енергетичні потреби можна було б забезпечити за рахунок СЕ, щорічно одержуваної площею у 20 тис. км², що складає всього 0,005 % земної поверхні. Якщо навіть прийняти до уваги, що річний коефіцієнт корисної дії енергетичних пристроїв, які використовують сонячне випромінювання, не перевищує 10%, то територія, що приблизно дорівнює Україні, могла б забезпечити світові енергетичні потреби за рахунок падаючої на неї СЕ.

Україна розташована у Центрально-Східній Європі, у південно-східній частині Східноєвропейської рівнини, між 44° і 52° північної широти і 22° і 41° східної довготи. Згідно останніх близько 20 років метеорологічних спостережень, на Україну припадає 100-200 сонячних днів в році, в залежності від регіону, і це число з кожним роком постійно зростає.

СР - головний чинник кліматоутворення. Рівень сонячної радіації вимірюється на 1 м² земної поверхні в одиницю часу (МДж/м²). Її розподіл залежить від широти місцевості, якій обумовлений кут падіння сонячного випромінювання, і тривалості дня, що у свою чергу впливає на тривалість і інтенсивність СЕ, показники сумарної сонячної радіації і середню температуру повітря за рік. Близько 20% сонячної радіації, що поступає на поверхню Землі, відбивається атмосферою. Інша її частина досягає земної поверхні - це пряма сонячна радіація. Частина радіації поглинається і розсіюється краплями води, криги, частинками пилу, хмарами. Така радіація називається розсіяною. Пряма і розсіяна складають сумарну радіацію. Частина радіації, яка відбивається від поверхні Землі - це відбита радіація.

На півночі України 4/5 сонячної радіації йде на випаровування води, а 1/5 - безпосередньо на нагрівання повітря. На півдні країни витрати сонячного тепла розподіляються рівномірно на випаровування і нагрівання повітря. Інша частина, яка нагріває поверхню - поглинута радіація. Одним з важливих показників сонячної радіації є радіаційний баланс. Це різниця між сумарною радіацією і відбитою. В Україні радіаційний баланс позитивний.

В результаті обробки статистичних метеорологічних даних [1,2] (табл.1) по

надходженню СР визначено питомі енергетичні показники з надходження СЕ та розподіл енергетичного потенціалу сонячного випромінювання для кожної зони України (рис. 1, 2).

Встановлено, що середньорічна кількість сумарної СЕ, яка поступає на 1 м² поверхні, на території України знаходиться в межах: від 1000кВт·год/м² в північній частині України та в західному регіоні і до 1400кВт·год/м² в південному регіоні. А тривалість сонячних годин (не сонячної радіації, а прямого сонячного випромінювання) впродовж року в північно-західній частині України складає 1600 - 1700 годин. У лісостеповій зоні вона зростає до 1900 - 2000 годин за рік. У степовій зоні, на морських узбережжях досягає 2300 - 2400 годин за рік. Введений термін «ефективне використання» означає, що ССГВ працюватиме з віддачею близько 60% протягом дев'яти місяців в південних областях України (з березня по листопад), та семи - в північних (з квітня по жовтень). Взимку ефективність роботи систем падає, але не зникає. Отже, і в умовах нашого клімату, ССГВ можуть працювати цілий рік із змінною ефективністю.

Для теплових розрахунків ССГВ розроблено ряд методик інженерного розрахунку [3,4], які використовуються для визначення теплової та економічної ефективності при проектуванні систем. Одним із невід'ємних елементів вказаного розрахунку є визначення раціонального кута нахилу ПП СТК до горизонтальної площини.

Величина питомого теплового потоку q' , Вт, який падає на 1 м² похилої поверхні сонячного колектора [3] в кожну годину безхмарного дня, визначається за формулою

$$q' = H_B \frac{\cos(\varphi - s) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\varphi - s) \cdot \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta)}$$

$$+ H_D = H_B \cdot \kappa(\varphi, s, \delta, \omega) + H_D,$$

де φ – широта місцевості, град;

s – кут нахилу площини сонячного колектора до горизонту, град;

δ – схилення Сонця, град;

ω – годинний кут, рівний нулю опівдні для колекторів, орієнтованих на південь, через кожну годину значення годинного кута змінюється на 15⁰ зі знаком плюс (від 12 годин до ранку) або мінус (від 12 годин до вечора);

$\kappa(\varphi, s, \delta, \omega)$ – кутовий коефіцієнт, який залежить від вищезазначених кутів.

Питомий тепловий потік q , Вт/м², переданий в ССГВ в кожну годину дня визначається з рівняння

$$q = q' \cdot \eta_0 \cdot \eta_\kappa \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3, \quad (1)$$

де η_0 – коефіцієнт, який враховує реальні умови хмарності;

η_k – коефіцієнт корисної дії СТК, який залежить від його конструкції.

При різниці температур теплоносія в колекторі і навколишнього повітря 20-50 °С ця залежність така:

$$\eta_k = 0,82 - 0,007(t_k - t_0),$$

де t_k – температура підігрітої в колекторі води,

t_0 – температура, оточуючого колектор, повітря.

Температура t_k зазвичай приймається рівною 50 °С.

Температура t_0 – середня температура повітря атмосфери в денні години розрахункового місяця, яку розраховують за формулою

$$t_0 = t_{cp} + 0,3A_t,$$

де t_{cp} і A_t відповідно середньодобова температура повітря і максимальна амплітуда коливань добових температур розрахункового місяця;

η_1 – коефіцієнт, який враховує ступінь прозорості атмосфери, величина якого коливається від 0,8 в промислових районах до 1 в курортній зоні;

η_2 – коефіцієнт, який враховує втрати теплоти при транспортуванні теплоносія від сонячного колектора до споживача. Величина цього коефіцієнту коливається від 0,85 для крупних централізованих систем гарячого водопостачання до 0,98 для локальних водопідігрівачів;

η_3 – коефіцієнт, який враховує втрати, обумовлені нестационарним теплообміном при мінливій хмарності. Рекомендується $\eta_3 = 0,9$.

Проте у розглянутій методиці не враховується оптичний ККД СТК $\overline{\tau\alpha}$, а також конкретні режими експлуатації конкретної ССТ.

В роботі [4] розрахунок теплової потужності СТК визначають через кількість СЕ q' , що надходить на його похилу світлопрозору поверхню, поглинаючи здатність колектора $\overline{\tau\alpha}$ та ефективний коефіцієнт тепловтрат колектора η_k .

Величина питомого теплового потоку q' , Вт, що падає на 1м² похилої площини поверхні сонячного колектора в кожну годину безхмарного дня, визначається за формулою

$$q' = H_B \cdot P_B + H_D \cdot P_D$$

де H_B і H_D – питомий тепловий потік, Вт/м², прямого і розсіяного сонячного випромінювання, що падає на горизонтальну поверхню на широті φ , град

даної місцевості (з довідника кліматичних даних);

P_B і P_D – коефіцієнти положення сонячного колектора відносно прямої і розсіяної сонячної радіації, відповідно.

Коефіцієнти положення сонячного колектора можна розрахувати з виразу

$$P_B = \frac{\cos i}{\sin \alpha},$$

$$P_D = \frac{\cos^2 \beta}{2},$$

де α – кут висоти сонцестояння (кут у вертикальній площині між сонячним променем і його проекцією на горизонтальну площину). Величину P_B можна визначити за наступним співвідношенням

$$P_B = \frac{\cos Q_i}{\cos Q_z} = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta)},$$

де Q_i , Q_z – кути падіння, відповідно, для похилої і горизонтальної поверхонь.

Добуток коефіцієнта пропускання сонячного випромінювання світлопрозорої ізоляції τ і коефіцієнта поглинання абсорбера α прийнято називати оптичним ККД або приведеною поглинальною здатністю $\overline{\tau\alpha}$, яка розраховується за формулою

$$\overline{\tau\alpha} = \frac{\tau\alpha}{(1 - (1 - \alpha) \cdot \rho_d)},$$

де α – коефіцієнт поглинання абсорбера (наводиться виробником в технічних даних СТК);

τ – пропусканна здатність світлопрозорого покриття;

ρ_d – дифузна відбиваюча здатність. Для системи прозорого покриття з одного шару листа скла ρ_d приблизно дорівнює 0,16.

Залежність пропусканної здатності світлопрозорого покриття сонячного колектора τ від кута і зручно представити за допомогою виразу

$$\tau = \tau_0 \cdot K$$

де τ_0 – пропусканна здатність прозорого покриття при $i=0^\circ$ (наводиться виробником в технічних даних СК);

K – коефіцієнт, що визначається співвідношеннями

$$K=1, \text{ якщо } i < 400,$$

$$\kappa = 2.42691 - 0.08591i + 0.00172i - 1.18432 \cdot 10^{-5},$$

якщо $i \geq 400$.

Враховуючи вищевказані залежності вираз для питомого потоку сонячної радіації, що падає на абсорбер колектора, можна записати у вигляді

$$q' = H_B \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta)} \cdot \frac{\tau \alpha}{(1 - (1 - \alpha) \cdot \rho_d)} + H_D \cdot \frac{\cos^2 \beta}{2}$$

Таким чином, інтенсивність теплового потоку являє собою функцію пори року n , часу доби τ , кута нахилу β і азимута сонячного колектора α_n . Залежить від питомого теплового потоку, який несе з собою пряме H_B і розсіяне H_D сонячне випромінювання, яке падає на широті φ даної місцевості на горизонтальну площину.

Важливою характеристикою сонячного колектора є його ефективний коефіцієнт тепловтрат, η , який визначається як відношення теплопродуктивності сонячного колектора до падаючого на абсорбер потоку сонячної радіації. Залежність ефективного коефіцієнта тепловтрат колектора від різниці температур теплоносія, який нагрівається в ньому і зовнішнього повітря при розрахункових умовах визначається за формулою

$$\eta_\kappa = \eta_0 - \frac{\kappa_1 \cdot (t_\kappa - t_0)}{q'} - \frac{\kappa_2 \cdot (t_\kappa - t_0)^2}{q'}$$

η_0 – коефіцієнт ефективності або внутрішньої конверсії колектора, характеризує ефективність перенесення поглиненого абсорбером сонячного випромінювання до потоку теплоносія в трубах, що залежить головним чином від конструкції колектора;

κ_1 – лінійний коефіцієнт теплопередачі;

κ_2 – квадратичний коефіцієнт теплопередачі (η_0 , κ_1 , κ_2 наводяться виробником в технічних даних СК);

t_κ – середня температура теплоносія в колекторі (визначається при проектуванні геліоустановки);

t_0 – середня температура навколишнього повітря в денні години розрахункового місяця, визначається за формулою

$$t_0 = t_{cp} + 0,5A_t,$$

де t_{cp} и A_t – середньодобова температура

повітря і максимальна амплітуда коливань добових температур розрахункового місяця.

Питомий тепловий потік, що сприймається абсорбером колектора за кожну годину безхмарного дня q , Вт/м², визначається за формулою

$$q = q' \cdot \eta_0 \cdot \eta_\kappa \cdot \eta_1 \cdot \eta_2, \quad (2)$$

де η_1 – коефіцієнт, що враховує ступінь прозорості атмосфери, його величина коливається від 0,8 у промислових районах до 1 в курортній зоні, для гірських курортів $\eta_1 = 1,1$;

η_2 – коефіцієнт, що враховує втрати теплоти від сонячного колектора до споживача, величина цього коефіцієнта коливається від 0,85 для великих централізованих систем до 0,98 для локальних систем, або визначається розрахунком в залежності від теплоізоляції трубопроводів і температури теплоносія.

Середньодобовий питомий тепловий потік розрахункового місяця при безхмарному небі W_c , сприйнятий геліоустановкою, дорівнює сумі значень теплових потоків, Вт / м², розрахованих за формулою для кожної години:

$$W_c = \sum q_i,$$

Кількість теплової енергії W_m , кВт·год/м², виробленої одним квадратним метром сонячного колектора при реальних умовах хмарності, обчислюється окремо для кожного місяця роботи за формулою:

$$W_m = z \cdot W_c \cdot \eta_0 \cdot \eta_3 \cdot 10^{-3},$$

де η_3 – коефіцієнт, що враховує втрати, зумовлені нестаціонарним теплообміном при мінливій хмарності рекомендується приймати = 0,9;

z – кількість днів в місяці;

η_0 – коефіцієнт, що враховує реальні умови хмарності, обчислюється за формулою:

$$\eta_0 = \frac{\sum H_p}{\sum (H_B + H_D)},$$

де $\sum H_p$ – сумарна енергія прямого і розсіяного сонячного випромінювання, що падає на горизонтальну поверхню в населеному пункті за добу при реальних умовах хмарності (дані наводяться в кліматичних довідниках);

$\sum (H_B + H_D)$ – сумарна енергія прямого і розсіяного сонячного випромінювання, що падає на горизонтальну поверхню на широті населеного пункту за добу при безхмарному небі.

Річне питоме вироблення тепла W_G , кВт·год/м², конкретні режими експлуатації конкретної ССТ. визначається як сумарна кількість теплової енергії, виробленої в кожному місяці:

$$W_G = \sum W_M$$

Проте у розглянутій методиці не враховуються



Рисунок 1 – Кліматичні дані з приходу SE та розподіл енергетичного потенціалу сонячного випромінювання для кожної зони України

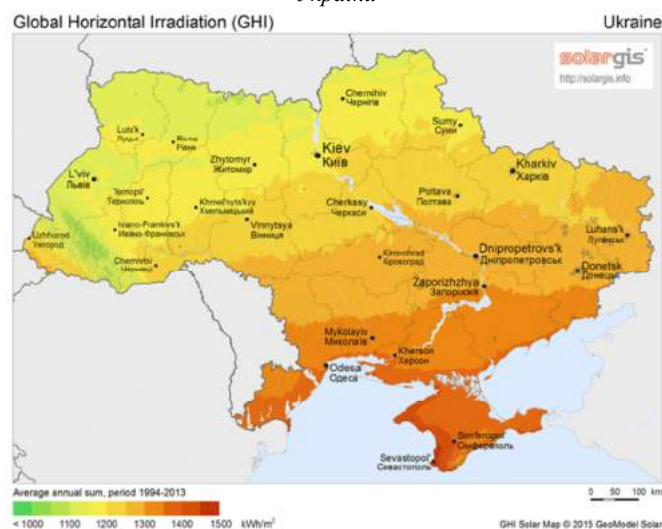


Рисунок 2 Прихід SE на горизонтальну поверхню

Формулювання мети статті

Основною метою є аналіз кліматичних даних з метою виявлення шляхів підвищення довготривалості (місяць, сезон, термін експлуатації) теплової та економічної ефективності ССГВ в залежності від режимів її експлуатації та прогнозних змін кліматичних даних на основі використання даних про кількість ясних днів за близько 20 останніх років спостережень (м. Київ). Уточнення визначення прогнозної кількості енергії, падаючої на похилу поверхню протягом конкретних режимів роботи ССГВ та місця її будівництва. Уточнення розрахунку раціонального кута нахилу площі поверхні ССК з метою одержання максимально точної кількості теплоти переданої споживачеві в

залежності від конкретних режимів роботи ССГВ у м. Києві.

Основна частина

На основі аналізу статистичних даних наведених у табл. 1,2 [5] для м. Києва встановлено, що в період з 1998 по 2016 рік максимальна кількість сонячних днів склала - 271 в 2014 році, мінімальна – 152 в 1998 р. та середня – 198. Отримано лінію тренду (рис.3), яка описується відповідним рівнянням регресії. Аналіз вказує на те, що будівництво ССГВ в м. Києві є перспективним через щорічне деяке збільшення сонячних ясних днів в даному регіоні.

Таблиця 1 - Кількість ясних днів в році

Місяць/рік	1998		1999		2000		2001		2002		2003		2004		
	ясні	пере- мінна хмар- ність	ясні	пере- мінна хмар- ність	ясні	пере- мінна хмар- ність	ясні	пере- мінна хмар- ність	ясні	пере- мінна хмар- ність	ясні	пере- мінна хмар- ність	ясні	пере- мінна хмар- ність	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
січень	1	4	5	6	2	4	3	5	3	1	1	3	6	0	3
лютий	2	3	8	0	5	4	7	5	5	4	8	4	2	2	6
березень	3	3	6	7	8	0	8	8	7	9	7	7	5	0	12
квітень	4	3	10	2	11	1	11	4	14	5	9	3	10	8	13
травень	5	1	12	7	10	6	19	4	18	2	18	3	22	0	15
червень	6	1	14	3	21	5	14	0	12	0	18	1	13	0	21
липень	7	3	13	4	16	0	16	4	21	6	20	0	22	0	21
серпень	8	6	13	2	19	7	15	7	15	9	12	1	17	5	12
вересень	9	8	8	5	13	4	8	2	6	2	12	6	15	6	11
жовтень	10	2	5	6	6	6	15	7	4	2	14	3	10	7	7
листопад	11	4	6	2	8	1	4	2	6	4	4	4	6	0	8
грудень	12	7	7	3	7	2	3	7	7	8	7	3	6	4	5
Всього	13	152		173		163		173		182		172		166	

Продовження Таблиці 1 - Кількість ясних днів в році

Місяць/рік	2005		2006		2007		2008		2009		2010		2011		
	ясні	пере- мінна хмар- ність	ясні	пере- мінна хмар- ність	ясні	пере- мінна хмар- ність	ясні	пере- мінна хмар- ність	ясні	пере- мінна хмар- ність	ясні	пере- мінна хмар- ність	ясні	пере- мінна хмар- ність	
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
січень	1	1	10	8	4	0	8	4	10	9	6	4	4	7	7
лютий	2	5	1	5	3	6	5	2	14	6	7	0	6	5	8
березень	3	4	11	1	8	5	15	1	12	1	10	0	16	11	14
квітень	4	6	5	3	15	2	14	3	7	12	14	0	8	7	20
травень	5	2	14	3	15	6	18	0	18	3	23	1	19	7	20
червень	6	0	16	1	17	0	20	3	17	4	23	5	22	0	27
липень	7	1	19	2	23	2	24	1	24	3	21	2	27	6	22
серпень	8	4	15	6	13	3	21	7	21	3	24	6	22	8	18
вересень	9	7	17	3	20	5	13	4	10	3	20	6	18	10	20
жовтень	10	10	6	4	12	4	11	4	15	0	19	3	15	6	15
листопад	11	5	5	5	4	3	5	6	6	3	7	4	10	6	5
грудень	12	5	3	4	6	3	1	4	2	1	5	4	9	5	8
Всього	13	172		185		194		195		227		211		262	

Продовження Таблиці 1 - Кількість ясних днів в році

Місяць/рік	2012		2013		2014		2015		2016		
	ясні	пере- мінна хмар- ність	ясні	пере- мінна хмар- ність	ясні	пере- мінна хмар- ність	ясні	пере- мінна хмар- ність	ясні	пере- мінна хмар- ність	
	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	
січень	1	5	8	2	7	6	8	6	6	4	6
лютий	2	9	7	7	6	9	6	4	5	5	5
березень	3	6	16	5	11	16	6	8	8	4	5
квітень	4	4	17	12	12	6	17	9	12	10	7
травень	5	6	20	9	19	6	21	6	15	4	11
червень	6	5	22	1	27	0	28	7	17	1	20
липень	7	5	23	2	25	5	24	7	15	7	13
серпень	8	6	16	1	24	2	28	15	11	9	14
вересень	9	8	18	0	16	13	15	11	9	7	16
жовтень	10	3	13	3	16	18	10	14	9	1	10
листопад	11	5	10	5	6	6	3	4	2	2	5
грудень	12	3	10	8	4	8	10	7	4	4	6
Всього	13	245		228		271		211		176	



Рис 3. Лінія тренду щодо кількості безхмарних днів у році для м. Києва

За вище представленими методиками проведено розрахунки визначення раціонального кута нахилу площі поверхні ССКВ для досягнення максимальної теплової ефективності ССКВ у м. Києві за увесь термін її експлуатації (прийнято 20 років), та з урахуванням режимів експлуатації з квітня по жовтень і з червня по серпень. Встановлено що для довготривалої прогнозу експлуатації системи необхідно враховувати прогнозу зміну кількості ясних сонячних днів протягом терміну та режимів експлуатації ССКВ. Така зміна має враховуватись поправковим коефіцієнтом для розрахункової величини η_0 – коефіцієнта, який враховує реальні умови хмарності (рівняння 1,2) і для м. Києва розраховується з урахуванням рівняння регресії

$$y = 156,35 e^{0,0221x}.$$

Розрахунки показали, що в залежності від терміну експлуатації ССКВ (протягом 20 років і зростанням середньої щорічної кількості сонячних днів), а також режимів експлуатації (квітень-жовтень, червень-серпень) в середньому розрахункова теплова ефективність системи зростає до 5-7%. А уточнення кута нахилу ПП ССК з урахуванням вказаних умов експлуатації (термін експлуатації протягом прогнозу зміни кліматичних даних, місце будівництва з аналізом положення ПП ССК відносно оточуючих об'єктів із врахуванням збільшення відбитої та прямої складових СЕ та режимів експлуатації) може додатково збільшити теплову ефективність системи до 3-5% без збільшення

вартості системи та із зменшенням терміну її окупності.

Висновки

Встановлено, що в залежності від терміну експлуатації ССКВ (протягом 20 років та із прогнозними зростаннями середньої щорічної кількості сонячних днів на прикладі м. Києва), а також режимів експлуатації (квітень-жовтень, червень-серпень) в середньому розрахункова теплова ефективність системи зростає до 5-7%. А уточнення кута нахилу ПП ССК з урахуванням вказаних умов експлуатації (термін експлуатації протягом прогнозу зміни кліматичних даних, місце будівництва з аналізом положення ПП ССК відносно оточуючих об'єктів із врахуванням збільшення відбитої та прямої складових СЕ та режимів експлуатації) може додатково збільшити теплову ефективність системи до 3-5% без збільшення її вартості та із зменшенням терміну окупності. На основі подальших теоретичних досліджень необхідно розробити конкретну методику інженерного розрахунку раціонального кута нахилу і орієнтації площі поверхні поглинаючого елемента сонячного теплового колектора системи гарячого водопостачання в залежності від прогнозу зміни кліматичних даних місця будівництва системи, її взаємодії з відбитою складовою сонячної енергії і промислою складовою теплової енергії з оточуючими об'єктами та режимами експлуатації.

Література

1. Використання сонячної енергії для теплопостачання – перший крок до енергетичної незалежності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.aratta-ukraine.com/text_ua.php?id=1639 – назва з екрану.
2. Global horizontal irradiation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/download/ukraine> – назва з екрану.

3. Кравченко С. В. Визначення оптимального кута нахилу сонячного колектора в залежності від тривалості роботи протягом року / С. В. Кравченко, В. П. Кравченко, О.Н. Ткачова. – О: ОНПУ, 2016. – 41 с.
4. Производительность гелиоколлектора при различных режимах эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <http://docplayer.ru/43085179-Proizvoditelnost-geliokollektora-pri-razlichnyh-rezhimah-ekspluatacii.html>– назва з екрану.
5. Дневник погоды в Киеве [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <https://www.gismeteo.ru/diary/>

Стаття надійшла в редколегію 18.04.2017

Масюк Анна Юрьевна

*Магістрантка факультета инженерных систем и экологии
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев*
Приймак Александр Викторович
*Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры теплотехники
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев*

УТОЧНЕНИЕ УГЛА НАКЛОНА ПЛОЩАДИ ПОВЕРХНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОВОГО КОЛЛЕКТОРА С УЧЁТОМ ПРОГНОЗНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ РАБОТЫ СИСТЕМЫ.

***Аннотация.** Выбор оптимального угла наклона площади поверхности (ПП) солнечного теплового коллектора (СТК) с целью получения максимального значения коэффициента полезного действия преобразования солнечной энергии (СЭ) в тепловую в зависимости от назначения солнечной системы теплоснабжения (ССТ) и от режимов ее работы в течение суток, месяца, сезона или года для г. Киева является актуальной задачей. Актуальность подтверждается несколько разными подходами и соответственно использованием различных методик инженерного расчета, которые предлагаются различными фирмами-производителями гелиотехническая оборудования.*

***Ключевые слова:** Солнечный тепловой коллектор; солнечная энергия; солнечная система горячего водоснабжения*

Masiuk Anna

*The second level student of the Faculty of Engineering and Ecology
Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kiev*

Priymak Olexander

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the department of Thermal Physics
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv*

UPDATE OF THE ANGLE OF THE TILT SQUARE TREATMENT OF THE SOLAR HEATER WITH THE FORECASTING CLIMATE AND OPERATIONAL CONDITIONS OF THE SYSTEM WORKS

***Abstract.** The choice of an optimum angle of an inclination of the surface area (SA) of the solar thermal collector (STC) for the purpose of obtaining the maximum value of efficiency of transformation of the solar energy (SE) in thermal depending on purpose of the solar system of heat supply (SSHS) and from the modes of her work within a day, month, a season or year for Kiev is an urgent task. Relevance is confirmed by a little different approaches and respectively use of various techniques of engineering calculation which are offered by various manufacturing firms heliotechnical the equipment.*

***Keywords:** Solar thermal collector; solar energy; solar systems of hot water supply*

УДК 514.18, 721.01

Микитась Максим Вікторович

*Кандидат економічних наук, докторант кафедри архітектурних конструкцій КНУБА
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ*

Плоский Віталій Олексійович

*Доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри архітектурних конструкцій КНУБА, ORCID: 0000-0002-2632-8085
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ*

СТАЛІЙ РОЗВИТОК МІСТ: СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ, МІЖНАРОДНИЙ ТА УКРАЇНСЬКИЙ ДОСВІД

***Анотація.** В статті проведено огляд міжнародного та українського досвіду досліджень проблеми розвитку міста, використовуючи основні положення системного підходу, що дозволяє визначити основні його функціональні складові, зв'язки між ними та фактори впливу. Розглянуто «сучасне місто» з позицій концепції «сталого розвитку» та впровадження принципів кластеризації як чинників реалізації заходів з енергоефективності об'єктів будівництва. Визначено основні напрями подальших досліджень.*

***Ключові слова:** системний підхід, кластеризація, концепція сталого розвитку, розумне місто, біосферосумісність*

Постановка проблеми

Актуальною проблемою розвитку сучасного міста є той факт, що при постійному зростанні концентрації людської активності в містах, зростає й споживання ресурсів містом, а одночасно з цим й підвищується інтенсивність надмірного забруднення оточуючого середовища. При цьому соціально-економічні умови та якість комфорту життя міського населення є найбільш вимогливими.

Згідно статистичних даних у містах України проживає понад 60 % населення країни [1]. Проте, питання соціально-економічної та екологічної модернізації населених пунктів України досі є невирішеними. Важливим елементом перспективного планування розвитку міст та України в цілому є реалізація ефективних заходів в будівництві щодо збереження та відновлення енергоресурсної бази.

1. Стан досліджень

Пріоритетним напрямом європейської регіональної політики впродовж останніх кількох десятиліть є інтегрований сталий міський розвиток, що підтверджується відповідними програмами заходів та фінансуванням (на цілі сталого розвитку за період 2007-2013 рр. було виділено 21,1 млрд євро [10]). Сталий міський розвиток починаючи з 2014 року є ключовою метою стратегії

регіонального розвитку «Європа 2020: стратегія розумного, стійкого і всеосяжного зростання».

Найбільша програма Європейського Союзу, яка спрямована на фінансування досліджень та інноваційних розробок в цьому напрямі – Програма Horizon 2020. Її бюджет на 7 років (з 2014 по 2020 рік) становить 80 млрд. євро [10].

Серед основних напрямів регіональної політики ЄС щодо забезпечення сталого розвитку міст виділяють:

- ревіталізація забруднених земельних ділянок у містах та модернізація промислових об'єктів;
- інтегрована регенерація міських та сільських територій (відновлення і перебудова окремих територій з метою залучення інвестицій та стимулювання місцевої економіки);
- розвиток екологічно чистого міського транспорту;
- розвиток житлового будівництва.

Варто відмітити, що в умовах інтеграційних процесів України з ЄС впровадження політики сталого міського розвитку одна з невід'ємних складових державної регіональної політики.

В останні роки в Україні досягнення сталого розвитку міст поступово відбуваються через зміни у сфері інституційно-правового та інституційно-організаційного забезпечення системи заходів (Концепція сталого розвитку населених пунктів схвалена Постановою № 1359-XIV Верховної Ради України 24 грудня 1999 р.; також існує низка

місцевих концепцій та стратегій сталого розвитку міст обласного та районного значення). Прикладами досвіду впровадження ідей сталого розвитку є реалізації проектів: Проект ПРООН «Муніципальна програма врядування та сталого розвитку», 2005-2012 рр.; «Сталий міський розвиток», 2010-2012 рр.; Проект ЄС «Сталий розвиток житлового господарства в Україні: сприяння місцевому розвитку і посилення ролі громадських організацій», 2014-2016 рр. тощо.

Указом Президента України від 12 січня 2015 р. № 5/2015 було схвалено Стратегію сталого розвитку – Україна – 2020, що вплинуло на правове регулювання відносин впровадження системи сталого розвитку у стратегію економічного розвитку регіонів. Це є орієнтиром для України в ході майбутніх реформ.

Також відзначається тенденція до розвитку мережі організацій громадянського суспільства, що сприяє активному залученню громадськості до прийняття рішень і розробки політики сталого розвитку на місцевому рівні [11].

Однак, за показниками сталого розвитку, Україна значно відстає від європейських країн. Основними напрямками подолання цієї ситуації є:

– Узгодження загальнодержавних, регіональних та місцевих концепцій, стратегій та програм, зорієнтованих на сталий розвиток міст (територій) з урахуванням перспектив міждержавної, міжрегіональної співпраці України та ЄС у цій сфері.

– Державна підтримка міст у вирішенні місцевих соціально-економічних, екологічних проблем на засадах сталого розвитку.

– Реновація генеральних планів розвитку міст.

– Впровадження заходів щодо залучення інституцій громадянського суспільства до співпраці з муніципалітетами у сфері сталого розвитку міст.

– Розвиток державно-приватного партнерства облаштування території міст, «екологізації» виробництва [11].

Передбачені Планом з виконання Стратегії сталого розвитку – Україна-2020 заходи можливо реалізувати лише при наданні більших повноважень органам місцевого самоврядування, а також на збільшення фінансування проектів розвитку регіонів, що, безумовно, сприятиме стабільності економічних процесів на місцях.

2. Ресурс – комфорт – безпека – ефективність – сталість розвитку

Містобудівні процеси та розвиток міста повинні безпосереднім чином спрямовуватись на високий рівень комфортності, економічності,

екологічності будівель та споруд, їх розміщення на території, щільності забудови та інших факторів та регулюватися нормативними документами.

Також повинні бути враховані теоретичні основи та практичні методи формування архітектури під впливом сонячного і штучного світла, кольору, тепла, руху повітря і звуку, а також природу сприйняття людиною, в тому числі з оцінкою соціологічних, гігієнічних і економічних чинників» [3].

Маючи до моменту розпаду СРСР загальну нормативну базу, в Україні відбувалось будівництво за принципами, які погано поєднувалися з концепцією біосферної сумісності [5]. Однак за минулі з цього моменту роки нормативна база з будівельної фізики в Україні суттєво оновилася. Процес розробки нормативної бази надзвичайно складний, іноді погано координований, що призводить до виправлення одних помилок і створення інших. Загальна тенденція для всіх країн – орієнтація на створення енергоекономічних, екологічних безпечних і довговічних як окремих будівель і споруд, так і муніципальних утворень.

Також, варто відзначити, що ключовим елементом життєвого циклу людини - міста - країни - людства є ресурс. При цьому кількість ресурсів є постійно змінним в часі та просторі.

Не виникає сумніву, що рішення такого важливого завдання як створення сумісного з природним середовищем поселення на принципах сталості не може бути досягнуто тільки за рахунок використання новітніх технологій, нового обладнання, сучасних підходів до ціноутворення та ефективності використання внутрішніх бізнес-процесів. Очевидно, що одним з системоутворюючих факторів конкурентоспроможності є те, наскільки ефективно використовуються необхідні ресурси.

Як наслідок, повинно здійснюватись управління процесом ресурсозбереження. Кінцевим результатом такого управління повинна бути послідовна реалізація затвердженої господарюючим суб'єктом ресурсозберігаючої політики, як одного з основоположного внутрішнього нормативного документу.

Серед важливіших завдань ресурсозбереження в нашій країні є підвищення енергонезалежності України.

Економічної теорія виділяє чотири великі групи ресурсів [4]:

1) природні – потенційно придатні для застосування у виробництві (природні сили і речовини);

2) матеріальні – природні матеріальні (створені самою природою) і штучні засоби виробництва і споживання.

3) трудові – населення у працездатному віці, яке в «ресурсному» аспекті зазвичай оцінюють за трьома параметрами: соціально-демографічному, професійно-кваліфікаційному і культурно-освітньому.

4) фінансові – грошові кошти, які суспільство здатне виділити на організацію виробництва.

Критерії ефективності управління процесом ресурсоефективності для міст мають велике значення. Будівництво швидко реагує на ринкові трансформації, які відбуваються у сьогоdnішній час. Ринок нерухомості відображає платоспроможність населення, інвестиційну активність, функціонування фінансово-кредитної системи та державне регулювання економічних процесів.

Питання участі держави у фінансуванні ресурсозберігаючих проектів потребує серйозного і глибокого опрацювання. Державні структури повинні встановити чіткі критерії своєї участі у фінансуванні ресурсозберігаючих проектів будівельних підприємств та організацій, визначити кінцеві цілі проектів і строки їх реалізації та вимагати від підприємств детальної звітності про хід її виконання. При цьому дуже важливо створити привабливі умови для залучення інвестицій у ресурсозберігаючі програми та проекти для підприємств будівельного комплексу України.

Концепція «сталого розвитку» – узагальнення триєдиної концепції сталого еколого-соціально-економічного розвитку, яка є розвитком вчення В.Вернадського про ноосферу. Починаючи з 1992 року ця концепція прийнята більшістю країнами світу та багатьма міжнародними організаціями. Концепція містить три основні вектори [12]:

1. Забезпечення економічного розвитку за рахунок збереження (не зменшення) сукупного капіталу (фізичного природного, або людського) на засадах оптимального використання обмежених ресурсів та застосування технологій, спрямованих на збереження природного, енергетичного і матеріального потенціалу.

2. Забезпечення екологічного розвитку за рахунок досягнення глобальної стабільності усєї біосфери, що можливо лише при тривкій життєздатності біологічних і фізичних природних систем, їх самооновлення й адаптації до різноманітних змін.

3. Забезпечення соціального розвитку за рахунок збереження стабільності суспільних і культурних систем, людського розвитку, в

результаті якого людина виступає в ролі суб'єкту розвитку, а не об'єкту.

Згідно досліджень Національного інституту стратегічних досліджень міста України потерпають від низки хронічних соціально-економічних та екологічних проблем [11]: - велика концентрація населення та виробництва у великих містах (мегаполісах) на тлі уповільненого розвитку більшості середніх та малих міст з малорозвиненим промисловим сектором, неконкурентним ринком послуг; - неналежним є стан житлово-комунального господарства міст (насамперед – малих міст), недостатніми є обсяги капітальних вкладень у розвиток житлового будівництва, введення в експлуатацію нових (та після капітального ремонту) житлових приміщень; - хронічними залишаються проблеми міст, пов'язані із налагодженням ефективного функціонування системи водопостачання і водовідведення (каналізаційних мереж), загрозовою є санітарно-гігієнічна ситуація, особливо у великих містах України; - низький рівень благоустрою міст, незадовільною залишається ситуація зі збиранням та утилізацією (знешкодженням) твердих побутових відходів; - незавершеність реформи місцевого самоврядування та територіальної організації влади; - хронічною проблемою для міст України залишається функціонування старих промислових підприємств, «промислових зон», що розташовані у межах міст; - нестача вільних робочих місць, відсутність новостворених робочих місць; слабо розвинена сфера послуг; застаріла соціальна інфраструктура міст України тощо; - незадовільний стан дорожнього господарства міст України; - значна кількість міст України не мають чітко визначених (затверджених) меж їхніх територій.

Більшість із вищенаведених проблем щодо забезпечення сталого розвитку міст тісно пов'язані між собою і є невід'ємними одна від одної. Це обумовлює необхідність застосування інтегрованого підходу до соціально-економічної модернізації регіонів та міст України. Курс на інтеграцію з ЄС, визнаний Україною як пріоритетний, передбачає імплементацію європейських стандартів якості життя, кращих практик країн ЄС щодо досягнення сталого розвитку міст та регіонів.

3. Принципи кластеризації. Наука – влада - бізнес - соціальний ефект

Ситуація, що склалася в світовій економіці, змушує суб'єкти господарювання вдаватися до інтеграції для забезпечення виживання і розвитку. Форми об'єднання підприємств можуть бути: асоціації, корпорації, консорціуми, концерни,

картелі, синдикати, трести, холдинги і фінансові групи. Крім цього Господарський Кодекс України допускає інші форми об'єднання підприємств, що не суперечать законодавству, до якого можна віднести і кластер [6].

Кластери стали істотним чинником економічного розвитку і еволюції соціально-економічних систем. Існує три підходи до розуміння кластера: - група географічно близьких взаємопов'язаних підприємств; - локалізована мережа підприємств; - група взаємопов'язаних галузей.

З позицій системного підходу кластери - це новий рівень соціально-економічної системи, формування якої відбувається на основі безлічі об'єктивних тенденцій зі складними взаємозв'язками [8].

З іншого боку, системний підхід передбачає розгляд кластеру як єдине, цілісне, системне утворення, яке складається з множини взаємодіючих елементів, підсистем. Неоднозначним є аналіз механізму організації таких систем.

Огляд останніх досліджень визначив загальне спрямування до тенденції використання синергетичного підходу як спільного, узгодженого діючого механізму вивчення процесів утворення і масових (колективних) взаємодій об'єктів (елементів, підсистем).

Результатом самоорганізації стає виникнення нових систем, взаємодія і сумісність і, можливо, регенерація динамічних підсистем більш складних в інформаційному сенсі, ніж елементи середовища, з яких вони виникають. Система (кластер) і її складові є істотно динамічними утвореннями, синергетика і самоорганізація в яких невідривні один від одного [6-8].

Формування належного життєзабезпечення людини на території українських міст потребує створення відповідних умов (для проживання та відпочинку, гарантування безпечного перебування людини на території міст, створення «зелених зон» тощо).

Одним з похідних елементів кластеризації є модуль міста. Модульна концепція формування міста базується на ідеях створення так званого «розумного міста», тобто системи з окремих самоорганізаційних підсистем. Стосовно модульної концепції зустрічаються протилежні думки, оскільки, з одного боку, модульність спрощує управління та підтримку з боку влади, а з іншої втрачається «гнучкість» міст, зменшується реакція на зміну ринку та ін..

4. Розробка цільової функції життєвого циклу міста

Всякій системі властивий особливий життєвий цикл виникнення, розвитку та згасання. Місто, будучи динамічною системою, що змінюється в часі, об'єктивно проходить в своєму життєвому циклі певні етапи (фази). Для прийняття рішень щодо управління розвитком міста органи місцевого самоврядування повинні об'єктивно оцінити існуючу ситуацію в своєму місті, визначити, на якому етапі життєвого циклу знаходиться місто в даний момент.

Інтенсивне зростання - стан міста, коли загальна площа житла і обсяг суспільних благ збільшуються швидше кількості мешканців і кількості робочих місць. Найчастіше це пов'язано з будівництвом або розширенням містоутворюючих підприємств або іншими чинниками, що забезпечують інвестиційну привабливість міста. Низьке безробіття, може спостерігатися дефіцит робочих місць, комфортність проживання (обсяг життєвих благ на душу населення) зростає, стан міського середовища поліпшується. Місто стає все більш привабливим для жителів інших районів. Нарощування обсягів житлового будівництва привертає все нових переселенців. Однак, такий стан не може тривати довго, і місто переходить у фазу сповільненого зростання.

Сповільнене зростання - стан міста, коли кількість мешканців і робочих місць зростає швидше, ніж будівництво житла і збільшення обсягу життєвих благ. Більшість міст радянського періоду відразу починали своє життя з цієї фази. Відставання будівництва житла та об'єктів інфраструктури найчастіше пов'язано з нестачею інвестицій, а також з недоліком землі під забудову. Дана фаза характеризується припиненням подальшого розвитку містоутворюючих підприємств і зростанням ступеня зносу їх основних фондів. Наслідком зниження інвестиційної діяльності є зростання питомої ваги старого житлового фонду і витрат на його підтримку. Стан міського середовища перестає поліпшуватися. Місто стає менш зручним для життя, але все ще привабливий для переїзду в нього через наявність робочих місць, в тому числі високооплачуваних. Збереження такого стану протягом довготривалого періоду неминуче переводить місто в фазу стагнації.

Стагнація - стан міста, коли розрив між кількістю робочих місць і обсягом житлового фонду та життєвих благ досягає такої величини, так що приріст населення за рахунок міграції припиняється.

Занепад – стан міста, коли дискомфортність життя в ньому, викликана поганими житловими умовами, недостатнім рівнем надання суспільних благ, несприятливою екологічною ситуацією та відсутністю перспектив працевлаштування призводить до скорочення робочих місць і оттоку населення. Старіння промислових підприємств або вичерпання ресурсів на видобувних підприємствах ставить питання про їх закриття. Стан міського середовища катастрофічно погіршується. Виникають так звані «депресивні міста», які не можуть самостійно вирішити проблеми виходу зі стадії занепаду і потребують надзвичайної державної підтримки.

Перехід від стану стагнації або занепаду міста до фаз розвитку вимагає виявлення та ефективного використання точок, «ядер» зростання, об'єктивно існуючих або потенційно можливих факторів, передумов, об'єктів, структур, за допомогою яких можна переламати ситуацію. Такі ядра зростання можуть виявитися в містоутворюючій сфері (нові технології на підприємствах, нові, конкурентоспроможні види продукції), в природних факторах (високоєфективні корисні копалини, транспортне положення, лікувальні, туристичні інші фактори), в науковій, освітній, культурній та інших сферах.

Розробка цільової функції життєвого циклу міста повинна ґрунтуватись на використанні комплексного підходу. Складовими змінними такої функції є: фізико-географічні характеристики, територія, ресурси, структурні особливості міста, наявність промислових потужностей, населення, стан економічного розвитку, наявність об'єднань (кластерів), інвестиційна привабливість, баланс

біотехносфери території та інші якісні характеристики.

Висновки

У контексті окреслених орієнтирів реалізацію державної регіональної політики України з урахуванням досягнення стратегічної цілі – забезпечення сталого розвитку міст – необхідно доповнити низкою заходів, а саме: 1) в процесі узгодження загальнодержавних, регіональних та місцевих концепцій, стратегій та програм сталого розвитку міст; 2) в процесі модернізації генеральних планів розвитку міст; 3) в процесі посилення інституційної та фінансово-економічної спроможності міст у вирішенні місцевих соціально-економічних, екологічних проблем на засадах сталого розвитку; 4) в процесі налагодження ефективної комунікації між владою та громадами, інституціями громадянського суспільства щодо системного моніторингу проблем міської інфраструктури; 5) в процесі активізації державно-приватного партнерства для сприяння процесу екологізації виробництва та спільного облаштування території міст України.

Враховуючи вищесказане, сучасне місто є складноструктурованою гетерогенною системою з варіативними наборами складових, яким можуть бути притаманні ознаки самоорганізації, що потребує системного взаємоузгодженого розгляду. Таступною важливою задачею подальшого дослідження є розробка методології вертикально-інтегрованої системи «місто» з визначенням всіх складових, їх функціональних зв'язків та чинників життєвого циклу такої системи.

Література

1. Закон України. Про регулювання містобудівної діяльності (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2011, № 34, ст.343).
2. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень [Текст]. - К. : Мінрегіонбуд України, [20-?]. - (Державні будівельні норми України). Зміна №5: ДБН 360-92**. - Чинний від 2014-01-01. - К., 2002. - 6 с. : табл.
3. Проект ДБН «Планування та забудова територій» (проект 2 редакція) ДБН Б.1.1-Х:201Х - Київ Мінрегіон 2016.
4. Філяк М.С. Система показників у механізмі регулювання сталого розвитку території. – Дис. ... канд. екон. наук – 08.00.03 – економіка та управління національним господарством. – Львів, 2016 – 238 с.
5. Створення методологічних основ проектування, розрахунку та впровадження енергоактивних біосферосумісних об'єктів будівництва в умовах України // Звіт з науково-дослідної роботи 5ДБ-2014 (проміжний звіт). Номер державної реєстрації: РК 0114U002579. – К.: КНУБА, 2014. – 275 с.
6. Онищенко С. К. Теоретические подходы к изучению сущности кластерной формы объединения предприятия / С. К. Онищенко // Ринкова трансформація економіки: стан, проблеми, перспективи : матеріали всеукр. наук.-практ. Інтернет-конф., 8-22 листопада 2010 з., – Харків : ХНТУСГ, 2010. – Т. 2. – С. 147-150.

7. Синергетический подход в формировании кластеров предприятий курортно-рекреационного комплекса / С.К. Онищенко // Проблемы материальной культуры – Экономические науки
8. Определение понятия «кластер» с позиций системного подхода в экономике / О.В. Костенко // Международный научный журнал «инновационная наука» – №9/2015 – С.165-169.
9. Система муниципального управления. Под ред. В.Б. Зотова. 2005
10. Палагнюк Ю. В. Трансформація фінансових інструментів співробітництва Європейського Союзу з Україною / Ю. В. Палагнюк // Наукові записки Інституту законодавства Верховної Ради України. - 2014. - № 1. - С. 99-105. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nzizvru_2014_1_21
11. Забезпечення сталого розвитку міст як складова соціально-економічної модернізації регіонів України. Аналітична записка. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.niss.gov.ua/articles/1611/>
12. Сталый розвиток. Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://wdc.org.ua/uk/sustainable-development/>

Стаття надійшла в редакцію 01.04.2017

Микитась Максим Викторович

Кандидат економічних наук, докторант кафедри архітектурних конструкцій КНУСА
Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ

Плоский Віталій Алексеевич

Доктор технічних наук, професор,
заведуючий кафедри архітектурних конструкцій КНУБА, ORCID: 0000-0002-2632-8085
Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ

**УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ГОРОДОВ: СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ,
МЕЖДУНАРОДНЫЙ И УКРАИНСКИЙ ОПЫТ**

Аннотация. В статье выполнен обзор международного и украинского опыта исследований проблемы развития города, используя основные положения системного подхода, позволяющего определить основные его функциональные составляющие, связи между ними и факторы влияния. Рассмотрен «современный город» с позиций концепции «устойчивого развития» и внедрение принципов кластеризации как факторов реализации мероприятий по энергоэффективности объектов строительства. Определены основные направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: системный подход, кластеризация, концепция устойчивого развития, умный город, биосферосовместимость.

Mykytas Maksym

PhD, Doctoral student of the architectural constructions department KNUCA
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Ploskyi Vitalii

Dr.Sc., Prof.
head of the architectural constructions department KNUCA, ORCID: 0000-0002-2632-8085
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

**SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF CITIES: STATE OF RESEARCH,
INTERNATIONAL AND UKRAINIAN EXPERIENCE**

Abstract. The article reviews the international and Ukrainian experience of research on the city development problems, using the main provisions of the system approach, which allows determining its main functional components, the relationships between them and the factors of influence. Considered "modern city" from the standpoint of the concept of "sustainable development" and the introduction of the principles of clustering as a factor in implementing measures for the energy efficiency of construction sites. The main directions of further research are determined.

Key words: system approach, clusterization, sustainable development concept, smart city, biosphere compatibility.

УДК 004.432:691.173:539.3

Морозов Денис Миколайович

Кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедрою інформаційних технологій в туризмі,
ORCID: 0000-0001-9446-8736

Запорізький національний технічний університет, Запоріжжя.

Юречко Василь Зіновійович

Кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри інформаційних технологій в туризмі,
ORCID: 0000-0002-6281-0602

Запорізький національний технічний університет, Запоріжжя.

Гнездовський Олексій Валентинович

Аспірант кафедри комп'ютерних наук, ORCID: 0000-0003-0392-3030

Запорізький національний університет, Запоріжжя.

СКІНЧЕННОЕЛЕМЕНТНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПОРИСТОГО МАТЕРІАЛУ ЗАСОБАМИ PYTHON

Анотація. Аналітичний розрахунок для більшості конструкцій є дуже складною, а інколи і неможливою процедурою, тому велике значення набуває використання чисельних методів, зокрема методу скінченних елементів. В даній роботі розроблено програмний комплекс з використанням мови програмування Python, в якому реалізований тривимірний метод скінчених елементів для однорідних матеріалів, а також матеріалів маючих пористу структуру. Проведено розрахунок параметрів напружено-деформованого стану пористої гумової труби з урахуванням пор сферичної форми. Результати розрахунку порівнювались з аналітичним розв'язком для представленого рівня деформацій, похибка сягнула 3-5%, що показує стійку збіжність отриманих чисельних результатів.

Ключові слова: програмний комплекс; мова програмування Python; пориста гума; метод скінченних елементів; напружено-деформований стан.

Постановка проблеми

Аналіз досвіду передових держав у рішенні проблеми енергозбереження дозволяє визначити один з найбільш ефективних його шляхів – скорочення витрат тепла крізь конструкції будинків, споруджень, промислового устаткування, теплових мереж та інших об'єктів, в яких використовуються теплоносії. В зв'язку з цим відзначається інтенсивний розвиток промисловості пористих матеріалів (ПМ) в багатьох розвинених державах. Одним з напрямків рішення даної проблеми є впровадження ефективних ПМ. Але для впровадження і використання необхідно визначити механічні властивості поведінки ПМ під час експлуатації, для чого потрібно проводити дослідження параметрів напружено-деформованого стану (НДС) конструкцій із ПМ. Зростаюча складність таких конструкцій передбачає вдосконалення математичних моделей, за для того, щоб точніше враховувати наявність пористості. Одним зі стимулюючих факторів цього є те, що при створенні ПМ можливо впливати на властивості отриманого матеріалу варіюючи його пористість,

розміри та форми пор тощо. І, таким чином, знизити матеріалоемність без втрати високої міцності при експлуатації та інших механічних властивостей. Досить актуальною є задача розрахунку НДС пористих гумових труб, які використовуються для перекачування рідини під великим тиском, у турбінах та нагнітачах, також можуть використовуватися в досить жорстких середовищах.

Аналіз сучасного стану проблеми, останніх досліджень і публікацій

Дослідженню НДС конструкцій із ПМ присвячено багато робіт. У роботі [1] за допомогою скінченноелементного аналізу процесу напрусування пористої втулки на компактний вал, визначені градієнти залишкових напружень, що виникають у пористій втулці і валу при утворенні з'єднання з натягом.

У роботі [2] досліджені процеси в'язкопружного деформування при пресуванні ненасиченого капілярно-пористого анізотропного середовища з урахуванням зовнішнього тертя.

Робота [3] присвячена розробці методів

чисельного моделювання нелінійних процесів деформування і руйнування тривимірних тіл при високошвидкісній ударній взаємодії на базі відомої пружно-пластичної швидкісної моделі пористого матеріалу Маккензі.

В роботах [4-5] розроблено методику чисельного аналізу НДС конструкцій із ПМ в умовах в'язкопружного та геометрично нелінійного деформування на основі моментної схеми скінченного елемента з використанням різних методів визначення модулів пружності ПМ.

Аналітичний розрахунок для більшості конструкцій є дуже складною, а інколи і неможливою процедурою, тому велике значення набуває використання чисельних методів, зокрема методу скінчених елементів (МСЕ). В наші дні, МСЕ – це, напевно, найпоширеніший метод для розв'язання широкого класу прикладних інженерних задач. Історично, він з'явився з механіки, проте згодом отримав подальший розвиток й у інших науково-технічних галузях. Сьогодні є велика кількість програмних пакетів, таких як ANSYS, Abaqus, Patran, Cosmos, MIPELA+, FORTUFEM тощо, в яких реалізований традиційний МСЕ та його модифікації. Ці програмні пакети дозволяють розв'язувати задачі будівельної механіки, механіки рідини, термодинаміки, електродинаміки і багато інших.

Реалізації методу скінчених елементів на Python присвячені наступні роботи. В роботах Р. Цірманна та О. Сертика [6] висвітлюються питання використання пакета SFEPY для розв'язання задач оптимізації форми в задачах нестискаємого потоку та скінченноелементної дискретизації рівнянь Шрьоденгера. Загальні питання щодо реалізації МСЕ на Python та ілюстрація роботи програми на прикладі деталі 1D розглянуто в роботі М. Зусмана [7]. О. Плетзер присвятив свою роботу [8] створенню пакету ELLIPT2D, призначеному для розв'язання двовірних еліптичних рівнянь.

Зручно організований обчислювальний процес – один з найважливіших етапів проведення прикладних досліджень або виконання інженерних розрахунків. У свою чергу, він багато в чому визначається зручністю використовуваного середовища для виконання обчислень. З розвитком обчислювальної техніки і розробки нових програм, ці середовища помітно еволюціонували.

Користувачами під час роботи з "універсальним" обчислювальним середовищем пред'являються наступні вимоги:

- відсутність необхідності "вручну" виділяти і звільняти пам'ять під змінні і \ або масиви даних;

- зручність роботи з масивами даних;
- читабельність і простота коду;
- простота визначення потрібних типів даних;
- незалежність від встановленої на комп'ютері операційної системи;

Мова програмування Python в цьому відношенні відповідає всім перерахованим вимогам. Це мова програмування загального призначення: використовується для розробки самостійних додатків, веб-рішень, що, при необхідності, передбачає можливість порівняно простого інтеграційного процесу будь-якої обчислювальної функціональності в проекти.

Синтаксис мови Python є куди більш привабливим (читабельність забезпечується як необхідністю виділяти блоки коду відступами, так і "неформальними" вимогами до написання коду), але остаточне рішення на користь Python було зроблено з огляду на його універсальності (затребуваності для самостійних додатків і веб рішень), наявності власної концепції розробки коду, наявності зручних пакетів для виконання наукових розрахунків (SciPy, Pandas, Sklearn) і роботи з масивами даних (NumPy); наявності додаткових засобів візуалізації даних (matplotlib), обробки зображень (scikit-image, PIL), свідчить про успішність застосування і правильності вибору Python для розв'язання задач математичного моделювання та чисельних методів. Наявні бібліотеки дозволяють добитися швидкості виконання Python-програм. Існуючі бібліотеки дають вибір між більш менш високорівневими рішеннями.

Основна частина

Детальна реалізація МСЕ, як правило, вважається об'ємна і загальновідома, тому в даній роботі наводиться не буде. При дослідженні параметрів НДС ПМ використовувався метод самоузгодження для пор сферичної форми, який виражає залежність модулю об'ємного стиску $K(p)$ та модулю зсуву $G(p)$ ПМ від їх відносної щільності $\rho = 1 - p$ [4-5]:

$$\frac{K(p)}{K_0} = 1 - \frac{1 - \rho}{1 - \alpha_0 \rho}; \quad \frac{G(p)}{G_0} = 1 - \frac{1 - \rho}{1 - \beta_0 \rho}, \quad (1)$$

де $\alpha_0 = \frac{1 + \nu_0}{3(1 - \nu_0)}$; $\beta_0 = \frac{2}{15} \frac{4 - 5\nu_0}{1 - \nu_0}$; $K(p)$, $G(p)$,

K_0 , G_0 – модулі об'ємного стиску та зсуву ПМ і матриці відповідно; ν_0 – коефіцієнт Пуассона матриці.

Скінченноелементна модель визначення параметрів НДС ПМ будується на основі варіації повної потенційної енергії системи, яка

представлена в тензорній формі згідно роботи [9]:

$$\delta\Pi = \delta W - \delta A. \quad (2)$$

Тут δA – варіація роботи розподілених об’ємних P^i і поверхневих F^i сил: $\delta A = \iiint_v P^i \delta u_i dv + \iint_s F^i \delta u_i ds$,

δW – варіація внутрішньої енергії пружної деформації: $\delta W = \iiint_v \sigma^{ij} \delta \varepsilon_{ij} dv$.

Компоненти тензора напружень для пружного пористого тіла визначаються на основі узагальненого закону Гука:

$$\sigma^{ij} = 2G(p) \left(g^{ik} g^{jl} \varepsilon_{kl} - \frac{1}{3} g^{ij} \theta \right) + K(p) g^{ij} \theta, \quad (3)$$

де $\theta = \varepsilon_{ij}$ – функція об’ємного стиску, g^{ij} – компоненти метричного тензору.

Для демонстрації розробленого підходу розв’яжемо статичну лінійну задачу пружності в тривимірній постановці для труби із пористої гуми з наступними вихідними даними: марка гуми – 51-1562, $h = 0,01$ м – товщина, $L = 0,1$ м – довжина, $K_0 = 99,3 \times 10^6$ Па, $G_0 = 2,0 \times 10^6$ Па, $\nu_0 = 0,4899$, $Q = 0,5 \times 10^6$ Па – розподілений внутрішній тиск, пористість $p = 40\%$.

При розв’язуванні розглянутої нами задачі були використані такі науково-розрахункові пакети: NumPy – пакет для високошвидкісної роботи з масивами даних; SciPy – бібліотека функцій для оптимізації та розв’язання звичайних диференціальних рівнянь, інтерполяції тощо; Matplotlib – пакет для візуалізації результатів обчислень.

На рисунках 1-3 представлено відповідно розподілення радіальних переміщень u_1 , нормальних напружень σ_{11} та деформацій ε_{11} .

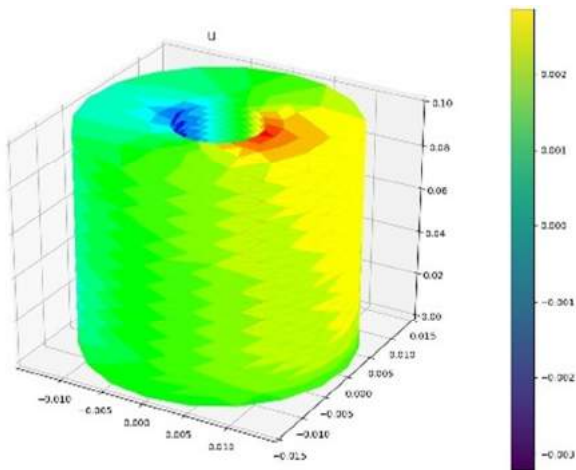


Рисунок 1 – Розподілення радіальних переміщень u_1

Отримані наступні рівні деформацій: $\varepsilon_{\max} = 0,49$ та $\varepsilon_{\min} = -0,582$. Результати розрахунку порівнювались з аналітичним розв’язком на прикладі задачі Ляме, для представленого рівня деформацій похибка сягнула 3-5%, що показує стійку збіжність отриманих чисельних результатів.

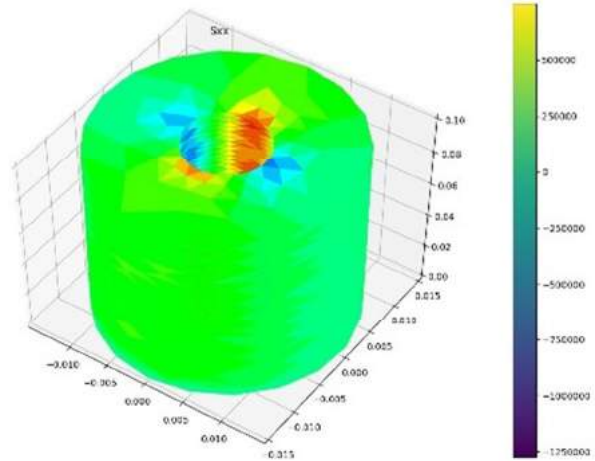


Рисунок 2 – Розподілення нормальних напружень σ_{11}

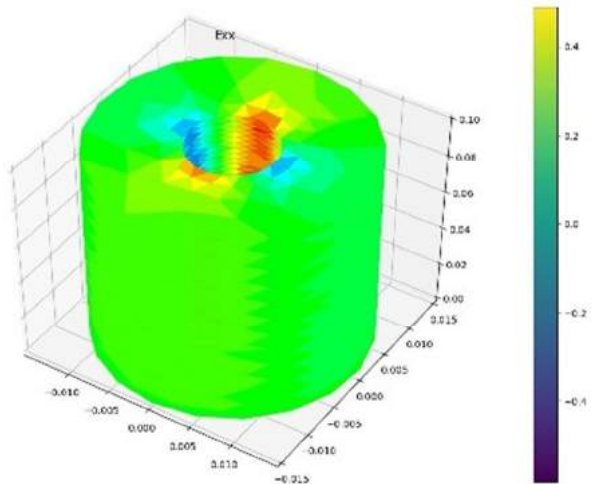


Рисунок 3 – Розподілення деформацій ε_{11}

Висновки

В роботі за допомогою програмних засобів Python побудований тривимірний скінченноелементний підхід до визначення параметрів напружено-деформованого стану пористого матеріалу, який дозволяє здійснювати ефективний чисельний аналіз конструкцій із пористих матеріалів в реальних умовах експлуатації та отримувати уточнені механічні характеристики для подальшого вдосконалення, розвитку та впровадження таких конструкцій в різні галузі народного господарства, за для застосування у вирішенні проблем енергозбереження.

Література

1. Бабец А. В. Особенности напряженно-деформированного состояния прессовых соединений с использованием деталей из порошковых материалов / А. В. Бабец, С. А. Дебеева, Д. Б. Волжсин, А. С. Яковенко // Изв. вуз. Сев.-Кав. регион. Техн. науки, 2009, № 4. – С. 80-82.
2. Дорняк О. Р. Численное решение краевой задачи вязкоупругого деформирования ортотропного капиллярно-пористого материала при прессовании / О. Р. Дорняк // Вестник ВГУ, Серия: Фізика, Математика, 2005, №2. – С. 138-146.
3. Голованов А. И. Расчет больших упругопластических деформаций трехмерных тел МКЭ / А. И. Голованов, Л. У. Султанов // Математическое моделирование систем и процессов. – 2004. – №12. – С. 4-11.
4. Гребенюк С. М. Визначення напружено-деформованого стану конструкцій із пористих матеріалів в умовах нелінійного деформування / С. М. Гребенюк, В. З. Юречко // «Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій». – 2012. – Вип. 20. – С. 130-136.
5. Гребенюк С. М. Визначення напружено-деформованого стану порожнистого циліндра із пористого матеріалу в умовах в'язкопружного деформування / С. М. Гребенюк, В. З. Юречко // «Труды ИПММ НАН Украины». – 2011. – Том 23. – С. 53-60.
6. Robert Cimrman, Ondřej Certík. SfePy - Simple Finite Elements in Python Short Introduction [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ondrejcertik.com/media/euroscipy2008.pdf>
7. M. M. Sussman. FEM example in Python. May 12 – June 19, 2014. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.math.pitt.edu/~sussmanm/3040Summer14/FEM1D.pdf>
8. Alexander Plezter. Python and Finite Elements. March 01, 2002. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.drdoobs.com/jvm/python-and-finite-elements/184404994>
9. Метод конечных элементов в вычислительном комплексе «МИРЕЛА+» / [В. В. Киричевский, Б. М. Дохняк, Ю. Г. Козуб и др.]. – К.: Наук. думка, 2005. – 416 с.

Стаття надійшла в редколегію 05.04.2017

Рецензент: д-р економічних наук, проф. О. А. Бондар, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Морозов Денис Николаевич

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой информационных технологий в туризме, ORCID: 0000-0001-9446-8736

Запорожский национальный технический университет, Запорожье

Юречко Василий Зиновьевич

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информационных технологий в туризме, ORCID: 0000-0002-6281-0602

Запорожский национальный технический университет, Запорожье

Гнездовський Алексей Валентинович

Аспирант кафедры компьютерных наук, ORCID: 0000-0003-0392-3030

Запорожский национальный университет, Запорожье

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ СРЕДСТВАМИ PYTHON

Аннотация. Аналитический расчет для большинства конструкций является очень сложной, а иногда и невозможной процедурой, поэтому большое значение приобретает использование численных методов, в частности метода конечных элементов. В данной работе разработан программный комплекс с использованием языка программирования Python, в котором реализован трехмерный метод конечных элементов для однородных материалов, а также материалов имеющих пористую структуру. Проведен расчет параметров напряженно-деформированного состояния пористой резиновой трубы с учетом пор сферической формы. Результаты расчета сравнивались с аналитическим решением для представленного уровня деформаций, погрешность составила 3-5%, что показывает устойчивую сходимость полученных численных результатов.

Ключевые слова: программный комплекс; язык программирования Python; пористая резина; метод конечных элементов; напряженно-деформированное состояние.

Morozov Denys

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Information Technologies in Tourism,
ORCID: 0000-0001-9446-8736*

Zaporizhzhya National Technical University, Zaporizhzhia

Yuriechko Vasyl

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Technology in Tourism,
ORCID: 0000-0002-6281-0602*

Zaporizhzhya National Technical University, Zaporizhzhia

Gnezdovskiy Alexey

Postgraduate student of the Department of Computer Science, ORCID: 0000-0003-0392-3030

Zaporizhzhya National University, Zaporizhzhia

FINITE ELEMENT APPROACH TO DETERMINING THE STRESS-STRAINED STATE OF THE POROUS MATERIAL BY MEANS OF PYTHON

***Abstract:** Analytical calculation for most designs is very difficult and sometimes impossible procedure because great importance is the use of numerical methods, including finite element method. In this work software package has been developed using the programming language Python, which implemented a three-dimensional finite element method for homogeneous materials as well as materials having a porous structure. The calculation parameters of the stress-strain state of porous rubber tube considering pores of the spherical form. The calculation results are compared with analytical solutions for the present level of deformation error reached 5.3%, showing a steady convergence of numerical results obtained.*

***Keywords:** software complex; programming language Python; porous rubber; finite element method; stress-strain state.*

УДК 662.99

Недбайло Олександр Миколайович

Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, ORCID: 0000-0003-1416-9651,
Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України, Київ

Божко Ігор Костянтинович

Молодший науковий співробітник, ORCID: 0000-0001-7458-0835,
Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України, Київ

**АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ СИСТЕМИ
ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО БУДИНКУ**

***Анотація.** Для подальшого підвищення енергетичної ефективності експериментального будинку були проведені натурні експерименти щодо підтримання належного теплового режиму його приміщень при використанні теплового насосу. В роботі представлені результати експериментальних досліджень параметрів роботи теплонасосної системи теплопостачання енергоефективного будинку Інституту технічної теплофізики Національної академії наук України. Наведений аналіз енергетичної ефективності експлуатації теплового насосу типу «грунт-рідина» у номінальному режимі із максимальним навантаженням показав високе значення коефіцієнту перетворення енергії.*

***Ключові слова:** тепловий насос; енергоефективний будинок; система теплопостачання*

Постановка проблеми

Підвищення енергоефективності систем теплозабезпечення із використанням відновлювальних джерел енергії [1] є пріоритетним напрямком у розвитку сучасного будівництва. Загальна енергетична ефективність будинку нероздільно пов'язана із його інфраструктурним забезпеченням системами підтримання життєдіяльності людини. При цьому, кліматизація приміщень відповідно до належних санітарно-гігієнічних вимог є основною вимогою для можливості довготривалого перебування в них людини.

Аналіз основних досліджень та публікацій

Об'єктом експериментальних досліджень є теплонасосна система теплопостачання енергоефективного будинку [2 - 6], що спрощено складається із ґрунтового і опалювального контурів, а також проміжного контуру, що зв'язує тепловий насос і бак-акумулятор теплоти.

Формулювання мети статті

Основною метою статті є демонстрація можливості впровадження енергоефективної теплонасосної системи теплопостачання на об'єктах нового будівництва та під час термомодернізації вже споруджених будівель різних типів та призначення.

Основна частина

Енергоефективний будинок являє собою триповерхову споруду з цокольним поверхом, що розташована на території Інституту технічної теплофізики НАН України в м. Києві з опалювальною площею 306 м² і розрахунковим питомим енергоспоживанням на опалення і гаряче водопостачання приблизно 14,8 кВт·год/(м²·рік) [7 – 10]. Тепловий насос (ТН) при цьому має номінальну потужність 6,1 кВт.

Ґрунтовий контур складається з горизонтального ґрунтового колектора - групи підключених паралельно багатোধових і змієвикових теплообмінників (ГТО), виконаних з поліетиленових труб 40x3,2 мм і 32x2 мм, що розташовуються поряд із будинком на глибині 2,2 м. Майданчик їх розташування має площу поверхні близько 180 м². Теплоносієм в ґрунтовому контурі є 30% -й водний розчин пропіленгліколя.

Проміжний контур виконаний з поліпропіленової труби 40x6,7 мм із заповненням його обробленою водою. Бак-акумулятор призначений для гідравлічної розв'язки контурів джерел і споживачів теплоти. Він являє собою теплоізольовану циліндричну ємність об'ємом 300 л зі змієвиковими теплообмінниками всередині.

Опалювальний контур складається з сукупності, підключених паралельно, опалювальних систем, що включає в себе водяні теплі підлоги різної конфігурації (серед яких, так звана

капілярна), змійовики в простінках будинку, а також водо-повітряні опалювальні прилади (фанкойли). Теплоносій в них є також підготовлена вода.

Циркуляція теплоносіїв в кожному з вищеописаних контурів здійснюється насосами з можливістю регулювання їх напірно-витратних характеристик. Погодинні вимірювання протягом доби в кожному з контурів кількості теплоти, об'єму теплоносія, а також значень його температури в подавальному і зворотному трубопроводах проводилися тепловими лічильниками Sharky 773

(опціонально кожні 10 хв.). Для подальшого аналізу проводився перерахунок теплової потужності та об'ємної витрати з урахуванням залежності теплофізичних властивостей теплоносія від зміни його температури.

Нижче продемонстровані значення параметрів теплоносія в кожному з контурів в одному з експлуатаційних режимів (номінальне теплове навантаження).

На рис. 1 наведені параметри роботи контуру ґрунтового теплообмінника.

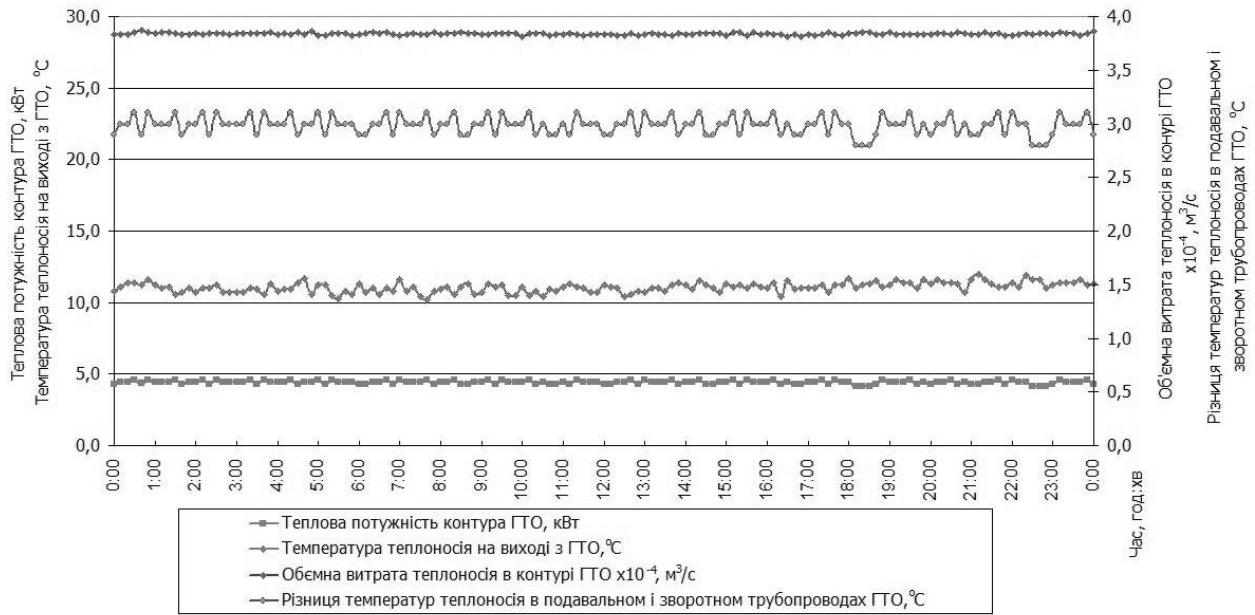


Рисунок 1 – Параметри роботи контуру ґрунтового теплообмінника

На рис. 2 проілюстровані параметри роботи контуру тепловий насос - бак-акумулятор теплоти

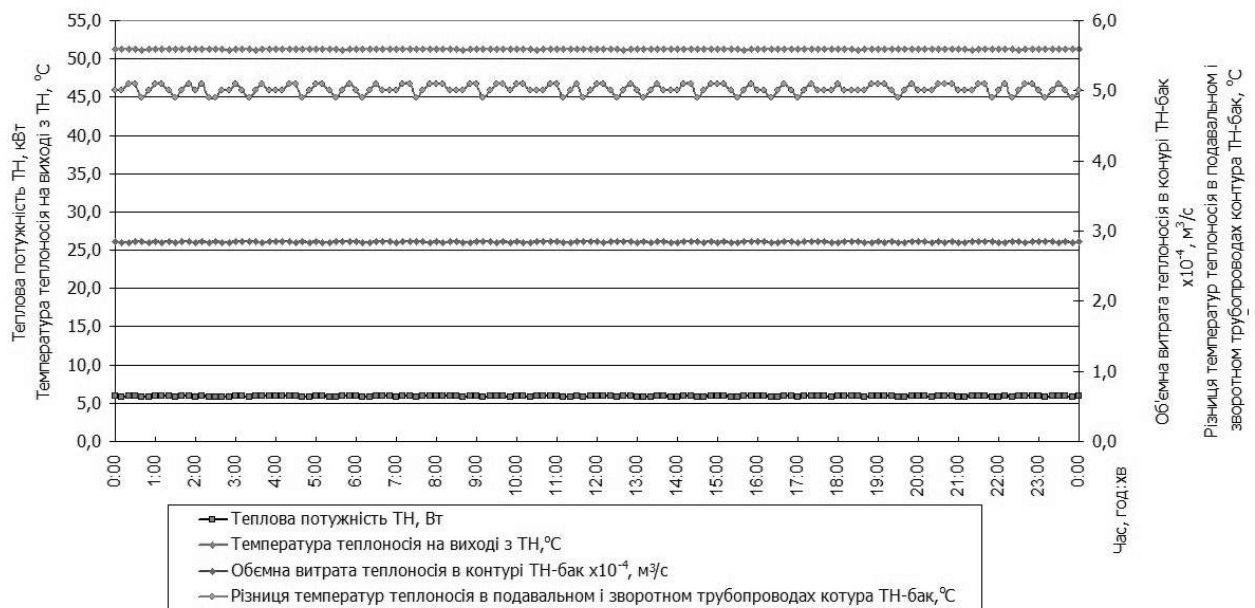


Рисунок 2 – Параметри роботи контуру тепловий насос - бак-акумулятор теплоти

На рис. 3 показані параметри роботи контуру опалення.

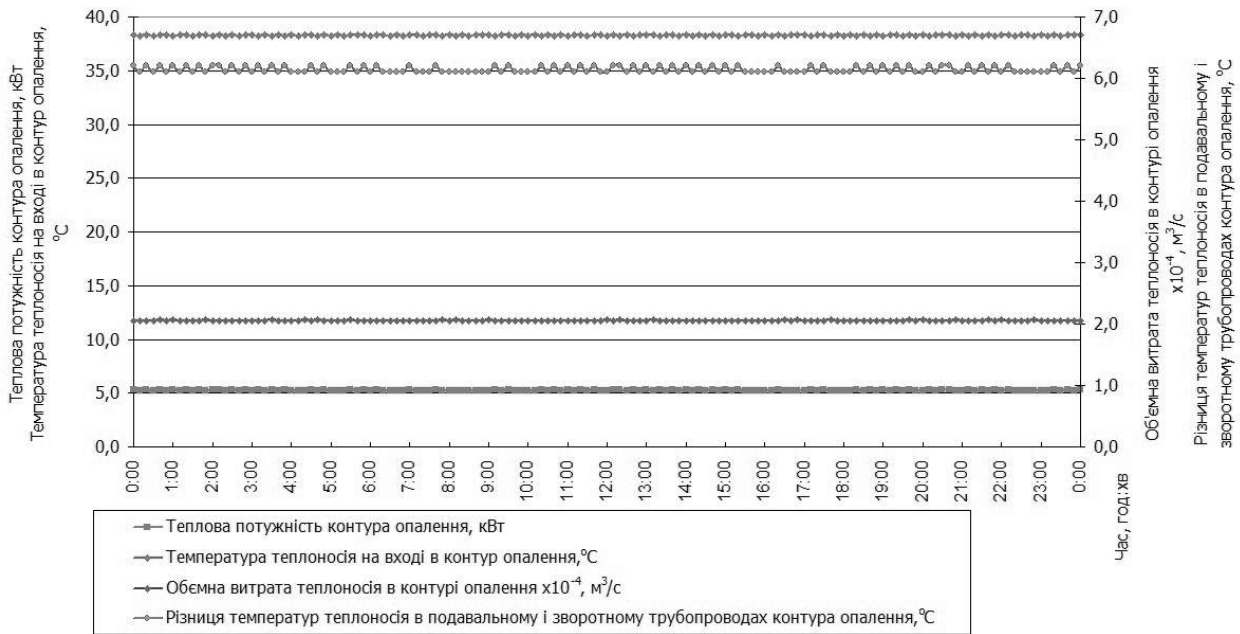


Рисунок 3 – Параметри роботи контуру опалення

Проведений розрахунок коефіцієнта трансформації теплоти для теплового насоса (COP - Coefficient of Performance) в режимі його постійного повного навантаження виходячи з балансу кількості переданої теплоти:

$$\text{COP} = Q_1 / (Q_1 - Q_2) = 5,90 / (5,90 - 4,42) = 3,98;$$

де Q_1 - середньодобове значення теплової потужності контуру ТН-бак, кВт;

Q_2 - середньодобове значення теплової потужності контуру ГТО, кВт.

При цьому за визначенням, виходячи із закону збереження енергії:

$$\text{COP} = Q_1 / N = 5,90 / 1,66 = 3,55;$$

де N - повна середньодобова електрична потужність, споживана ТН, кВт.

Кількість споживаної тепловим насосом і циркуляційними насосами електроенергії вимірювалося за допомогою електричного інвертора живлення із власним лічильником.

Висновки

Проведений короткий аналіз експлуатації теплового насоса в номінальному режимі показав його високу енергетичну ефективність завдяки використанню як джерело низькопотенційної теплоти ґрунтового масиву, а в якості споживачів - низькотемпературні опалювальні системи.

Література

1. Кучинский О.А. Модели стимулирования развития возобновляемых источников энергии / О.А. Кучинский, С.С. Позняк, Ю. Шенк // *Енергоефективність*. – 2012. – № 8. – С. 14 – 15.
2. Басок Б.И. Технические аспекты системы энергообеспечения пассивного дома / Б.И. Басок, А.Н. Недбайло, И.К. Божко, М.В. Ткаченко // *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. – 2016. – Випуск 8. – С. 3 – 9.
3. Божко И.К. Экспериментальные исследования теплонасосной системы теплоснабжения с использованием ґрунтового коллектора / И.К. Божко, А.Н. Недбайло, М.В. Ткаченко // *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. – 2016. – Випуск 8. – С. 29 – 34.
4. Божко И.К. Комбинированная система теплоснабжения высокоэнергоэффективного дома // И.К. Божко, А.Н. Недбайло, М.В. Ткаченко, И.Г. Засецкий // *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. – 2014. – Випуск 6. – С. 14 – 22.
5. Басок Б.И. Поливалентная теплонасосная система теплообеспечения энергоэффективного пассивного дома / Б.И. Басок, В.А. Бородуля, И.К. Божко, М.В. Ткаченко // *Материалы международной научно-технической конференции*

«Энергоэффективность – 2014». – Минск: Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси. – 2014. – С. 18 – 20.

6. Басок Б.И. Поливалентная система теплообеспечения пассивного дома на основе возобновляемых источников энергии / Б.И. Басок, И.К. Божко, А.Н. Недбайло, О.Н. Лысенко // *Инженерно-строительный журнал*. – №6, 2015. – С. 32 – 43.

7. Долінський А.А. Концептуальні основи створення експериментального будинку типу «нуль енергії» / А.А. Долінський, Б.І. Басок, О.М. Недбайло, Т.Г. Беляєва, М.А. Хибина, М.В. Ткаченко, М.П. Новіцька // *Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник*. – 2013. – Випуск 77. – С. 222 – 228.

8. Basok B. Creating of experimental passive house in the Institute of engineering thermophysics / B. Basok, A. Nedbailo, M. Novitska, M. Khibina, S. Goncharuk // *Proceedings of 8-th International Green Energy Conference*. – Monograph. – NAU, Kiev. – 2013. – P. 234 – 237.

9. Басок Б.И. Схемні рішення оснащення енергоефективного будинку системою теплозабезпечення / Б.И. Басок, О.М. Недбайло, М.В. Ткаченко, І.К. Божко, М.П. Новіцька // *Пром. теплотехніка*. – 2013. – Т. 35, №1. – С. 42 – 48.

10. Басок Б.И. Концепция системы теплохолодообеспечения энергоэффективного дома / Б.И. Басок, А.Н. Недбайло, М.В. Ткаченко, И.К. Божко, Е.В. Ряснова // *Аква Терм*. – №8, 2013. – С. 42 – 46.

Стаття надійшла до редколегії 04.04.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Приймак, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Недбайло Александр Николаевич

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ORCID: 0000-0003-1416-9651, Институт технической теплофизики Национальной академии наук Украины, Киев

Божко Игорь Константинович

Младший научный сотрудник, ORCID: 0000-0003-1416-9651, Институт технической теплофизики Национальной академии наук Украины, Киев

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ТЕПЛОНАСОСНОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛООБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ДОМА

Аннотация. Для дальнейшего повышения энергетической эффективности экспериментального дома были проведены натурные эксперименты по поддержанию надлежащего теплового режима его помещений при использовании теплового насоса. В работе представлены результаты экспериментальных исследований параметров работы теплонасосной системы теплоснабжения энергоэффективного здания Института технической теплофизики Национальной академии наук Украины. Приведенный анализ энергетической эффективности эксплуатации теплового насоса типа «грунт-жидкость» в номинальном режиме с максимальной нагрузкой показал высокое значение коэффициента преобразования энергии.

Ключевые слова: тепловой насос; энергоэффективный дом; система теплоснабжения

Nedbailo Alexander

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, ORCID: 0000-0003-1416-9651, Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiyv

Bozhko Igor

Junior Researcher, ORCID: 0000-0003-1416-9651, Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiyv

ANALYSIS OF ENERGY PARAMETERS OF OPERATION OF THE HEAT PUMP SYSTEM OF HEAT SUPPLYING OF THE ENERGY EFFICIENT HOUSE

Abstract. To further increase the energy efficiency of the experimental house, natural experiments were conducted to maintain the proper thermal regime of its premises when using a heat pump. The paper presents the results of experimental studies of the parameters of the heat pump heat supply system of the energy-efficient building of the Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine. The above analysis of the energy efficiency of operation of the ground-liquid heat pump in the rated mode with the maximum load showed a high value of the energy conversion coefficient.

Keywords: heat pump; energy efficient house; heat supply system

УДК 697.02

Оленіна Олена Юріївна

Технічний менеджер відділу комплексних проектних рішень у сфері акліматизації

ПрАТ «Вентиляційні системи», Київ

СИСТЕМИ ЗІ ЗМІННОЮ ВИТРАТОЮ ПОВІТРЯ (VAV-СИСТЕМИ) –
МАКСИМАЛЬНА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

Анотація. Системи зі змінною витратою повітря (VAV – variable Air Volume) надають можливість індивідуального моделювання кліматичних параметрів для кожного окремого приміщення, вентиляція яких здійснюється від однієї установки. Ця перевага дозволяє знизити капітальні та експлуатаційні витрати, забезпечуючи максимально комфортні умови у приміщеннях будівлі.

Ключові слова: VAV-системи; Системи зі змінною витратою повітря; енергоефективність систем зі змінною витратою повітря; ВЕНТС

Постановка проблеми

В умовах стрімкого росту цін на енергоносії та вимог до рівня комфорту в приміщеннях різних будівель все частіше постає питання ефективного розподілу повітря, зниження при цьому витрат на його підготовку.

Основне завдання будь-якої системи вентиляції – створити комфортне внутрішнє середовище у приміщенні, не привертаючи уваги до своєї роботи. Система розподілу повітря в будівлі відповідає за підтримання належних комфортних параметрів якості повітря, температури та рівня вологості при мінімальних енерговитратах. Прикладом такої системи може служити система зі змінною витратою повітря.

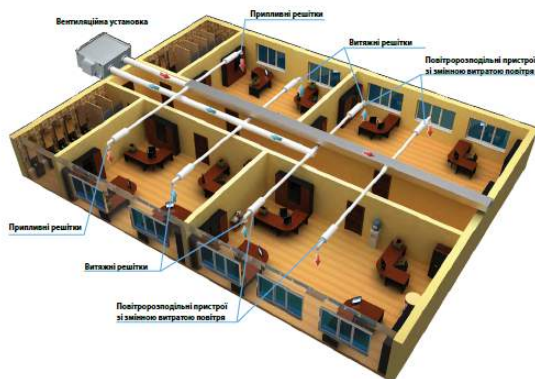


Рисунок 1 – Приклад VAV-системи

Система зі змінною витратою повітря являє собою різновид системи розподілу повітря, яка подає повітря обраної температури до кожного приміщення будівлі, контролюючи при цьому

температуру в межах усієї будівлі шляхом зміни об'єму повітря, яке подається до кожного приміщення. Іншими словами, система компенсує втрати тепла в обсязі, достатньому для підтримання заданої температури. До складу такої системи входить припливно-витяжна установка, система припливних повітропроводів, повітродозподільні пристрої, а також система керування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

За даними американської асоціації ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) було доведено, що ще на етапі проектування систем вентиляції з використанням VAV- принципів за використанням систем автоматичного керування DDC (Direct Digital Control) зменшення енергетичних затрат може досягати в середньому 25% у зрівнянні зі стандартними вентиляційними системами з постійною витратою повітря та може бути легко інтегрована до загальної системи управління будівлею (BMS – building management system).

Враховуючи те, що нормативна база України повинна буди адаптована до вимог стандартів ЕС щодо енергоефективності систем та обладнання, зі вступом у 2019 році в дію Директив ЄС 1253/2014, усі системи вентиляції повинні відповідати певним критеріям по енергоспоживанню.

Мета статті

Для вирішення задачі зниження енергозатрат при експлуатації будь-якої системи необхідно чітко розуміти принципи роботи та основні підходи для обрання найбільш правильного рішення ще на етапі проектування системи. Саме ознайомлення з

основними ідеями та наведення конкретних прикладів – є основною задачею даної статті.

Основна частина

Ключовими перевагами VAV-систем є:

- індивідуальне керування параметрами повітря в окремих приміщеннях;
- можливість використання датчиків CO₂, датчиків відносної вологості та реле часу для регулювання об'ємної витрати повітря;
- скорочення необхідних капіталовкладень, а також вартості монтажу та введення в експлуатацію;
- зменшення енергоспоживання;
- спрощення пусконаладжувальних робіт;
- безперервне керування об'ємною витратою повітря в різних елементах системи;
- інтеграція з системами керування будівлею з використанням протоколів обміну даними MPbus, BACnet, MODbus та EIB/KNX;
- проста модернізація системи при появі нових умов.

Характерною ознакою та перевагою VAV-системи є можливість зменшення витрати повітря у зрівнянні із системою з постійною витратою повітря (CAV). Загальна витрата повітря у вентиляційній системі CAV обумовлена максимальним тепловим навантаженням та потребою в припливному повітрі. Але, в розрізі цілою будівлі, при різних режимах експлуатації приміщень, нерівномірності теплових навантажень, теплове навантаження приміщень досить різна в залежності від періоду добу та розміщення за сторонами світу. Вважається, що коефіцієнт нерівномірності сучасної будівлі в середньому дорівнює 0,7-0,8. Це означає, що на практиці потреба в максимальній витраті повітря в усіх частинах об'єкту не виникає одночасно. Тому використання VAV-систем регулятори якої змінюють витрату повітря в залежності від поточної потреби кожного приміщення. Як наслідок, основний потік повітря буде спрямований саме туди, де в цьому є найбільша потреба.

Як уже зазначалося раніше, системи зі змінною витратою повітря вирізняються найменшим рівнем енергоспоживання та найвищою ефективністю серед вентиляційних систем. Однією з ключових відмінностей від традиційних вентиляційних систем є підтримання постійної температури повітря, що подається. Керування кліматом забезпечується шляхом подачі точного обсягу повітря, необхідного в конкретний момент часу. Кількість повітря для подачі до приміщення визначається за допомогою набору опорних параметрів (температура повітря, відносна вологість, рівень CO₂ тощо). Отже, стає

можливим реалізувати принцип вентиляції на вимогу.

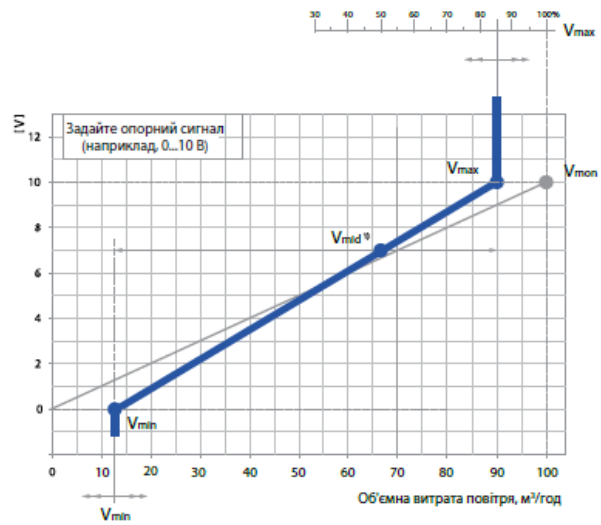


Рисунок 2 – залежність обсягу повітря від керуючого сигналу.

Застосування систем зі змінною витратою повітря дозволяє досягти суттєвої економії енергоресурсів. У будь-якій системі вентиляції основними споживачами є механічний привод та нагрівач (охолоджувач) повітря. Оскільки температура повітря в системі є незмінною (хоча й відрізняється в режимах нагрівання та охолодження), нагрівач або охолоджувач повітря працює при стабільних параметрах. Отже, стає можливим виключити коливання температури й зафіксувати споживання енергії на постійному рівні.

Особливу увагу слід звернути на спосіб керування роботою вентилятора у складі системи зі змінною витратою повітря. Робота повітродозподільних пристроїв зі змінною витратою повітря не залежить від тиску в системі. Кожний повітродозподільний пристрій у системі облаштовано датчиком для вимірювання поточної величини об'ємної витрати повітря, яка потім порівнюється зі значенням із набору опорних параметрів для регулювання положення заслінки. Це позбавляє необхідності підтримання високого динамічного тиску в системі за допомогою вентилятора. Замість цього вентиляторіві достатньо забезпечити мінімально достатній тиск, необхідний для подачі повітря до найвіддаленішого повітродозподільного пристрою в системі. Отже, при зменшенні навантаження відбувається зниження обертів вентиляторів, а разом з цим — і енергоспоживання.

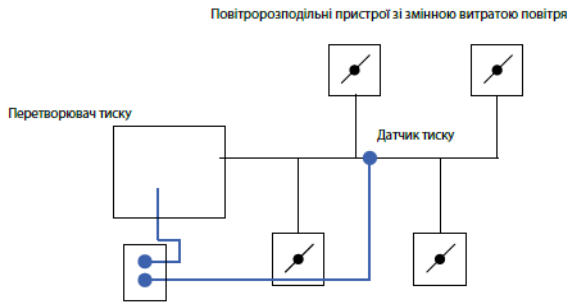


Рисунок 3 – принципова схема розміщення основних вузлів системи

Тиск у системі вимірюється перетворювачем тиску, що підключений до приводу вентилятора. Опорне значення задається на етапі пусканалагоджувальних робіт, а потім перетворювач тиску фіксує його коливання та відповідним чином збільшує чи зменшує оберти вентилятора. Такий підхід до керування вентилятором називається системою з постійним тиском.

Зрештою, існує ще ефективніший спосіб керування потужністю вентилятора. Цей спосіб полягає в керуванні положенням заслінки повітророзподільного пристрою. У цьому разі ключовим елементом системи є модуль оптимізації.

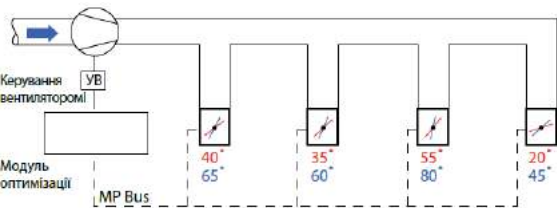


Рисунок 4 – схема управління продуктивністю вентилятора з оптимізаторним модулем.

Цей модуль визначає, яка із заслінок системи відкрита найширше, а потім задає таку швидкість вентилятора, за якої максимальний кут відкриття цієї заслінки становить 80 градусів, не дозволяючи решті заслінок в системі відкриватися ширше еталонної. Отже, вентилятор забезпечує необхідну об'ємну витрату повітря за мінімально можливою швидкістю, що відображено на рисунку 5.

Основні показники енергоспоживання в залежності від обраної системи вентиляції наведені на рисунку 6.

До основних вузлів повітророзподільного пристрою зі змінною витратою повітря належать корпус із заслінкою, диференційний перетворювач тиску, контролер об'ємної витрати повітря, а також сигналізатор налаштування.

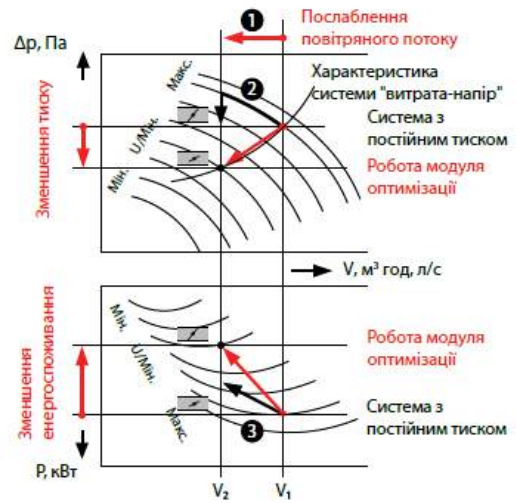


Рисунок 5 – Показники основних змін при використанні модуля оптимізації.

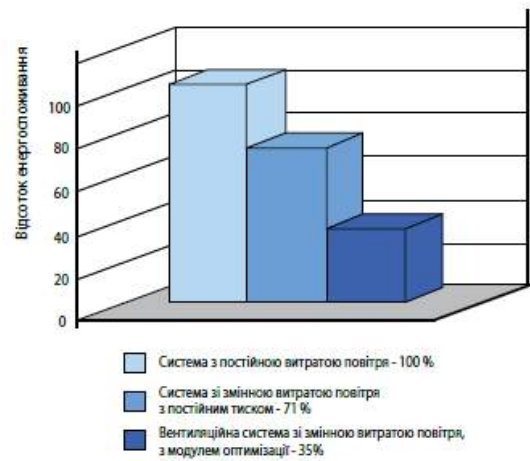
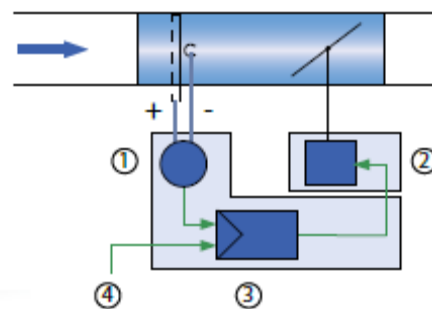


Рисунок 6- переваги застосування модуля оптимізації порівняно з системою із постійним тиском.



- 1- Диференційний перетворювач тиску;
- 2- Привод;
- 3- Контролер об'ємної витрати повітря;
- 4- Вхідний сигнал положення

Рисунок 7- елементи регулятора витрати повітря VAV.

1. Диференційний перетворювач тиску

Диференційний перетворювач тиску служить для вимірювання різниці між статичним та повним тиском, дозволяючи обчислити швидкість повітряного потоку, і, як наслідок, поточне значення об'ємної витрати через повітророзподільний пристрій зі змінною витратою повітря.



Рисунок 8- Диференційний перетворювач тиску

Для правильного вимірювання величини витрати повітря вкрай необхідно підтримувати мінімально допустиму швидкість потоку. У наших повітророзподільних пристроях застосовуються ретельно випробувані, сучасні внутрішньоканальні зонди, які забезпечують похибку вимірювань у межах +/- 5 %.

2. Привод

Привод дозволяє плавно змінювати положення заслінки залежно від сигналу налаштування, що отримується з контролера об'ємної витрати повітря. Пристрій оснащено аналоговим виходом.



Рисунок 9- Привод

Високий крутний момент приводів, що застосовуються в наших повітророзподільних пристроях зі змінною витратою повітря, дозволяє керувати заслінками площею до 8 м². Початкове положення заслінки та швидкість реагування регулюються за місцем — дистанційно за допомогою технології NFC або програматора.

3. Контролер об'ємної витрати повітря

Контролер об'ємної витрати повітря формує сигнал налаштування для приводу. У контролері є два входи. Один із входів призначений для підключення датчика перепаду тиску, який повідомляє значення фактичної об'ємної витрати повітря через заслінку.

Другий вхід дозволяє підключити датчик, наприклад, кімнатний термостат, датчик CO₂, датчик відносної вологості, датчик руху, а також інші подібні пристрої. За необхідності заводські значення V_{min} та V_{max} контролера об'ємної витрати повітря можна легко перепрограмувати на місці за допомогою програматора, комп'ютера зі спеціальною утилітою або зовнішніх потоків обміну даними MPbus, BACnet, MODbus та EIB/KNX.

Типові рішення із застосуванням вентиляційних VAV-систем.

А. Приміщення без розподільчих стін

Для вентиляції використано одне з найпростіших рішень. Система повітропроводів виконана у вигляді кільця. Свіже кондиціоноване повітря з припливно-витяжної установки подається до приміщення за температури 15 °C із розділенням на внутрішні та зовнішні зони

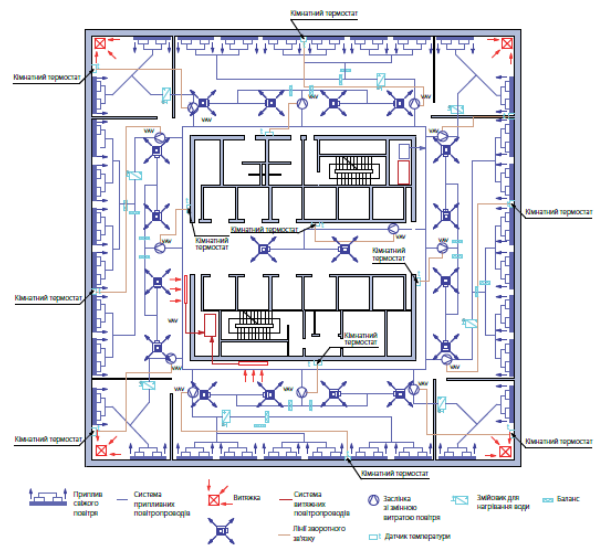


Рисунок 9- VAV-система моноспейс.

Роздільна подача повітря в кожную зону забезпечується заслінкою зі змінною витратою повітря. До зовнішньої зони належать приміщення, в яких мінімум одна стіна виходить на вулицю. Витяжка повітря організована через міжстельовий простір з регулюванням витрати за допомогою заслінок, розташованих поблизу загального витяжного колектора. Діапазони значень об'ємної

витрати повітря обчислюються окремо з урахуванням тепловтрат і приросту тепла, призначення приміщення та розрахункової кількості людей у приміщенні. Наприклад, для вентиляції коридорів, архівних та службових приміщень може використовуватися мінімальний об'єм повітря. Тепловтрати зимової пори року компенсуються за допомогою зональних підігрівачів, встановлених на кожній заслінці зі змінною витратою повітря. В якості датчиків налаштувань використовуються кімнатні датчики, а також датчики CO₂. Для розподілу повітря застосовуються також вихрові та щільніні дифузори.

Б. Приміщення готелю

Усі приміщення готелю являють собою закритий простір, розділений вогнетривкими перегородками. Особливість застосування вентиляційної системи зі змінною витратою повітря в будівлях подібного типу полягає у використанні вогнезатримних клапанів у кожній зоні.

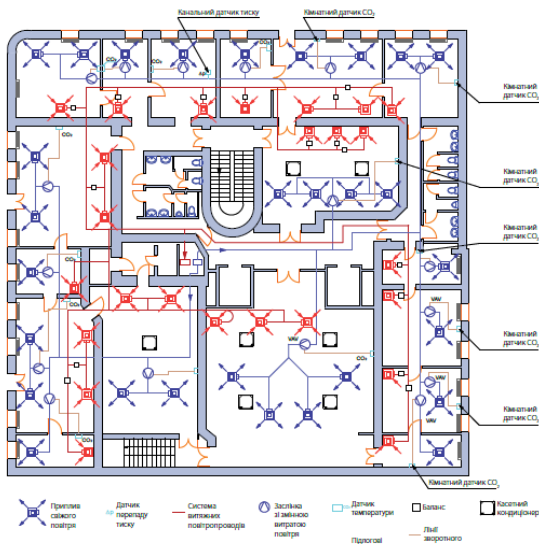


Рисунок 10- VAV-система готелю.

Свіже кондиціоноване повітря із припливно-витяжної установки подається до приміщення з температурою 15 °C або 37 °C залежно від режиму роботи: охолодження чи нагрівання. Об'єм свіжого повітря, що подається, залежить від розрахункової кількості людей у приміщенні, а також заданих параметрів. Якщо приміщення залишається порожнім, система подає до нього лише мінімально допустимий об'єм повітря. Якщо ж у приміщенні знаходяться люди, об'єм повітря, що подається, буде залежати від їх кількості та заданих параметрів. Слід зазначити, що робота кімнатних термостатів синхронізована з радіаторами водяного

опалення, щоб не допустити надмірного нагрівання повітря у приміщенні.

Витяжка повітря організована через міжстельовий простір з регулюванням витрати за допомогою заслінок, що розташовані поблизу загального витяжного колектора. Діапазони значень об'ємної витрати повітря обчислюються окремо з урахуванням тепловтрат і приросту тепла, призначення приміщення та розрахункової кількості людей у приміщенні. Наприклад, для вентиляції коридорів та службових приміщень може використовуватися мінімальний об'єм повітря. Тепловтрати зимової пори року компенсуються за допомогою радіаторів водяного опалення, які встановлені в кожному приміщенні. В якості датчиків налаштувань використовуються кімнатні термостати.

В. Приміщення навчального закладу

Під час створення системи зі змінною витратою повітря для будівлі школи інженерам довелося застосувати комплексний підхід. Під час розробки системи були враховані такі особливості будівлі:

- основним засобом компенсації тепловтрат слугує система водяного опалення;
- система вентиляції передбачає подачу свіжого кондиціонованого повітря;
- щільний графік роботи будівлі;
- жорсткі вимоги до припустимого рівня шуму;
- система вентиляції повинна також забезпечувати видалення надлишкового тепла, пов'язаного з присутністю людей та освітленням.

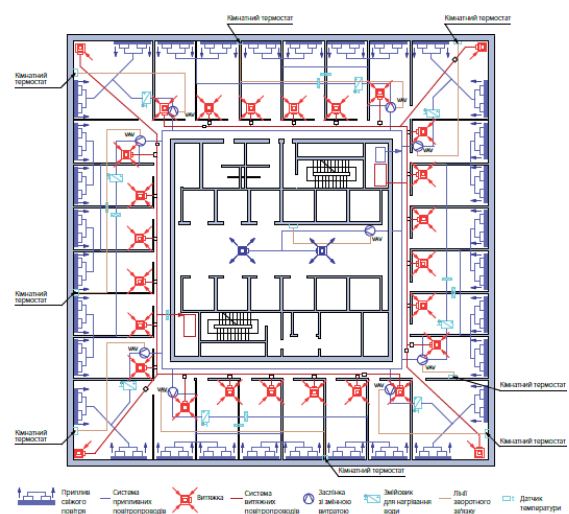


Рисунок 11- VAV-система навчального закладу.

Оскільки основним пріоритетом для школи є якість повітря, в якості датчиків налаштувань широко використовуються датчики CO₂. Постійна температура також повинна підтримуватися в таких приміщеннях як бібліотеки, душові тощо. Отже, при організації роботи системи зі змінною витратою повітря необхідно врахувати всі вищезазначені особливості. Для видалення найбільш гарячого та забрудненого повітря в міжстельовому просторі прокладено витяжні повітропроводи.

Висновки

Вентиляційні системи з VAV-регулюванням є досить складними, тому що повинні враховувати особливі характеристики кожного об'єкту. Комплексний підхід з урахуванням архітектури, енергетичних, кліматичних потреб будівлі дозволить отримати «енергофактивну та комфортну» будівлю з оптимальними з точки зору капітальних та енергетичних затрат характеристиками

Література

1. В. Судол, ЯюХендигер. Системы VAV. Краткое описание – Краков: группа Fortis, 2009.- 79с., іл.
2. J.Murphy High-Performance VAV Systems – Ashrae Journal October , 2011
3. ASHRAE Handbook. Chamber 38 Testing, Adjusting and Balancing, 2010
4. Вентс. Системы керування об'ємною витратою повітря, 2016- 38с., іл.

Стаття надійшла в редколегію 11.04.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Приймак, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Оленина Елена Юрьевна

Технический менеджер отдела комплексных проектных решений в сфере акклиматизации
ПрАТ «Вентиляционные системы», Киев

«СИСТЕМЫ ПЕРЕМЕННОГО РАСХОДА ВОЗДУХА (VAV-СИСТЕМЫ) – МАКСИМАЛЬНАЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ»

Аннотация. Системы переменного расхода воздуха (VAV – variable Air Volume) предоставляют возможность индивидуального моделирования климатических параметров для каждого отдельного помещения, которые вентилируются одной установкой. Это преимущество позволяет снизить капитальные и эксплуатационные затраты, обеспечить максимально комфортные условия в помещениях здания.

Ключевые слова: VAV-системы; системы переменного расхода воздуха; энергоэффективность систем переменного расхода воздуха; ВЕНТС

Olenina Olena

Technical manager of integrated design solutions in acclimatization
JSC "Ventilation systems", Kyiv

«VARIABLE AIR VOLUME SYSTEMS – MAXIMUM OF ENERGY EFFICEINCY»

Abstract. Systems with variable air volume gives an opportunity for individual modeling of climate parameters for each room in the building that have ventilation from one airhandling unit. This advantage allows us to reduce capital and operation costs, provide maximum comfortable conditions inside the building.

Keywords: VAV-system; systems with variable air volume; energy systems with variable air volume; VENTS

УДК 621.036; 697.4

Петраш Віталій Дем'янович*Доктор технічних наук, професор, зав. каф. ОБ та ОПБ, ORCID: 0000-0002-0413-233X
Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса***Полунін Юрій Миколайович***Асистент каф. ОБ та ОПБ, ORCID: 0000-0002-0752-5550
Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса***ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛОАСОСНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГІЇ
ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ОБЕРТОВИХ ПЕЧЕЙ**

***Анотація.** Встановлено, що інтеграція контактної-рекуперативної і теплоасосної утилізації теплоти відпрацьованих газів за запропонованою схемою дозволяє заощаджувати паливо, що використовується у цементних та керамзитних печах, та підвищити ефективність використання первинної енергії в пічних агрегатах на основі теплоасосної трансформації енергетичних потоків охолодження відпрацьованих газів для промислового та комунально-побутового теплопостачання. Наведені результати дослідження можуть бути основою для практичного застосування з метою більш ефективного використання палива в обертових печах. Його економія для характерних типорозмірів цементних і керамзитних печей становить 51964 т/рік та 2401 т/рік відповідно з одночасним зниженням надходження найбільш шкідливих викидів в навколишнє середовище: - по SO_2 до 27,77% і в 48,51%, а - по NO_2 до 27,8% і до 48,56% відповідно для газового і вугільного палива.*

***Ключові слова:** термотрансформація; утилізація; обертові печі; енергоефективність*

Постановка проблеми

Обертові печі виробництва цементу і керамзиту характеризуються низькою ефективністю використання енергії палива, а також великими втратами теплоти з відпрацьованими газами [1, 2, 3]. Вони відрізняються порівняно низькою температурою (150-250 °С) і значними витратами, тому мають великий теплоенергетичний потенціал, який практично не використовується для промислового, теплотехнологічного і комунально-побутового теплопостачання

Аналіз основних досліджень та публікацій

Аналіз енергетичної ефективності систем рекуперативного, контактної і контактної-рекуперативного засобів відбору теплоти з відпрацьованих низькотемпературних газів свідчить про необхідність пошуку більш ефективних методів глибокого їх охолодження з одночасним підвищенням температури середовища, що нагрівається для абонентських систем. Відомі теплоасосні системи теплопостачання на основі охолодження відпрацьованих газів енергетичних установок мають підвищені можливості високоефективного відбору та утилізації теплоти. Однак їм властиві високі загальні витрати на теплоасосні системи, при цьому вони не можуть бути безпосередньо адаптовані для вирішення

поставленої задачі.

Основная часть

Запропонована [4] термотрансформаторна система відбору теплоти з відпрацьованих газів обертових печей для промислового теплопостачання, рис. 1., працює наступним чином. Після традиційного та тонкого очищення в фільтрі 26 відпрацьований газ надходить в теплообмінник попереднього охолодження 12, потім, проходячи через контактні камери 6 і 28 з різною щільністю зрошення, потрапляє в теплообмінник 7 для глибокого охолодження. В теплообміннику 8 він незначно підігрівається для виключення можливого випадання конденсату у димовій трубі. Підігріта в теплообміннику 15 частина вихідної водопровідної води проходить через випарник теплоасосного контуру 22, в якому тепловий потік, що відбирається підігріває частину води, що надходить з піддона 5, в конденсаторі 21 з метою нагріву енергоносіїв для систем опалення та гарячого водопостачання. Одночасно з піддону 5 відбирається частина води на технологічне теплоспоживання по ділянці 29.

Надійність роботи системи забезпечується тим, що регенерування циркуляційної води в піддоні забезпечується ступенем споживання холодної води з трубопроводу 17 для технологічного теплоспоживання по дренажній ділянці 29.

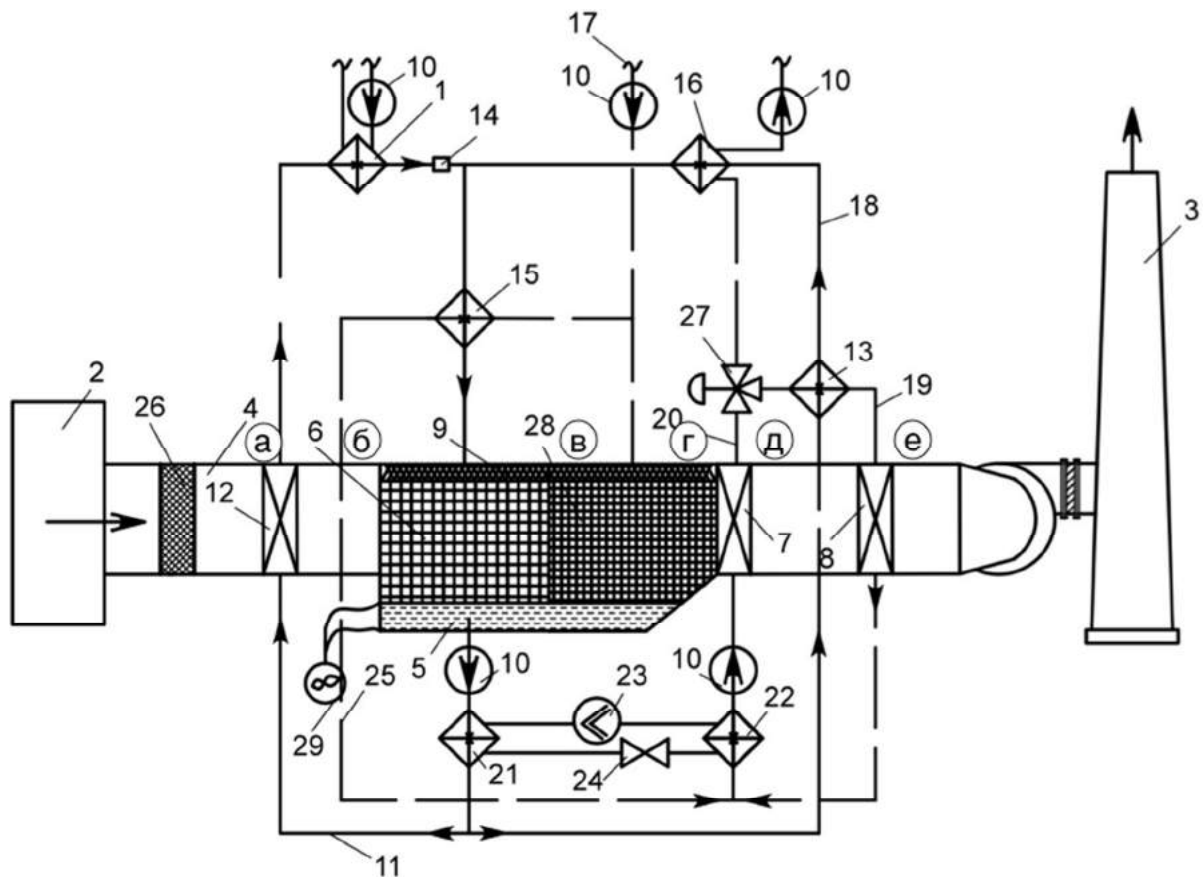


Рисунок 1 – Схема системи контактної-рекуперативної відбору і трансформації теплоти з відпрацьованих газів обертових печей для промислового та комунально-побутового тепlopостачання

Умовні позначення: 1-теплообмінник нагріву води для опалювально-вентиляційних систем; 2-газохід після традиційного очищення відпрацьованих газів з обертової печі; 3-димова труба; 4-газохід після тонкого очищення відпрацьованих газів; 5-піддон для збору води в контактній камері; 6-перша контактна камера попереднього зволоження; 7-теплообмінник глибокого охолодження газу; 8-підігрівач газу перед димовою трубою; 9-зрошувач; 10-циркуляційні насоси; 11, 18, 19, 20 - трубопроводи; 12 - теплообмінник попереднього охолодження газів; 13, 15, 16 - теплообмінники; 14-регулятор співвідношення витрат; 17-трубопровід подачі вихідної холодної води; 21-конденсатор; 22-випарник; 23-компресор; 24-дросельний вентиль; 25-трубопровід подачі води на гаряче водопостачання; 26-фільтр тонкого очищення; 27-трьохпозиційний регулятор витрати рідини; 28-друга контактна камера; 29-дренажна ділянка технологічного теплоспоживання з регенерацією води в піддоні 5.

Найвищий тепловий потік в процесі охолодження газів обертових печей в результаті інтегрування контактної-рекуперативного і термотрансформаторного відбору енергії визначається на основі відомої продуктивності печі G_p і питомої теплоти відпрацьованих газів q_{yx} , що припадає на 1 кг клінкеру, відповідно до залежності:

$$Q_{yx}^{кл} = G_p \cdot q_{yx}, \text{ Вт}, \quad (1)$$

Аналізований тепловий потік визначається також витратою відпрацьованих газів G_r з відомою початковою і кінцевою температурами, тобто:

$$Q_{yx}^r = G^r \cdot c \cdot (t_r - t_o), \text{ Вт}, \quad (2)$$

де: G^r - витрата газів, що видаляються, кг/год;

c – питома теплоємність відпрацьованих газів, що залежить від їх температур і складу, яка для аналізованого діапазону температур прийнята 0,35, кДж/кг;

t_r - початкова температура відпрацьованих газів, що видаляються з печі, °С;

t_o - кінцева температура після охолодження, яка згідно [5] приймається рівною 20 °С.

Результати розрахунку теплових потоків по залежностям (1) і (2) представлені в табл. 1 і табл. 2. З представлених даних випливає, що значення $Q_{ух}$, що визначаються за (1) і (2), дуже близькі за величиною утилізованого теплового потоку, в зв'язку з чим для встановлених значень може бути визначена економія палива, що спалюється ΔB в печі за відповідний період по залежності:

$$\Delta B = \frac{Q_{ух}^{кл}}{Q_n^p \cdot \eta}, \text{ кг/ч;} \quad (3)$$

де Q_n^p - нижча теплота згоряння умовного палива;

η – ККД печі, прийнятий 0,5.

На основі встановленої витрати (3) визначається річна економія палива ΔB :

$$\overline{\Delta B} = \Delta B \cdot n_{сут} \cdot n_{год} \cdot k_{кна}, \text{ т/год.} \quad (4)$$

де $n_{сут}$ - кількість робочих годин печі на добу, год;

$n_{год}$ - кількість робочих днів печі на рік, доб;

$k_{кна}$ - річний коефіцієнт обліку тривалості роботи печі, %.

Як випливає з результатів - економія палива, що спалюється в процесі охолодження відпрацьованих газів обертових печей виробництва цементу і керамзиту [1, 3] становить для цементних печей 7415 кг у.п./год, а для керамзитних печей 343 кг у.п./год. У перерахунку на річну економію спалювання палива в цементних печах заощаджується 51964 т/рік, а в керамзитних 2401 т/рік.

Таблиця 1 - Визначення наявного теплового потоку і економії палива в процесі охолодження відпрацьованих газів обертових печей

Наявний тепловий потік									Економія палива
Витрата $Q_{ух}$ за матеріалом (клинкер)				за параметрами газів, що відходять					ΔB , кг у.т.
№ печі, діаметр, довжина	G^r , кг/ч	q , ккал/кг	$Q_{ух}$, ккал/год	G^r , кг/год	c , кДж/кг	t_r , °С	t_o , °С	$Q_{ух}^r$, Вт	
Цементна піч									
№6, 5,18x5 м	72900	307	22380300	275000	0,35	252	20	22330000	7415
Керамзитна піч									
4x22 м	9132	113	1031916	16000	0,35	200	20	1008000	343

Таблиця 2 – Економія палива, що заміщується

Річна: $\Delta B = \Delta B n_{сут} n_{год} k_{кна}$			
$n_{сут}$, ГОД	$n_{год}$, ДОБ	$k_{кна}$	ΔB , т/рік
Цементна піч			
24	365	0,8	51964
Керамзитна піч			
24	365	0,8	2401

Висновки

Визначення техніко-економічної ефективності інтеграції контактено-рекуперативної та

теплонасосної утилізації теплоти відпрацьованих газів дозволило встановити, що економія палива, яке спалюється, для характерних типорозмірів цементних і керамзитних печей становить 51964

т/рік та 2401 т/рік відповідно. Одночасно та до 48,56% відповідно для газового та вугільного забезпечується зниження надходження найбільш палива. шкідливих викидів в навколишнє середовище [6]: - за SO₂ до 27,77% та до 48,51%, а - за NO₂ до 27,8%

Література

1. Ходоров Е.И. Печи цементной промышленности Л.: Изд. Литературы по строительству, 1968г, 456с.
2. Древицкий Е.Г. и др. Повышение эффективности работы вращающихся печей М.:Стройиздат, 1990,с.225.
3. Онацкий С.П. Производство керамзита М.: Стройиздат, 1987г. 333с.
4. Петраш В.Д., Полунин Ю.Н. Отбор и трансформация энергии отработанных газов вращающихся печей для промышленного теплоснабжения / Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2013. - №6. – С. 59-66
5. Клименко В.Н. Некоторые особенности применения парокомпрессионных тепловых насосов для утилизации сбросной теплоты отопительных котлов, Ж. Промышленная теплотехника № 5, 2011, с 42-48.
6. Полунин Ю.М. Энергоэффективне теплопостачання на основі контактнo-рекуперативної термотрансформації енергії відпрацьованих газів обертових печей, автореф. дис. на здоб. вч. ступ. канд. тех. наук (05.14.06) / Ю.М. Полунін // ОНАПТ, Одеса, 2017 – 23с.

Стаття надійшла в редколегію 06.04.17

Рецензент: д.т.н., проф. О. С. Тітлов, Одеська національна академія харчових технологій, Одеса.

Петраш Виталий Демьянович

Доктор технических наук, профессор, зав. каф. ОВ и ОБВ, ORCID: 0000-0002-0413-233X
Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Одесса

Полунин Юрий Николаевич

Ассистент каф. ОВ и ОБВ, ORCID: 0000-0002-0752-5550
Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Одесса

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УТИЛИЗАЦИИ ЭНЕРГИИ ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ

Аннотация. Установлено, что интеграция контактнo-рекуперативной и теплонасосной утилизации теплоты отработанных газов по предложенной схеме позволяет экономить топливо, используемое в цементных и керамзитных печах и повысить эффективность использования первичной энергии в печных агрегатах на основе теплонасосной трансформации энергетических потоков охлаждения отработанных газов для промышленного и коммунально бытового теплоснабжения. Приведенные результаты исследования могут быть основой для практического применения с целью более эффективного использования топлива во вращающихся печах. Его экономия для характерных типоразмеров цементных и керамзитных печей составляет 51964 т/год и 2401 т/год соответственно с одновременным снижением поступления наиболее вредных выбросов в окружающую среду: - по SO₂ до 27,77% и в 48,51%, а - по NO₂ до 27,8% и до 48,56% соответственно для газового и угольного топлива.

Ключевые слова: термотрансформация; утилизация; вращающиеся печи; энергоэффективность

Petrash Vitali

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Heating and ventilation department, ORCID: 0000-0002-0374-0827
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa

Polunin Yuri

Assistant of the Heating and ventilation department, ORCID: 0000-0002-1709-2621
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa

ECONOMIC EFFICIENCY OF HEAT PUMP RECYCLING OF THE ENERGY OF EXHAUST GASES OF ROTARY KILNS

Abstract. It is established that integration of contact-recuperative and heat pump recycling of heat of exhaust gases according to the proposed scheme allows to save fuel used in cement and ceramsite furnaces and to increase the efficiency of primary energy

use in furnace units on the basis of thermotransformation of energy flows of cooling of exhaust gases for industrial and municipal heat supply. The results of the study can be the basis for practical application with the purpose of more efficient use of fuel in rotary kilns. Its savings for typical sizes of cement and ceramsite kilns are 51964 t/year and 2401 t/year, respectively, with reducing the most harmful emissions to the environment: - by SO₂ up to 27.77% and 48.51%, and - to NO₂ up to 27.8% and up to 48.56% respectively for gas and coal fuel.

Keywords: *thermotransformation; recycling; rotary kilns; energy efficiency*

УДК 515.2

Підгорний Олексій Леонтійович

Доктор технічних наук, професор

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТОРСОВИХ ПОВЕРХОНЬ В ЯКОСТІ
ВІДБИВАЧІВ СОНЯЧНИХ ПРОМЕНІВ (ПРОДОВЖЕННЯ)**

Анотація. В статті продовжено розгляд теоретичних питань утворення торсових поверхонь і їх властивостей, корисних для використання цих поверхонь в якості відбивачів сонячних променів.

Ключові слова: торсові поверхні; властивості; обкатка площиною; ребро звороту; лінії перерізу; побудова; твірні дійсні; уявні

Постановка проблеми.

В публікації [1] дано обґрунтування доцільності використання торсових поверхонь в якості відбивачів сонячних променів в геліотехніці як нерухомих або рухомих концентраторів. Для цього розглянуто ряд тверджень про види фокальних фігур конгруенції нормалей відбиваючих торсових поверхонь, конгруенцій відбитих променів, особливостей ортотомік (поверхонь фронту хвилі) при відбитті від торсової поверхні.

Розглянуто також утворення сезонного тілесного кута ефективності для певної частини року та граничних висот сонцестояння.

Орієнтація на використання груп торсів 4-го класу потребує продовжити деталізацію їх властивостей та конструктивну реалізацію, розпочаті в [2].

Аналіз останніх публікацій.

В публікації [3] відома властивість множини променів залишатись нормальними конгруенціями при будь-якій кількості відбиттів та заломлень (теорема Мальюса-Дюпена [4]) поширена на явища відбиття, заломлення і дифрагування та їх комбінації при всіх видах джерел падаючих променів: точкових власних і невластивих, лінійних (прямі і криві), площинних та поверхневих.

Цей результат слід використати при застосуванні торсових поверхонь відбиття та таких окремих випадків як відбиваюча площина, гранна поверхня, поєднання торсової та косої поверхні.

В двоїстих способах моделювання торсів обкатка площиною двох геометричних фігур 2-го порядку (криві, нерозгортні поверхні) та отриманням огинаючої множини стичних площин ребра звороту як результату взаємного перетину двох поверхонь 2-го порядку в [2] перевага віддана обкатці площиною двох

кривих 2-го порядку і огинаючій стичних площин ребра звороту як лінії перетину двох конічних поверхонь.

Слід продовжити розгляд способів побудови торсових поверхонь при обкатці площиною і двоїстих ім. побудов з використанням ребер звороту.

Побудова потоків відбитих променів від різних поверхонь ведеться з використанням розшарування конгруенцій нормалей відбиваючих поверхонь на прості поверхні нормалей: плоскі пучки, конічні поверхні, гіпери та інші з наступним утворенням поверхонь відбитих променів. Для відбиваючих нерозгортних поверхонь 2-го порядку на цій основі виникло розшарування конгруенцій вздовж ліній перерізів з отриманням лінійчатих поверхонь відбитих променів 3-4 порядків. При цьому враховано, що дотичні площини вздовж ліній перерізів утворюють конічні поверхні. Це дозволило звести побудови для ряду поверхонь до побудов для перерізів конічних поверхонь при вирішенні задач світлотехніки та акустики [5,6].

Інші можливості розшарування і використання нормальних конгруенцій виникли про поєднання хвильового і променевого трактувань розповсюдження світлових і звукових коливань при різних їх джерелах. При цьому кожна ланка відбитих променів є плоским пучком або конгруенцією нормалей. В площині виникають наступні зв'язки множин нормалей [3 ,рис.1]. Відбиваюча крива є геометричним місцем для даного моменту однопараметричної множини центрів сфер як точок відбиття. Дві вітки огинаючих g_0 і g_1 цих сфер є фронтом падаючої і відбитих хвиль. Падаючі промені є множина нормалей лінії g_0 , відбиті промені – множина нормалей лінії g_1 . Нормалі g є бісектрисами кутів між падаючими та відбитими променями, що проходять через кожний центр сфери.

При відбитті в просторі відбиваюча поверхня є геометричним місцем двопараметричної множини центрів сфер. Огинаючі поверхні Σ_0 і Σ_1 множини

сфер задають конгруенції падаючих променів як нормалей до Σ_0 і відбитих променів як нормалей до Σ_1 . Бісектриси кожної пари падаючий-відбитий промінь створюють конгруенцію нормалей відбиваючої поверхні. Доцільно використовувати взаємозв'язок трьох розглянутих видів конгруенцій нормалей. При розгляді множин сонячних променів фронт падаючої хвилі в площині є пряма, а в просторі площина, перпендикулярні сонячним променям. Особливості побудов в цьому випадку розглянуті в статті [7].

Формулювання мети і задач статті.

Метою статті є подальший розвиток способів конструювання торсів 4-го класу для використання їх як відбивачів потоку сонячних променів і отримання концентраторів.

Задачі статті. Розглянути способи побудови перерізів всіх видів торсів 4-го класу як результату перетину пучків дотичних до кривих 2-го порядку, наявність і кількість подвійних точок і точок звороту. Визначити області дійсних і уявних твірних в площинах кривих обкатки.

Основна частина

При отриманні ребра звороту як результату перетину двох конусів 2-го порядку використовується пучок січних площин з віссю, що проходить через їх вершини. В кожній площині пучка твірні конусів у взаємному перетині дають точки ребра звороту. Дотичні площини вздовж цих твірних перетинаються по твірних торса. На площині перерізу Π сліди дотичних площин дають дотичні до основ конусів. Вони перетинаються в точках лінії перерізу торса [2, рис.5]. Виникає ситуація, передбачена в узагальненому способі побудови плоских алгебраїчних кривих порядку u як результату перетину двох пучків порядків k і l ліній порядків p і q , при $[m,n]$ значній відповідності пучків за формулою [8]:

$$u = m p l + n q k$$

У випадку побудови ребра звороту торса T_4^8 (рис.1) лінії пучків є дотичні прямі до кривих 2-го порядку як основ конусів, тобто $p=1, q=1$. Порядки пучків, дотичних $k=2, l=2$, тому що через зовнішню точку проходить по 2 прямі пучка. Слід кожної січної площини перетинає кожну лінію основ конусів в 2 точках, що дає в загальному випадку $[2,2]$ -значну відповідність пучків дотичних: $m=2, n=2$. Точка G сліду лінії вершин розташовується довільно. У зв'язку з цим:

$$u = 2 \cdot 1 \cdot 2 + 2 \cdot 1 \cdot 2 = 8$$

Це результат для торса T_4^8 . На рис.1,а показана схема побудови точки A лінії перерізу торса на основі перетину пучків, дотичних до лінії основ.

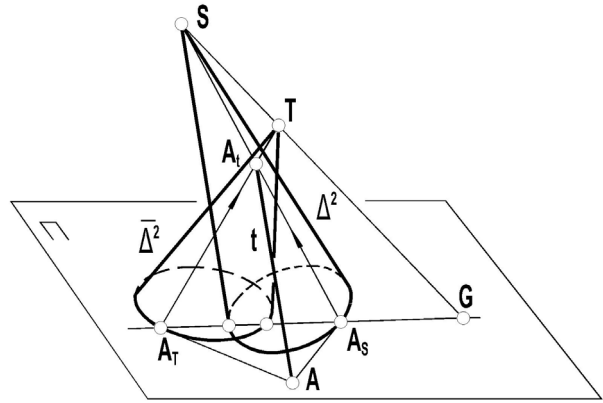


Рисунок 1а - Схема побудови точки A лінії перерізу торса на основі перетину пучків, дотичних до лінії основ.

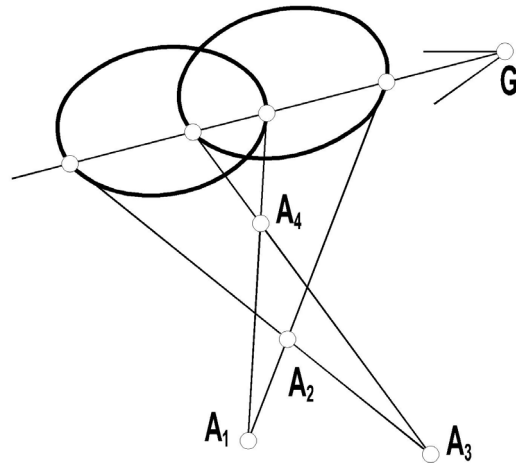


Рисунок 1 б – Перетин відповідних дотичних в площині Π .

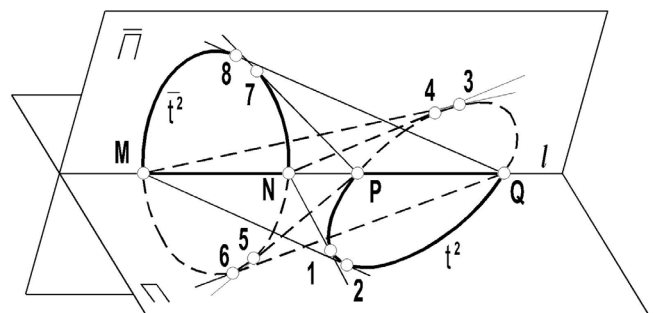


Рисунок 2 – Твірні торса.

Для торса T_4^7 конуси мають спільну дотичну площину, а пучки дотичних спільну дотичну, яка не враховується в складі лінії перетину:

$$u = (2 \cdot 1 \cdot 2 + 2 \cdot 1 \cdot 2) - 1 = 7$$

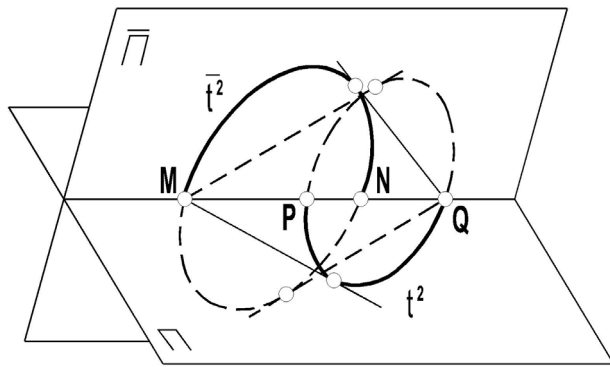


Рисунок 3 – Наявність по дві дійсних твірних і дві уявних в площинах Π і $\bar{\Pi}$ при частковому накладенні відрізків MN і PQ .

Для торса T_4^6 вершина одного конуса знаходиться на твірній іншого. Це приводить до того, що точка G знаходиться на основі одного з конусів і відповідність стає $[1, 2]$ значною:

$$u = 1 \cdot 1 \cdot 2 + 2 \cdot 1 \cdot 2 = 6$$

Для торса T_4^5 конуси мають спільну дотичну площину і вершина одного належить твірній другого. G знаходиться на основі одного з конусів. Тому зберігається $[1,2]$ значність, але не враховується спільна дотична до основ:

$$u = (1 \cdot 1 \cdot 2 + 2 \cdot 1 \cdot 2) - 1 = 5$$

Для торса T_4^4 конуси мають спільну твірну, на якій розташовуються вершини. Це приводить до $[1,1]$ -значної відповідності пучків:

$$u = 1 \cdot 1 \cdot 2 + 1 \cdot 1 \cdot 2 = 4$$

Неважко відтворити побудови ліній перерізу торсів у випадках $T_4^7, T_4^6, T_4^5, T_4^4$.

На рис.2, який відповідає рис.6 статті [2] показано для торса T_4^8 таке розташування кривих обкатки між собою та відносно лінії перетину площин Π і $\bar{\Pi}$, яке дає в загальному випадку максимальну кількість дійсних твірних в цих площинах. Так, через дві точки перетину M і N кривої \bar{t}^2 можна в площині Π провести по дві дійсні дотичні до кривої t^2 , якщо вона розташована поза відрізком MN . Вони проходять через точки дотику 1,2,3,4.

Аналогічна можливість існує і для площини $\bar{\Pi}$, в якій крива \bar{t}^2 розташована поза відрізком PQ , який утворює крива \bar{t}^2 на лінії l . Отже, максимальна кількість дійсних твірних для торса T_4^8 в площинах обкатки рівна $4 + 4 = 8$.

Часткове накладання відрізків MN і PQ створює ситуацію появи уявних твірних на площинах Π і $\bar{\Pi}$.

На рис.3 показано, що через точки M і Q проходить по 2 дійсні твірні в точки 3 і 1 та 6 і 8 та дві уявні, тому що вони знаходяться усередині еліпсів t^2 і \bar{t}^2 .

Таблиця 1.

Вид торса	Варіанти	Схеми розташування точок перетину M і N, P і Q кривих t^2 і \bar{t}^2 на лінії перетину площин Π і $\bar{\Pi}$	Кількість твірних в площинах кривих обкатки			
			дійсних		уявних	
			в Π	в $\bar{\Pi}$	в Π	в $\bar{\Pi}$
1. T_4^8	a		4	4	0	0
	б		2	2	2	2
	в		2	2	0	0
	г		0	0	2	2
	д		4	0	0	4
	e		0	4	4	0
	ж		0	0	0	0

В наведеній таблиці для першого виду торса T_4^8 показано, 7 схем варіантів. Рисункам 2 і 3 відповідають рядки 1,а і 1,б. В останньому не існує пар точок M, N і P, Q і всі твірні уявні.

В рядках зафіксовано стан кожної пари точок: ϵ , немає, утворюють відрізок, співпадають. Варіанти виникають при врахуванні взаємного положення існуючих пар або окремих точок.

Для торсів T_4^7 виникає 2 варіанти: 2а і 2б.

Для торсів T_4^6 - 6 варіантів: 3а, 3б, 3в, 3г, 3д і 3е.

Для торсів T_4^5 - 2 варіанти: 4а і 4б.

Для торсів T_3^4 існує тільки один варіант по одній дійсній твірній в площинах Π і $\bar{\Pi}$, бо існування торса передбачає стани $M \equiv N$ і $P \equiv Q$.

На завершення слід визначити наступне. Відомо, що двоїсті фігури розгортка поверхня та її ребро

звороту мають порядок і клас, величини яких міняються місцями [9]. Тобто, ряд розглянутих торсів $T_4^8, T_4^7, T_4^6, T_4^5, T_3^4$ мають відповідно ребра звороту $t_4^8, t_4^7, t_4^6, t_4^5, t_3^4$. Крім того, при обкатці площиною двох кривих 2-го порядку криві обкатки t^2 і \bar{t}^2 , як відзначалось, ϵ подвійними. Це треба враховувати при аналізі перерізів торсів. Наприклад, в торсі T_4^6 площина перетинає подвійні лінії в максимум 4 точках і ребро звороту максимум в 4 точках. Це означає, що лінія перерізу торсової поверхні має не більше 4 подвійних точок та 4 точок звороту. Взаємне положення січної площини подвійних кривих і ребра звороту може дати і уявні точки, що треба враховувати при аналізі форми лінії перерізу торса.

Стаття надійшла в редколегію 06.04.17

Література

1. Підгорний О.Л. *Можливості використання торсових поверхонь в якості відбивачів сонячних променів.* // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К.: КНУБА, 2008. Вип. 80. – С. 11-15.
2. Обухова В.С. *Конструктивні способи утворення алгебраїчних торсів 4-го класу.* / Обухова В.С., Підгорний О.Л. // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Вип.4, т.11.-Мелітополь:ТДАТА 2000.-122с.
3. Підгорний О.Л. *Моделювання ланцюжків прямих, відбитих, заломлених та дифрагуючих випромінювань на основі об'єднання хвильового та променевого трактувань розповсюдження коливань.* // Геометричне та комп'ютерне моделювання., Харків, 2004, Випуск 4, стор.20-31.
4. Malus E. *Memoire sur L'Optie Journal de L'Ecole Polytechnique public parle...84. Paris 1808.*
5. Подгорный А.Л. *Поверхности отражённых лучей* // Прикладная геометрия и инженерная графика. Вип. 20. – К.; Будівельник, 1975. – С.13 -16.
6. Козак Ю.В., *Исследование отражающих поверхностей высших порядков в приложении к акустическому расчету помещений. Тези доповідей наукової кримської конференції, Сімферополь, 2005, С.9-12.*
7. Підгорний О.Л. *Відбиття від ортометри при паралельних падаючих променях/ Підгорний О.Л., Дворецкий О.Т.* // Праці ТДАТА. 2002.-Вип.4. том15.-С.9-15.
8. Обухова В.С. *Синтетические способы построения алгебраических кривых.* // Прикладная геометрия и инженерная графика. Вип. 11. –К.; Будівельник, 1970. –С.32-39.
9. Pascal E. *Repertorio di matematiche superiori. II.-Milano.1900.*

Подгорный Алексей Леонтьевич

Доктор технических наук, профессор

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРСОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В КАЧЕСТВЕ ОТРАЖАТЕЛЕЙ СОЛНЕЧНЫХ ЛУЧЕЙ (ПРОДОЛЖЕНИЕ).

Аннотация. В статье продолжено рассмотрение теоретических вопросов образования торсовых поверхностей и их свойств, полезных для использования этих поверхностей в качестве отражателей солнечных лучей.

Ключевые слова: торсовые поверхности; свойства; обкатка плоскостью; ребро возврата; линии сечения; построение; образующие действительные; мнимые

Podgorny Oleksiy L.

Full Doctor, Professor

POSSIBILITIES OF TORSE SURFACES IMPLEMENTATION AS SURFACES, THAT REFLECT SOLAR RAYS (CONTINUATION).

Abstract. In the article was continued consideration of theoretical issues of build of torse surfaces and their properties that can be used as solar rays reflectors.

Keywords: torse surfaces; properties; rolling by plane; cuspidal edge; cutting line; actual and imaginary generatrix

УДК 621.184.004

Редько Андрей Александрович

*Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры ТГВ и ТВЕР, ORCID: 0000-0003-2331-7273
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков*

Павловская Анна Александровна

Аспирант, аспирант кафедры ТГВ и ТВЕР, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков

Давиденко Анастасия Вячеславовна

Аспирант, аспирант кафедры ТГВ и ТВЕР, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков

Павловский Сергей Валерьевич

Кандидат технических наук, ассистент, ассистент кафедры ТГВ и ТВЕР, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков

**ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ СЖИГАНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО
ТОПЛИВА В ВИХРЕВОЙ ГОРЕЛКЕ КОТЛА ДЕ-10/14**

Аннотация. Приведены результаты численного моделирования процесса сжигания газа, распределений скорости и давления топочных газов в зависимости от конструктивных параметров вихревой горелки. Показано влияние характеристик закрученного потока газов на структуру факела и процессы сжигания газа, распределение температуры и теплообмен в топочном объёме. Определено, что для варианта установки лопаток с углами соответственно: $\varphi_1=45^\circ$ и $\varphi_2=60^\circ$ среднее значение концентрации оксидов азота составляет 70-75 мг/м³. Сжигание газа в узких V-образных струях и интенсивное охлаждение продуктов сгорания вблизи боковых экранных поверхностей обеспечивает снижение выбросов оксидов азота.

Ключевые слова: численное исследование; процессы сжигания; газообразное топливо; вихревая горелка; паровой котёл

Постановка проблемы

Опыт эксплуатации водотрубных паровых котлов ДЕ-10/14 показал недостаточную эффективность горелочных устройств типа ГМГ-7. Газомазутные горелки ГМГ-7 не обеспечивают высокие скорости газов в топке котла и эффективность теплообмена с тепловоспринимающими экранными поверхностями. Реконструкция газогорелочного устройства позволяет произвести малозатратную реконструкцию котлов ДЕ-10/14. Поэтому исследование рабочих процессов в топке котла является актуальной задачей. Решение задач модернизации горелочных устройств, анализ и выбор оптимальных режимов эксплуатации топок и котлоагрегатов требуют применения современных методов математического моделирования. Процессы смесеобразования, горения, рециркуляции продуктов сгорания и габариты факела, существенно зависят от конструкции горелочных

устройств, конфигурации топочного объёма и кинетики реакции горения. Нормативный метод не всегда приемлем для решения этих задач, так как требует использования эмпирических поправок при расчёте температур газов и других характеристик параметра топки. Неравномерное и неустойчивое течение топочных газов при изменении тепловой нагрузки котла вызывает образование зон с низкими скоростями течений, зон с обратными течениями, с повышенными температурами, высокими плотностями радиационных тепловых потоков.

Анализ основных исследований и публикаций

Аэродинамические процессы в топках котлов исследовались в работах [1-4, 7, 8, 10]. Применение вихревых горелок обеспечивает устойчивость факела и эффективного сжигания топлива.

Вихревые горелки характеризуются сильнозакрученным факелом, и устойчивость горения обеспечивается образованием в приосевой

зоне сильноразвитых возвратных течений. Конструктивные параметры горелочного устройства: угол наклона лопаток завихрителей по первичному и вторичному воздуху и параметр крутки характеризуют крупномасштабное влияние на аэродинамические процессы, структуру, размеры, форму пламени. Увеличение угла наклона выходной части лопатки горелки приводит к тому, что угол раскрытия факела увеличивается, и сжигание газа происходит вблизи фронта топки. Зона максимального тепловыделения и температур газов приближается к срезу горелки, увеличивается локальная плотность тепловых потоков на экранные поверхности. Закрутка потока интенсифицирует смешение газа и воздуха, что ускоряет процессы горения газа [1, 2, 12]. Однако, с увеличением угла наклона лопаток регистра вторичного воздуха, более $\varphi_2=45^\circ$, возможно настиание факела на днище топочной камеры и наброс на боковые теплообменные поверхности. Углы наклона лопаток регистров первичного и вторичного воздуха газогорелочного устройства существенно влияют на процессы сжигания газа и теплообмен продуктов сгорания в топке котла.

Результаты выполненных исследований указывают на сложность течений газов в топочном объеме и их зависимость от распределений температуры газов, на наличие обратных потоков рециркуляции газов, на вихревой характер течений в поперечных сечениях топки. При этом визуализация результатов моделирования в двух- и трёхмерном вариантах в любом сечении топки позволяет проанализировать структуру топочной среды. Аэродинамическое сопротивление при движении топочных газов зависит от структуры факела, распределений температуры и скорости газов в объеме топки. Конвективный теплообмен газов с экранными трубными пучками также определяется интенсивностью аэродинамических процессов при вихревом движении газов. Сильная закрутка топливо-воздушного потока приводит к уплотнению факела и росту концентрации оксидов азота, а рассредоточение факела – к уменьшению концентрации оксидов азота.

Большое влияние на образование оксидов азота оказывает интенсивность отвода теплоты от факела [2]. Интенсивный отвод теплоты от факела уменьшает скорость реакции горения и время образования оксидов азота, также концентрацию оксидов азота. Установлено, что выход термических оксидов азота определяется следующими

параметрами: максимальной локальной температурой факела T_{\max} , коэффициентом избытка воздуха и временем пребывания в зоне активного горения объема газозадушной смеси при температуре превышающей T_{\max} .

Поэтому требуется дальнейшее изучение процессов сжигания газа в закрученном потоке с учётом конструктивных параметров вихревых горелочных устройств.

Формулировка целей статьи

Целью работы является численное исследование влияния конструктивных параметров вихревого газогорелочного устройства на рабочие процессы и эффективность сжигания газа в топке котла ДЕ-10/14.

Исследован вертикально-водотрубный газомазутный котел ДЕ-10-14ГМ с горелочным устройством ГМГ-7, предназначенный для производства насыщенного и слабо перегретого пара с температурой 225°C с абсолютным давлением 14 кгс/см^2 , номинальной производительностью 10 т/ч .

Математическая модель радиационно-конвективного теплообмена в газовом тракте котла сформирована на основе усреднённых по Рейнольдсу уравнений Навье – Стокса с учётом гравитации и с пре-небрежением сжимаемостью [13-24]. Модель составляют уравнение неразрывности, переноса импульса, энергии и химических компонентов газовой смеси, записанные в стационарной форме. Уравнения замкнуты законом Ньютона для тензора давления, законом Фурье для теплового потока, законом Фика для потока массы, законом Клайперона – Менделеева для термодинамического состояния смеси газов, уравнениями модели турбулентности $k-\epsilon$ Лаундера – Сполдинга и модели турбулентного горения Магнусена – Хертагера. Моделирование выполнено методом контрольного объема [27].

Основная часть

Результаты численного исследования позволили определить средние и локальные значения скорости газов и распределение давления в топочном объеме. На рис. 1 а, б показаны в трёхмерном представлении течения газов при различных значениях угла установки лопаток в регистрах первичного и вторичного воздуха горелки ГМГ-7. Характер течений существенно отличается.

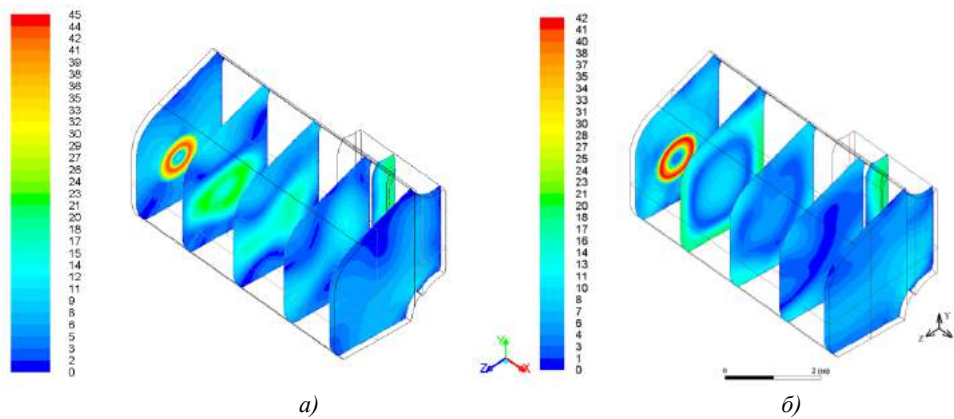


Рисунок 1 – Течения газов при различных значениях угла установки лопаток в регистрах первичного и вторичного воздуха: а) – $\varphi_1=60^\circ$ и $\varphi_2=45^\circ$; б) – $\varphi_1=45^\circ$ и $\varphi_2=60^\circ$

При значении углов установки лопаток $\varphi_1=45^\circ$ и $\varphi_2=60^\circ$ наблюдается сильное V-образное раскрытие факела под углом 60° и приближение зоны горения к фронту топочной камеры и боковым тепло-обменным поверхностям. Скорость струй составляет 30-42 м/с на расстоянии 0,5-0,6 м от среза горелки, затем скорость снижается до 25-17 м/с. В центре ядра на оси топки скорость газов 13-16 м/с, ближе к периферии скорость снижается до 4-6 м/с. На расстоянии 2-2,5 м скорость газов низкая, и составляет от 4-2 м/с до 1 м/с в отдельных зонах. На оси топки на расстоянии 1,5-2 м образуется малоподвижная область, где происходит дожигание горючего газа. Для варианта $\varphi_1=60^\circ$, $\varphi_2=45^\circ$ результаты численного исследования показали, что на выходе из вихревой горелки профиль скорости имеет W-образную форму с провалом в приосевой зоне. Наблюдается снижение максимума скорости к периферии факела и образование зоны рециркуляции. Сложные траектории движения рециркулирующих газов приводят к увеличению аэродинамического сопротивления, возможности соприкосновения с низкотемпературными теплообменными поверхностями. Распределение

скорости газового потока в объеме топки показано на рис. 2 и 3. Средние значения скорости газов изменяются от 25 м/с до 5 м/с на выходе из топки. В продольно-горизонтальном сечении значение скорости на оси топки составляет 10,3 м/с, а вблизи боковых трубчатых поверхностей 2,5 м/с. В продольно-вертикальном сечении значения скорости вблизи верхнего барабана составляет 3 м/с, а вблизи нижнего барабана 3,2 м/с.

При значениях углов установки лопаток $\varphi_1=60^\circ$ и $\varphi_2=45^\circ$ структура факела более устойчивая, факел осесимметричный длиной 2-2,5 м. Однако, при этом снижаются скорости газов до 10 м/с. Особенности аэродинамических процессов определяют различные температурные распределения газов в топочном объеме. Для варианта $\varphi_1=45^\circ$ и $\varphi_2=60^\circ$ температура газов в V-образных струях составляет $1500-1700^\circ\text{C}$, а вблизи боковых поверхностей $1000-1100^\circ\text{C}$. Для варианта $\varphi_1=60^\circ$ и $\varphi_2=45^\circ$ температура газов в W-образном факеле также составляет $1500-1700^\circ\text{C}$, а вблизи боковых экранных поверхностей $800-900^\circ\text{C}$, что и определяет различие в распределении плотности теплового потока в топочном объеме.

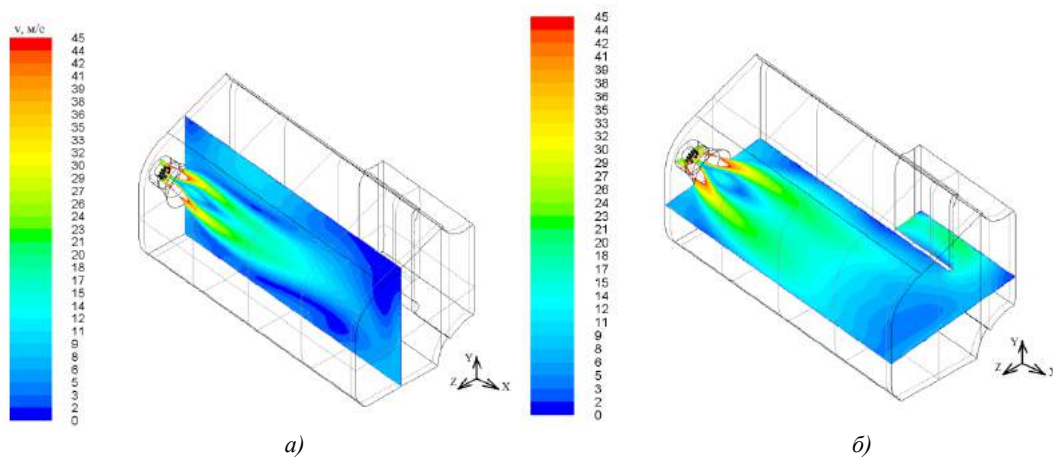


Рисунок 2 – Скорость течения газов при $\varphi_1=60^\circ$ и $\varphi_2=45^\circ$: а) в вертикальном разрезе; б) – в горизонтальном разрезе.

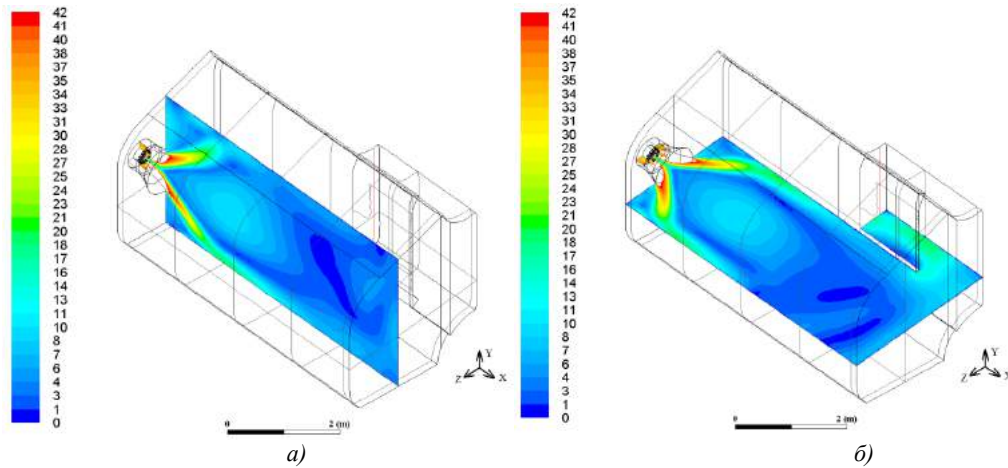


Рисунок 3 – Скорость течения газов при $\varphi_1=45^\circ$ и $\varphi_2=60^\circ$: а) в вертикальном разрезе; б) – в горизонтальном разрезе.

На рис. 4 а, б приведены результаты расчёта параметров крутки потока и угла установки полей концентрации оксидов азота при различных лопаток регистров газовой горелки.

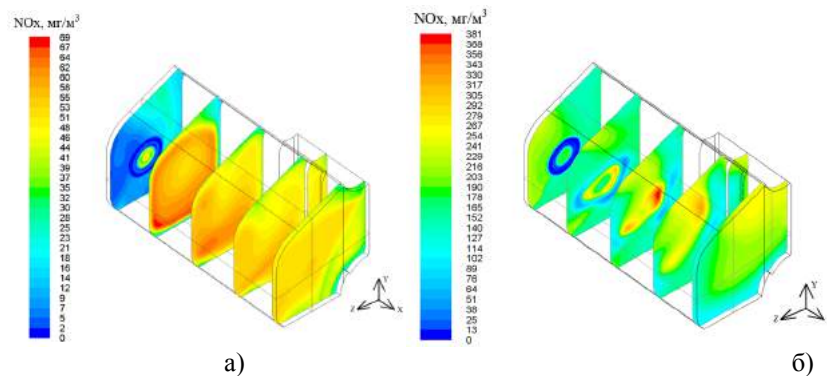


Рисунок 4 – Распределение концентрации оксидов азота в поперечных сечениях топки: а) – для варианта $\varphi_1=45^\circ$ и $\varphi_2=60^\circ$; б) – для варианта $\varphi_1=60^\circ$ и $\varphi_2=45^\circ$.

На рис. 5 и 6 показаны поля концентрации оксидов азота в продольном горизонтальном и вертикальном разрезах. Как видно, при угле установки лопаток в канале вторичного воздуха $\varphi_2=60^\circ$ наблюдается V-образный факел длиной 0,5-0,7 м с дожигание газа внутри раскрытого факела на оси топки на расстоянии 1,0-1,2 м от среза горелки. Образование оксидов азота происходит вблизи охлаждаемых экранных поверхностей, где происходит горение газозвдушной смеси. Температура в струях V-образного факела составляет 1500-1700°C.

На оси топки происходит дожигание газа при более низких температурах. Поэтому значение концентрации оксидов азота на оси топки (рис. 5) составляет 50-67 мг/м³, а вблизи экранных поверхностей снижается до 40-46 мг/м³.

При угле установки лопаток $\varphi_2=45^\circ$ сжигание газа происходит в W-образном факеле длиной 1,5-1,8 м с дожиганием по всей длине факела на его внешней границе. Увеличивается длительность процесса горения и температура факела, поэтому концентрация оксидов азота повышается.

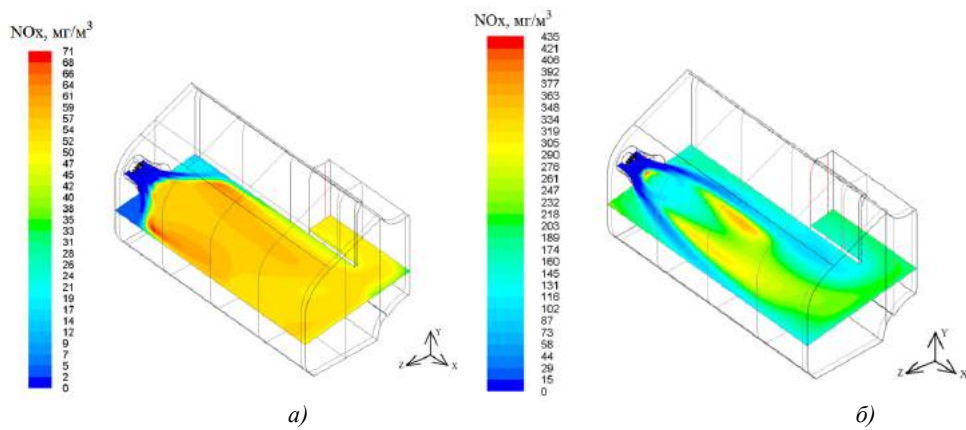


Рисунок 5 – Значения концентрации оксидов азота в горизонтальном сечении топки: а) – для варианта $\varphi_1=45^\circ$ и $\varphi_2=60^\circ$; б) – для варианта $\varphi_1=60^\circ$ и $\varphi_2=45^\circ$

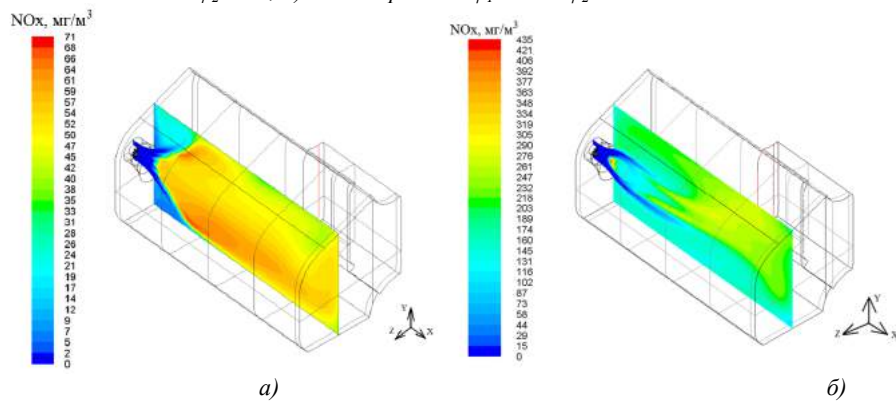


Рисунок 6 – Распределение концентрации оксидов азота по глубине топки в вертикальном сечении: а) – для варианта $\varphi_1=45^\circ$ и $\varphi_2=60^\circ$; б) – для варианта $\varphi_1=60^\circ$ и $\varphi_2=45^\circ$

Выводы

Результаты численного исследования показали, что угол установки лопаток регистра существенно влияет на процесс сжигания газа и теплообмен в топке котла ДЕ-10/14. При установке лопаток в регистре первичного воздуха $\alpha_b=0,15$, $\varphi_1=60^\circ$ и параметре крутки $n_1=2,4$, а в регистре вторичного воздуха $\varphi_2=45^\circ$ и $n_2=1,6$ при общем коэффициенте избытка воздуха $\alpha_b=1,10$ образуется устойчивый осесимметричный факел небольшого объема длиной 1,5-2 м, температура газа в ядре факела составляет 1500-1700°C, а вблизи экранных поверхностей 800-900°C, локальная плотность тепловых потоков изменяется по глубине топки от 52 кВт/м² до 43 кВт/м². При параметрах вихревой горелки $\varphi_1=45^\circ$ и $n_1=1,6$, $\varphi_2=60^\circ$ и $n_2=2,4$ наблюдается раскрытие факела под углом 60°, образование возвратных течений. Факел неустойчивый, короткий длиной 0,6-1,2 м. Горение происходит вблизи фронта топки. Температура газов на оси топки ниже, чем вблизи боковых стенок.

Результаты численного исследования показали, что угол установки лопаток в регистре вторичного воздуха должен не превышать $\varphi_2=60^\circ$ ($\alpha_b=0,15$) при двухступенчатом сжигании газа, кроме того, аэродинамическое сопротивление при движении топочных газов в случае $\varphi_2=60^\circ$ выше ($\Delta p=87$ Па), чем при значении угла установки лопаток $\varphi_2=45^\circ$ ($\Delta p=65$ Па). Определено, что для варианта установки лопаток с углами соответственно: $\varphi_1=45^\circ$ и $\varphi_2=60^\circ$ среднее значение концентрации оксидов азота составляет 70-75 мг/м³. Сжигание газа в узких V-образных струях и интенсивное охлаждение продуктов сгорания вблизи боковых экранных поверхностей обеспечивает снижение выбросов оксидов азота. Для варианта $\varphi_1=60^\circ$ и $\varphi_2=45^\circ$ сжигание газа происходит в V-образном факеле значительной длины 1,5-1,8 м, диаметром 1,0-1,5 м, что при температуре в ядре факела 1500-1700°C вызывает образование оксидов азота и на выходе из топки концентрация их составляет 160-168 мг/м³.

Література

1. Акопянц Б.Е. Недостатки конструкции промышленных котлов ДКВР-20-13 /Б.Е. Акопянц // *Новости теплоснабжения*. 2000. – №4. – С. 10-11.
2. Тайлашева Т. С. Анализ опыта эксплуатации котлов типа ДКВР / Т.С. Тайлашева // *Вестник науки Сибири*. 2014. – №3(13). – С.11-15.
3. Найдёнов Г.Ф. Газогорелочные устройства с регулируемыми характеристиками факела / Г.Ф. Найдёнов. – К.: Техніка. 1974. – 112с.
4. Найдёнов Г.Ф. Вихревые газовые горелки / Г.Ф. Найдёнов. – К.: Техніка. 1966. – 121с.
5. Щукин В.К. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах / В.К. Щукин, А.А. Халатов. – М.: Машиностроение. 1982. – 200с.
6. Ахмедов Р.Б. Дутьевые газогорелочные устройства / Р.Б. Ахмедов. – М. Недра. 1970.
7. Винтовкин А.А. Современные горелочные устройства. Конструкции и технические характеристики. Справочник / А.А. Винтовкин, М.Г. Ладыгичев, В.Л. Гусовский, А.Б. Усачев. – М.:Машиностроение. 1. 2001. – 497с.
8. Халатов А.А. Компьютерные технологии в модернизации котлов и камер сгорания / А.А. Халатов, С.Г. Кобзарь // *Аква-терм*. 2007. – №1. – С.12–15.
9. Кутателадзе С.С. Аэродинамика и тепломассообмен в ограниченных вихревых потоках / С.С. Кутателадзе, Э.П. Волчков, В.И. Терехов. – Новосибирск: Ин-т теплофизики. 1987. – 282с.
10. Халатов А.А. Теория и практика закрученных потоков / А.А. Халатов. – К.: Наукова думка, 1989. – 180с.
11. Долинский А.А. Использование компьютерного моделирования при малозатратной модернизации котла НИИСТУ-5 / А.А. Долинский, А.А. Халатов, С.Г. О.А. Кобзарь, Назаренко, А.А. Мецерыков // *Пром. Теплотехника*. 2007. – Т. 29, №5. – С. 80-91.
12. Басок Б.И. Численное моделирование процессов аэродинамики в топке водогрейного котла со вторичным излучателем / Б.И. Басок, В.Г. Демченко, М.П. Мар-тыненко // *Пром. Теплотехника*. 2006. – Т. 28, №1. – С. 17-22.
13. Хаустов С.А. Численное исследование аэродинамики жаротрубной топки с ре-версивным факелом / С.А. Хаустов, А.С. Заворин // *Изв. Томского политехнического университета*. 2013. Т. 323, – №4. – С.5-9.
14. Гупта А. Закрученные потоки: пер. с англ. / А. Гупта, Д. Лилли, Н. Сайред. – М.: Мир. 1987. – 588 с
15. Ассад М. С. Продукты сгорания жидких и газообразных топлив: образование, расчет, эксперимент / М. С. Ассад, О. Г. Пенязков. – Минск: Беларус. навука, 2010. – 305 с.
16. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен: в 2 т. / Д. Андерсон, Дж. Танне-хилл, Р. Плетчер. – М.: Мир, 1990. – Т. 1. – 384 с.
17. Jakobsen H. A. *Chemical Reactor Modeling* / H. A. Jakobsen. – Springer, 2008. – P. 1244.
18. Peters N. *Turbulent combustion* / N. Peters. – Cambridge University Press. 2000. – P. 304.
19. Суржиков С. Т. Тепловое излучение газов и плазмы / С. Т. Суржиков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 544 с.
20. Launder B. E., Spalding D.B. *Lectures in Mathematical Models of Turbulence* / B. E. Launder, D. B. Spalding. – London: Academic Press, 1972. – P. 169.
21. Magnussen B. F. *On Mathematical Models of Turbulent Combustion With Special Emphasis on Soot Formation and Combustion* / B. F. Magnussen, B. H. Hjertager // *Sixteenth Symp. (Intern.) on Combustion*. – Pittsburg, PA : The Combustion Inst., 1976. – 747– 775p.
22. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкости / К. Флетчер. – М.: Мир. 1991. – Т. 1. – 502 с.
23. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / С. Патанкар. – М.: Энергоатомиздат. 1984. – 152 с.
24. Murthy J. Y. *Finite Volume Method for Radiative Heat Transfer Using Unstructured Meshes* / J. Y. Murthy, S. R. Mathur // *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*. – 1998. – Vol. 12(3), No. 1. – P. 313– 321.
25. Chai J. C. *Discrete-Ordinates and Finite-Volume Methods for Radiative Heat Transfer* / J. C. Chai, S. V. Patankar // *Handbook of Numerical Heat Transfer*. – Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc, 2009. – P. 310– 373.
26. Басс Л. П. Методы дискретных ординат в задачах о переносе излучения / Л. П. Басс, А. М. Волощенко, Т. А. Гермогенова. – М: ИПМ им. М. В. Келдыша, 1986. – 231 с.
27. Редько А.О. Моделивання процесів теплообміну в топках водотрубних котлів ДКВР(ДЕ)-10/14 / А.О. Редько, А.В. Давіденко, С.В. Павловський, В.С. Костюк // *Вісник НУ «Львівська політехніка»*. Серія: Теорія та практика будівництва. – 2016. – №844. – С.180-187. *Institute of Technology, Sligo* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://itsligo.ie/> – назва з екрану.

Статья поступила в редколлегию 07.04.2017

Рецензент: д.т.н., проф. А.Ф. Редько, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Киев.

Редько Андрій Олександрович

Доктор технічних наук, професор, професор кафедри ТГВ та ТВЕР, ORCID: 0000-0003-2331-7273

Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків

Павловська Анна Олександрівна

Аспірант, аспірант кафедри ТГВ та ТВЕР, Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків

Давіденко Анастасія В'ячеславівна

Аспірант, аспірант кафедри ТГВ та ТВЕР, Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків

Павловський Сергій Валерійович

Кандидат технічних наук, асистент, асистент кафедри ТГВ та ТВЕР, Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків

ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ СПАЛЮВАННЯ ГАЗОПОДІБНОГО ПАЛИВА У ВИХРОВОМУ ПАЛЬНИКУ КОТЛА ДЄ-10/14

Анотація. Наведено результати чисельного дослідження процесів спалювання газоподібного палива у вихровому пальнику котла ДЄ-10/14. Моделювання виконано методом контрольного об'єму, в припущенні, що монооксид азоту утворюється за класичним термічним механізмом Я.Б. Зельдовича. Чисельно визначено розподіл температури топкових газів, концентрації кисню і оксидів азоту в обсязі топки котла. Результати обчислювального експерименту робочих процесів в топці котла ДКВР-10/14 розширили і доповнили уявлення про процеси в закрученому факелі і їх особливості в різних зонах топкового обсягу. Для варіанту $\varphi_1=60^\circ$ і $\varphi_2=45^\circ$ спалювання газу відбувається в V-образному факелі значної довжини 1,5-1,8 м, діаметром 1,0-1,5 м, що при температурі в ядрі факела 1500-1700°C викликає утворення оксидів азоту і на виході з топки концентрація їх становить 160-168 мг/м³. Визначено, що для варіанту установки лопаток з кутами відповідно: $\varphi_1=45^\circ$ і $\varphi_2=60^\circ$ середнє значення концентрації оксидів азоту становить 70-75 мг/м³. Спалювання газу в вузьких V-образних струменях і інтенсивне охолодження продуктів згоряння поблизу бічних екранних поверхонь забезпечує зниження викидів оксидів азоту.

Ключові слова: чисельне дослідження; процеси спалювання; газоподібне паливо; вихровий пальник; паровий котел

Redko Andriy

Doctor of Technical Sciences., professor, professor of the Department Heat, Gas Supply and Ventilation, and Using Thermal Secondary ORCID: 0000-0003-2331-7273, Kharkiv National University of Building and Architecture, Kharkiv

Pavlovskaya Anna

Post-graduate student, post-graduate student of the Department Heat, Gas Supply and Ventilation, and Using Thermal Secondary, Kharkiv National University of Building and Architecture, Kharkiv

Davidenko Anastasiia

Post-graduate student, post-graduate student of the Department Heat, Gas Supply and Ventilation, and Using Thermal Secondary, Kharkiv National University of Building and Architecture, Kharkiv

Pavlovskii Sergii

Doctor of Philosophy, assistant, assistant of the Department Heat, Gas Supply and Ventilation, and Using Thermal Secondary, Kharkiv National University of Building and Architecture, Kharkiv

«NUMERICAL STUDIES THE PROCESS OF BURNING GASEOUS FUELS IN THE VORTEX BURNER OF THE BOILER DE-10/14»

Abstract. The results of a numerical study of the combustion of gaseous fuels in a vortex burner of a DE-10/14 boiler are presented. The influence of the twist parameter of the flow at different angles of installation of the blades of the GMG-7 torch swirler on the formation of nitrogen oxides in the furnace of the boiler is established. The simulation is performed by the control volume method, assuming that nitrogen monoxide is formed according to the classical thermal mechanism of Ya.B. Zeldovich. The distribution of the temperature of the flue gases, the concentration of oxygen and nitrogen oxides in the volume of the boiler furnace is numerically determined. The results of a computational experiment of working processes in the furnace of the boiler DKVR-10/14 broadened and supplemented the notion of processes in a swirling flare and their features in various areas of the furnace volume. For the variant $\varphi_1=60^\circ$ and $\varphi_2=45^\circ$, gas combustion takes place in a V-shaped torch of considerable length 1.5-1.8 m, diameter 1.0-1.5 m, which at a temperature in the core of the torch is 1500-1700°C causes the formation of nitrogen oxides and at the outlet from the furnace their concentration is 160-168 mg/m³. It is determined that for the installation of blades with angles, respectively: $\varphi_1=45^\circ$ and $\varphi_2=60^\circ$, the average value of the concentration of nitrogen oxides is 70-75 mg/m³. The combustion of gas in narrow V-shaped jets and intensive cooling of combustion products near the side shield surfaces provides a reduction in nitrogen oxide emissions.

Keywords: numerical investigation; combustion processes; gaseous fuel; vortex burner; steam boiler

УДК 712.2

Рубан Людмила Іванівна

Кандидат архітектури, доцент, докторант КНУБА, ORCID: 0000-0002-5973-4362

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ОБ'ЄКТИ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ВОДНИХ ТЕРИТОРІЙ (світові тенденції на початку 21 століття)

***Анотація.** Робота присвячена дослідженню світових тенденцій щодо створення різноманітних об'єктів відновлювальної енергетики на водних територіях. У роботі надана характеристика проектів сонячних та вітрових електростанцій на воді, розкрито їх затребуваність. Визначені перспективні напрями енергетики на водних територіях, що пов'язані із використанням приливної енергії, енергії хвиль та енергії океанських підводних течій, проектування яких активізувалося останнім часом в світі. В роботі проаналізовано найсучасніший міжнародний проектний досвід за останні 5 років.*

***Ключові слова:** система прибережних та водних територій; сонячна електростанція, що плаває на воді; морська вітряна електростанція; система приливної лагуни; плавуча підводна турбіна*

Постановка проблеми

В світі рішення нової Паризької угоди в рамках Рамкової конвенції ООН про зміну клімату (UNFCCC) (1), що вступить в силу із 2020 року та замінить Кіотський протокол (1992 р.), кожна країна має побудувати оптимальний баланс своєї енергонезалежності з точки зору економіки, технологій, екології, національної енергетичної безпеки та інших чинників у відповідності до змін клімату та нагальних потреб людства. Місце та частка альтернативних джерел в державній енергетичній політиці повинно бути визначено. Україна приєдналася до Європейського енергетичного співтовариства, взявши на себе зобов'язання виробляти 11% електроенергії із відновлюваних джерел енергії до 2020 року (2).

Останніми роками на ринках розвинених країн сформувалась тенденція, що характеризується інноваційним використанням водних територій як відновлюваного джерела «чистої» енергії. Розвиток отримують всі альтернативні джерела енергії, як то сонячне, вітрове, енергій припливів або океанських течій. Водні простори різних природних та штучних водних об'єктів стають місцями розташування нових інноваційних об'єктів енергетики.

Аналіз основних досліджень та публікацій

Загальним питанням енергоефективності та подальшого розвитку відновлювальних джерел енергопостачання у світі та в Україні присвячено багато наукових праць. Велика кількість робіт

присвячена дослідженню гідроенергетики, яка займає значну частку в енергетиці України (3, 4, 5). Багато праць аналізують особливості використання різних відновлювальних джерел: гідроресурсів, вітрової, сонячної, геотермальної енергії тощо. Так, економічним питанням конкурентоспроможності різних альтернативних джерел присвячена наукова праця Нараєвського С.В., в якій проаналізовано найбільш розповсюджені технології альтернативної енергетики у світі, розрахована ефективність використання технологічного устаткування підприємствами, що працюють у гідроенергетиці, вітроенергетиці та сонячній енергетиці, вивчені зміни українського енергетичного ринку, що пов'язані з прийняттям Закону України «Про внесення змін до деяких законів України стосовно встановлення «зеленого» тарифу» тощо (6). Слід зазначити, що в роботах головна увага приділена прогнозуванням напрямів розвитку енергетичного ринку країни, технічним питанням та технологічним розрахункам в енергетиці відновлювальних джерел тощо. В той же час питання енергетичного потенціалу водних територій країни не висвітлені в публікаціях останніх років.

Формулювання мети статті

Основною метою статі є визначення сучасних світових тенденцій розвитку сектору альтернативної енергетики на водних територіях на основі аналізу міжнародного досвіду (проектного та реалізованого) за останні 5 років.

Основна частина

В зв'язку із змінами клімату на планеті та стрімким розвитком технології в системі «прибережна територія – природна водойма» з'являються нові питання, що потребують уваги спеціалістів щодо свого вирішення у відповідності до вимог часу.

В системі прибережних та водних територій водні простори різних водних об'єктів є визначальними. Водні території, що складаються із водної поверхні, водної товщі та підводного берегу, стають об'єктом архітектурно-ландшафтного проектування (апробація на конференції «Підводні технології-2017», КНУБА), (7). Особливостями їх проектування стає врахування природних циклів, законів водних екосистем тощо. Водні території в найближчому часі можуть стати територіями реального розселення людини (8), і в той же час, як показує дослідження, вже понад 5 років йде їх інтенсивне освоєння для видобутку альтернативної енергії.

Кожна країна освоює свої водні території, будь то морські, річкові, озерні, а також території штучних водних об'єктів. На водних територіях останніми роками побудовані плаваючі сонячні електростанції, вітрові електростанції різних типів, розроблені інноваційні проекти для приливних

лагун, технології плаваючих підводних турбін тощо.

Найбільш затребуваним є сегмент сонячної енергетики на воді. Плаваючі сонячні електростанції вийшли на ринок відновлювальної енергетики останніх декілька років. Стійкий розвиток отримали із 2010 року. Кожний рік в світі реалізуються проекти нових сонячних електростанцій, що плавають на воді, в різних частинах світу. За 2010-2016 роки побудовані плаваючі сонячні станції в Японії (2014-2018), Австралії (2015), Ізраїлі (2010-2012), Південній Кореї (2014), анонсувала запуск подібного проекту Бразилія (2015) тощо.

Такі сонячні електростанції відрізняються потужністю, площею та технологіями. Потужність сонячних електростанцій на воді стрімко зростає з кожним проектом: перші станції 2012-14 років зведення мали потужність в 1,0-1,2 МВт, сьогодні вони об'єднуються в єдині енергетичні мережі потужністю в 60 МВт (Японія) (9). Розміщуються на різних водних об'єктах: як природних - озера (Швейцарія, Ізраїль, Японія, Британія), морській лагуні (Японія, Ізраїль), так й на штучних – водосховищах (Японія, Британія, Ізраїль), ставках (Японія, Ізраїль), каналах (Індія), навіть у каналізаційному басейні поруч з очисною спорудою (Австралія) (Рис.1). Станції на штучних водоймах поступово займають пріоритетну позицію.

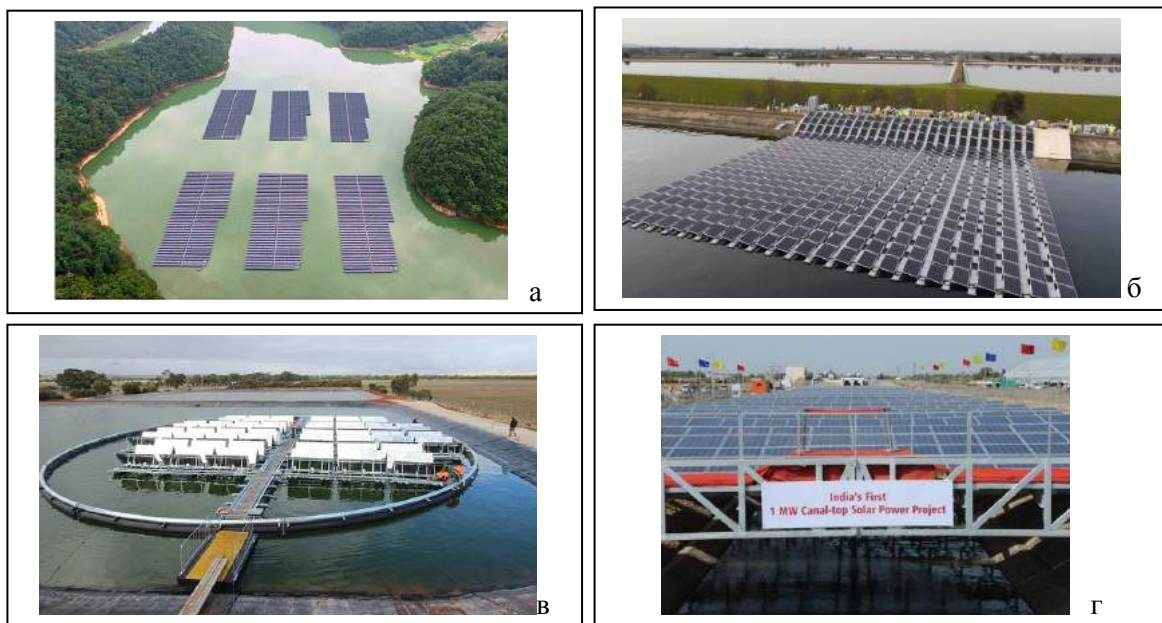


Рисунок 1 – Плаваючі сонячні станції у світі на різних водоймах: а) – від LG CNS, на водоймищах Otae та Jiryeong, Sangju, провінція North Gyeongsang Province, Південна Корея, 2015 р.; б) – від Thames Water та Lightsource, на водоймищі the Queen Elizabeth II, Walton-on-Thames, Surrey, Великобританія, 2016 р.; в) – від Infratech Industries, в каналізаційному басейні поруч з очисною спорудою, біля Jamestown, South Australia, Південна Австралія, 2015 р.; г) – пілотний проект 1MW Canal-Top Solar Power Project, над водною поверхнею каналу, канал Narmada Canal, State Gujarat, Індія, 2012 р.

Про переваги використання сонячних електростанцій, що плавають на водній поверхні, свідчать факти: ці станції є більш ефективними у порівнянні із наземними сонячними електростанціями відповідних розмірів за рахунок водяного охолодження; для них характерні суттєва економія землі, значне зниження CO₂, зменшення цвітіння токсичних водоростей у водоймищах; сприяють зменшенню випаровування води із водної поверхні водойми; характеризуються відносною мобільністю монтажу (що проявляється у легкість монтажу та демонтажу, нарощування об'ємів на базі модульності, можливість перенесення на іншу водойму) тощо. За розмірами, які визначаються технічними показниками та гідрографічними характеристиками водойми, станції можуть займати різні площі: і в 8 тис.кв.м, і в 18 тис.кв.м. Такі сонячні електростанції можуть стати джерелами енергії для автономних поселень на воді (8). Сьогодні окремі електростанції використовуються із поєднанням функцій: як рибоводний завод, як туристичний об'єкт, як освітній центр тощо. Так, на сонячній електростанції Kagoshima Solar Power в Японії проводяться ознайомчі туристичні тури (9), як в у випадку музею захисного бар'єру Barriers в Лондоні на Темзі (10).

Глобальний ріст морського сектору поновлювальних джерел енергії спостерігається останніми роками у всьому світі. Так, в 11 країнах Європи існує на сьогоднішній день 84 морські вітрові електростанції, в 2014 році вітровий парк Китаю налічував 226 морські вітрові турбіни, в 2016 р в США введено до експлуатації першу морську вітроелектростанцію тощо. Цей сектор альтернативної енергетики має затребуваність через наявність великих морських просторів та постійних сильних вітрів. Доведено, що вітрові електростанції виробляють на 40% енергії більше, ніж подібні електростанції на суші. Такий глобальний ріст сприяв зростанню інвестицій в сектор і інтерес привів до зниження цін майже на 60% в порівнянні з 2000 р. (11, 12).

Однім із останніх інноваційних проєктів в цьому сегменті стане створення найбільшої плавучої вітроелектростанції у Шотландії - The Hywind pilot park offshore Peterhead в Абердинширі, будівництво якої почнеться наприкінці 2017 року (13). Statoil буде встановлювати 30 МВт вітрової турбінні ферми на плавучих конструкціях на Б'юкен Діп, в 25 км від берега Пітерхед, в більш глибоких водах, ніж будь-які із попередніх морських вітрових турбін по всьому узбережжю Великобританії.

Перспективними напрямками є використання приливної енергії, енергії хвиль та енергії

океанських підводних течій.

Використання приливної і енергії хвиль більш розроблено і в деяких частинах світу навіть близько до запуску в комерційне застосування, про що свідчить проєктний досвід Великобританії у 2014-2016 рр. Програма приливних лагун в Південно-Західному Уельсі, що розробляється під патронатом держави, пропонує можливість будівництва групи великих приливних лагун вздовж узбережжя Уельсу для виробництва електроенергії з поновлюваних джерел в великому масштабі за низькою вартістю (14, 15). Приливні енергетичні плани для Swansea Bay вперше з'явилися в 2003 році, але сучасний проєкт був розроблений протягом останніх років - із 2014 року. Початок будівництва планується на 2018 рік та триватиме чотири роки, а перші потужності, що згенерують енергію, з'являться за три роки (14). Видачі всіх необхідних для розробки проєкту морських ліцензій передують глибокий аналіз природних ресурсів Уельсу. Зараз вивчаються екологічні проблеми, проводяться спостереження, аналізується вплив на морське середовище: охопленні питання від характеру повеней до популяції риб та птахів тощо. (16).

Якщо пробна модель в одній лагуні доведе свою екологічну небезпечність, то в планах є будівництво 10 приливних лагун в країні до 2030 року, що забезпечить 10% вироблення електроенергії, скоротить викиди CO₂ на 36%. (17).

Проєкт приливної лагуни Swansea Bay складається із 9 км морської стіни і масиву з 16 турбін подвійного спрямування, розробленими, щоб використовувати енергію припливу (Рис.2).



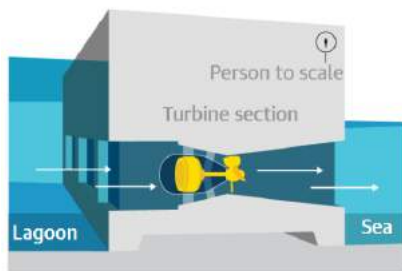


Рисунок 3 Проект приливної лагуни Swansea Bay Tidal Lagoon, Уельс, Великобританія, 2014-2018

В міру того як припливи піднімаються і опускаються лагуна заповнюється водою та порожніє. 6 метрові турбіни вироблятимуть електроенергію, незалежно від напрямку потоку (17). Проектувальники планують також використання лагуни із соціально-рекреаційними цілями: для прогулянок мешканців, релаксації, прямого контакту із морем, ознайомлення із морським життям тощо. Проект був нагороджений орденом Згоди розвитку в 2015 році і планується до реалізації (14).

Використання енергії океанських підводних течій - одна з найменш досліджених та мало розроблених ідей утилізації чистої енергії в світі, що залишається досі багато в чому концептуальною розробкою. Однак майбутнє цього підходу має величезний економічний ефект. Океанічні течії несуть в собі величезний потенціал надзвичайно стабільного і дуже надійного відновлюваних джерела чистої енергії.

Маючи жахливий досвід ядерної аварії на Фукусімі Японія поновила розробку проектів відновлювальної енергетики в секторі підводних течій. Спільна розробка японської організації New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) разом із компаніями Toshiba та ІНІ спрямована на запуск програми утилізації енергії океанічних течій на прикладі одного з найпотужніших світових океанічних течій Куросіо, що проходить в лічених кілометрах від узбережжя Японії.

Підхід NEDO із плавучими підводними турбінами є новаторським. Базові відомості майбутньої технології від Toshiba: «Підводні генератори, що «парять» у океанських водах, матимуть дві турбіни, що обертаються в протилежних напрямках. Вони будуть закріплені якорями на дні океану, і будуть парити в потоках течії як повітряні змії» (18). Компанія ІНІ побудує турбіни і плавучі корпусу, а Toshiba поставить необхідні електричні генератори і трансформатори. Проект дослідження можливостей нових генераторів триватиме до 2017 року.

«З огляду на більшу щільність води, при тій же площі поверхні вода, яка рухається зі швидкістю 20 кілометрів на годину, має таку ж силу, що і вітер, який безперервно дме зі швидкістю 180 кілометрів на годину» (18). Швидкість течії Куросіо, по океанографічним даними Флоту США, становить близько 5 кілометрів на годину.

Висновки

В системі «прибережні території – природна водойма» введення нового терміну «водні території» вважається доцільним та своєчасним. Водні території стають об'єктом архітектурно-ландшафтного проектування, в яких визначаються водна поверхня, водна товща та підводний берег. Особливостями їх проектування стає врахування природних циклів, законів водних екосистем тощо. Новий термін апробовано в роботі наукових конференцій КНУБА у 2017 році.

Водні території в найближчому часі можуть стати територіями реального розселення людини, і в той же час, як показує дослідження, вже понад 5 років йде їх інтенсивне освоєння для видобутку альтернативної енергії.

Водні території можна диференціювати в залежності від природних водних об'єктів на морські, річкові та озерні, а також території штучно створених водойм. Вони можуть розглядатися як самостійно, так і в поєднанні із прибережними територіями.

Світові тенденції у сегменті використання водних територій як джерела відновлювальної енергії дуже різноманітні. По-перше, підтверджена затребуваність на ринку по всьому світі. По-друге, формування технологій та проектних рішень йде зараз. По-третє, визначені види об'єктів відновлювальної енергетики на водних територіях: сонячні електростанції, що плавають на воді, морські вітряні електростанції, приливні лагуни тощо. Також охарактеризовані переваги, особливо скорочення викидів CO₂, окреслені перспективи розвитку. Лідерами стають держави, що вже розпочали процес 5 років тому. Всі проекти, що реалізовано та розробляються, мають підтримку на рівні держави (досвід Шотландії, Англії, країн Європи, Америки, Японії, Китаю, Бразилії тощо).

Виявлено головні тенденції сучасності, де кожний вид альтернативної енергетики на водних територіях отримує інноваційний розвиток. Мають позитивний досвід реалізації у світі сонячні та вітрові електростанції на воді. Розвиток сонячних електростанцій на воді прямує в бік збільшення площі та потужностей останніх, та збільшення частки даної енергії в загальному енергетичному балансі країни. Інноваційний проект автономних вітрових турбін, що

плавають, стартує у Шотландії (2017 р). На межі реалізації знаходиться концептуальний проект приливних лагун, для якого зараз проводиться дослідження екологічної безпеки (Англія), на стадії інтенсивного тестування – нові технології для підводних течій (Японія). Це знаменує собою важливий крок вперед для відновлювальних технологій водних територій, і потенційно відкриває нові привабливі ринки для виробництва відновлюваної енергії в усьому світі. Майбутнє саме за такими альтернативними джерелами електроенергії, адже вони дешевші за собівартістю, безпечніші та не пов'язані із шкідливими викидами, які спричиняють глобальне потепління.

Активне освоєння водних територій для цілей відновлювальної енергетики підтверджує своєчасність розгляду водних територій як об'єктів архітектурно-ландшафтного проектування. Необхідно скористатися провідними досягненнями світового енергетичного ринку та міжнародним позитивним практичним досвідом для корегування програми енергетичної політики України із визначенням та врахуванням потенціалу її водних територій для розвитку альтернативної енергетики.

Література

1. Паризька угода (2015) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%B7%D1%8C%D0%BA%D0%B0_%D1%83%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%B0_\(2015\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%B7%D1%8C%D0%BA%D0%B0_%D1%83%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%B0_(2015)) – назва з екрану.
2. Корольчук Ю., Відновлювана енергетика: перспективи України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.radiosvoboda.org/content/article/25044801.html> – назва з екрану.
3. Маковський А.М. Енергоресурси та гідрологічні основи гідроенергетики: навч. посіб. / А.М. Маковський, Ю.Ю. Філіпович; Нац. ун-т вод. госп-ва та природокористування. - Рівне : НУВГП, 2010. - 128 с.
4. Васько П.Ф. Мала гідроенергетика України: реалії сьогодення та аспекти подальшого розвитку / П.Ф. Васько, Ю.О. Віхорев // Відновлюв. енергетика. - 2008. - N 2. - С. 62-65.
5. Рубан Л.І. Ландшафтні аспекти нової архітектури об'єктів малої гідроенергетики / Л.І. Рубан // Енергозбереження в будівництві та архітектурі. – К. : КНУБА, 2016. – Вип. 8. – с. 326-332.
6. Нараєвський С.В. Конкурентоспроможність альтернативних технологій отримання енергії: Автореф. дис. ... канд. економ. наук: 08.00.04/ КПП. – К., 2015. - 22 с.
7. Рубан Л.І. Програма III міжнародної науково-практичної конференції «Підводні технології-2017, промислова та цивільна інженерія» // К. : КНУБА, 2017. - ISSN 2415-8550 - с.9
8. Рубан Л.І. Підводна урбаністика: питання та відповіді сучасності / Л.І. Рубан // Підводні технології. – К. : КНУБА, 2016. – Вип. 3. – с. 54-65.
9. Kagoshima Nanatsujima Mega Solar Power Plant, Japan [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.power-technology.com/projects/kagoshima-nanatsujima-mega-solar-power-plant/> – назва з екрану.
10. Рубан Л.І. Проблеми сучасної архітектурно-ландшафтно-організації прибережних територій (на прикладі проектної практики Лондону, Великобританія) / Л.І. Рубан // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. Частина 2. - К.: КНУБА, 2016. - Вип. 43 - С. 179-187.
11. The European offshore wind industry – key trends and statistics 2015, Wind Europe [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://windeurope.org/about-wind/statistics/offshore/key-trends-2015/> – назва з екрану.
12. Offshore Wind Power, Siemens [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.siemens.com/global/en/home/markets/wind/offshore.html> – назва з екрану.
13. Statoil to build the world's first floating wind farm: Hywind Scotland [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.statoil.com/en/news/hywindscotland.html> – назва з екрану. November 3, 2015
14. An iconic, world-first infrastructure project in South West Wales [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.tidallagoonpower.com/projects/swansea-bay/> – назва з екрану.
15. Swansea Bay tidal lagoon project backed by independent review [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.itv.com/news/wales/2017-01-12/swansea-bay-tidal-lagoon-project-backed-by-uk-government-review/> – назва з екрану.
16. Tidal lagoon: £1.3bn swansea bay project to be backed, construction buzz #98 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukconstructionweek.com/news/construction-buzz/985-tidal-lagoon-1-3bn-swansea-bay-project-to-be-backed-construction-buzz-98> – назва з екрану.
17. Swansea Bay tidal lagoon backed by government review [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.theguardian.com/environment/2017/jan/12/tidal-lagoons-could-ensure-uk-power-supplies> – назва з екрану.

18. Япония строит подводные воздушные змеи для сбора энергии океанических течений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://top.thepo.st/1331302/Yaponiya-stroit-podvodnyie-vozdushnyie-zmei-dlya-sbora-energii-okeanicheskikh-techeniy/> – назва з екрану.

Стаття надійшла в редколегію 27.03.2017

Рецензент: канд. арх., доц. Т. О. Кашенко, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Рубан Людмила Ивановна

Кандидат архитектуры, доцент, докторант КНУСА, ORCID: 0000-0002-5973-4362

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ОБЪЕКТЫ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ВОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ (мировые тенденции в начале 21 века)

Аннотация. Работа посвящена исследованию мировых тенденций по созданию различных объектов возобновляемой энергетики на водных территориях. В работе дана характеристика проектов солнечных и ветряных электростанций на воде, раскрыта их востребованность. Определены перспективные направления энергетики на водных территориях, связанных с использованием приливной энергии, энергии волн и энергии океанских подводных течений, проектирование которых активизировалось в последнее время в мире. В работе проанализирован современный международный проектный опыт за последние пять лет.

Ключевые слова: система прибрежных и водных территорий; солнечная электростанция на воде; морская ветряная электростанция; система приливной лагуны; плавающая подводная турбина

Ruban Liudmyla

Doctor of Philosophy (Architecture), Associate Professor, Doctoral KNUCA, ORCID: 0000-0002-5973-4362

Kiev National University of Construction and Architecture, Kiev

OBJECTS OF RENEWABLE ENERGY ON WATER AREAS (Global trends in the early 21th century)

Abstract. The work investigates global trends towards creation of a variety of renewable energy facilities on water areas. The paper outlines the characteristics of solar projects and wind farms on the water and uncovered their demand. It identifies promising areas of energy water areas associated with the use of tidal energy, wave energy and ocean energy undercurrents, the design of which has intensified recently in the world. The paper analyzes the most modern international design experience over the last 5 years.

Keywords: system of water and coastal territories; floating solar power plants; floating offshore wind farm; tidal lagoon system; floating underwater turbine

УДК 624.04 : 72.01.27

Сергейчук Олег ВасильовичДоктор технічних наук, професор, професор кафедри архітектурних конструкцій, ORCID: 0000-0003-0226-3923
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ІСТОРІЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ НОРМ З ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ В УКРАЇНІ

***Анотація.** У роботі розглядається історія розвитку нормативних вимог до енергоефективності будівель, починаючи з кінця XIX сторіччя до наших днів. Показано як змінювалися вимоги до показників енергоефективності будівель і трансформувалися розрахункові формули. Особливу увагу приділено змінам, що були впроваджені після отримання Україною незалежності. Зроблено аналіз сучасного комплексу нормативних документів з енергоефективності та нової редакції ДБН В.2.6.31:2016 «Теплова ізоляція будівель». Проведено їх порівняння з нормами ЄС. Розглянуто можливі напрямки подальшого розвитку та вдосконалення норм у взаємозв'язку з суміжними нормами з будівельної фізики, такими як норми з природної освітленості і інсоляції.*

***Ключові слова:** теплоізоляція; опір теплопередачі; енергозбереження; енергоефективність; природне освітлення; інсоляція.*

Постановка проблеми

Енергозбереження в будівництві і архітектурі – один із найбільш актуальних та важливих напрямків наукових і практичних досліджень, що проводяться фахівцями будівельної галузі усіх прогресивних країн світу після енергетичної кризи 1973 року. Особливої уваги потребують питання вітчизняного енергозбереження, що в останні роки загострилися на фоні складної політичної та економічно-нестабільної ситуації в Україні. Нажаль, наша держава вкрай залежна від імпортованих енергоресурсів: газу, а в останні роки – і від вугілля.

Одним із можливих шляхів виходу із сформованої ситуації є поліпшення будівельної нормативної бази та її приведення у відповідність до Європейських та світових стандартів.

У зв'язку з цим цікаво прослідкувати як історично змінювалися вимоги до енергоефективності в нашій країні, як це відбувалось на рівні теплоізоляції огорожувальних конструкцій, який шлях – еволюційний чи революційний – обирався при змінах нормативних вимог.

Крім того, оскільки будівля повинна забезпечувати комфортні умови мешканців не тільки з точки зору теплоізоляції, а і по іншим параметрам, виникає питання узгодження вимог теплоізоляції з вимогами природного освітлення, інсоляції, захисту від шуму.

Оскільки зміни норм – процес безперервний, тому важливим питаннями є їхня відповідність

сучасному етапу розвитку країни, з одного боку, та нормам провідних країн світу, з іншого, та визначення шляхів їхнього подальшого розвитку.

Аналіз основних досліджень та публікацій

Історія, еволюція і розвиток нормативних вимог до огорожувальних конструкцій у період до розпаду Радянського Союзу (а також, після розпаду, – Російської Федерації) ретельно досліджена у [1].

У статті [2] розглянуто методичні та організаційні засади, що втілюються в Україні для рішення проблеми забезпечення енергоефективності об'єктів будівництва. Однак ця стаття датується 2013 р. і в ній не відображені останні зміни у нормативній базі. Крім того, вона розглядає лише стан проблеми на момент написання, без історичного огляду.

Певний аналіз історії зміни норм з енергоефективності в Україні після розпаду Радянського Союзу є у Галузевій програмі підвищення енергоефективності у будівництві на 2010-2014 роки [3]. Там же є порівняння норм України з діючими на той час нормами інших держав.

Однак у всіх перерахованих джерелах не досліджено зв'язок норм з утеплення огорожувальних конструкцій з іншими нормами з будівельної фізики.

Формулювання мети статті

Основною метою статті є ознайомлення широкого кола фахівців з історією розвитку національних норм з енергоефективності та розгляд

можливих шляхів їхнього подальшого розвитку.

У статті розглядаються в основному питання з проектування теплоізоляційної оболонки житлових будинків. Питання опалення, вентиляції, кондиціонування розглядаються лише в тій мірі, в якій вони залежать від об'ємно-планувального та конструктивного вирішення будівлі.

Основна частина

Перші нормативні вимоги до рівня теплоізоляції були відображені в «*Урочному положенні*» 1896 р. [4]. Згідно цього документу, для північної і середньої кліматичних зон, до відносились переважна частина України, найменша товщина зовнішніх стін з цегли була узаконена у 2,5 цеглини або 15 вершків, або 0,30 сажнів, тобто приблизно 64-67 см. Для внутрішніх стін, які відокремлювали холодний простір від теплого, товщина повинна була бути у 2 цеглини або 12 вершків, або 0,25 сажнів, тобто 53 см.

Першими нормами в СРСР по теплозахисту будівель і будівельних конструкцій були «*Технічні вказівки та норми*» 1929 р. В них, зокрема, вказувалося, що «Ступінь теплозахисту, що забезпечується огорожею, визначається її опором теплопередачі і стійкістю теплового режиму всередині будівлі при періодичному опаленні останнього» [5].

Як еталон, для порівняльної оцінки різних огорожувальних конструкцій будівель в припущенні однієї топки печі на добу, була встановлена цегляна стіна з товщиною для середнього кліматичного зони в 2,5 цегли (640 мм) з опором теплопередачі $0,95 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

Норми склалися з трьох частин:

1) теплотехнічний розрахунок огорожувальних конструкцій;

2) розрахунок теплових втрат;

3) розрахунок системи опалення.

Наступні зміни нормативних вимог відбулися тільки у 1954 році з виходом *СНІП II-54* [6]. Цей норматив мав 5 розділів (А-Д). Вимоги до будівельної теплотехніки були сформульовані у главі 3 розділу В та стосувались опорів теплопередачі, провітропроникнення, паропроникнення огорожувальних конструкцій та теплостійкості приміщень та огорожень.

Згідно [6] величина опорів теплопередачі R_0 огорожі повинна була бути не менше необхідного опорів R_0^{TP} .

Величина опорів теплопередачі багат шарових огорожень розраховувалась за формулою:

$$R_0 = R_B + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_H, \quad (1)$$

де R_B і R_H – опір теплопереходу відповідно у внутрішній і зовнішній поверхнях;

R_1, R_2, \dots, R_n – термічні опори окремих шарів огороження, що обчислюють за відомою формулою:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (2)$$

де δ_i – товщина шару;

λ_i – коефіцієнт теплопровідності матеріалу.

Необхідний опір теплопередачі огорожі R_0^{TP} визначався з санітарно-гігієнічних вимог і розраховувався за формулою:

$$R_0^{\text{TP}} = \frac{(t_B - t_H) \cdot n \cdot m}{\alpha_B \cdot \Delta t^H}, \quad (3)$$

де t_B – розрахункова температура внутрішнього повітря, яка приймалась для житлових приміщень рівній 18°C ;

t_B – розрахункова зимова температура зовнішнього повітря, яка приймалась при теплотехнічних розрахунках зовнішніх огорожень рівній середній температурі найбільш холодної п'ятиденки;

α_B – коефіцієнт теплопереходу;

Δt^H – нормований температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і температурою внутрішньої поверхні огорожі, що дорівнював $2,5^\circ\text{C}$ – для підлог, 6°C – для зовнішніх стін і $4,5^\circ\text{C}$ – для покриттів і горищних перекриттів;

n – коефіцієнт, що залежить від положення зовнішньої поверхні огорожі по відношенню до зовнішнього повітря;

m – коефіцієнт, що залежить від ступеня масивності огорожувальної конструкції.

В середньому, для I температурної зони необхідний опір теплопередачі цегляних стін дорівнював біля $0,8 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, для покриттів та горищних перекриттів – $1,2 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$; для II температурної зони – відповідно $0,7 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ і $1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ (температурні зони вказані згідно [7]).

Слід зазначити, що у [6] вже розраховувався приведений опір теплопередачі огорожувальних конструкцій неоднорідних як в напрямі паралельному, так і напрямі, перпендикулярному тепловому потоку, хоча терміна «приведений опір» ще не було. Цей опір мав назву «дійсний» і він визначався таким чином.

1. Конструкція розрізається площинами, паралельними тепловому потоку на ділянки, що складаються з одного чи кількох однорідних шарів, та розраховується опір R_{\parallel} за формулою:

$$R_{\parallel} = \frac{F_I + F_{II} + F_{III} + \dots}{\frac{F_I}{R_I} + \frac{F_{II}}{R_{II}} + \frac{F_{III}}{R_{III}} + \dots}, \quad (4)$$

де R_I, R_{II}, \dots – термічні опори окремих ділянок, що розраховуються за формулами (2) чи (1), але без опорів теплопереходу R_b та R_n ;

F_I, F_{II}, \dots – площі окремих ділянок по поверхні огороження.

2. Конструкція розрізається площинами, перпендикулярними тепловому потоку на шари, які складаються з одного, чи кількох матеріалів однакової товщини, що дорівнює товщині шару, та розраховується термічний опір R_{\perp} як сума термічних опорів усіх шарів, що, в свою чергу, визначаються за формулою (2) чи (4).

3. Дійсний термічний опір визначався за формулою:

$$R = \frac{R_{\square} + 2R_{\perp}}{3}, \quad (5)$$

Ще важливим моментом норм [6] є те, що в них вже розглядалися теплопровідні включення (діафрагми, товсті наскрізні шви розчину, прокладні ряди, поперечні стінки пустотілих каменів, колони і ригелі залізобетонного каркасу тощо). В місцях їх знаходження розраховувалась температура внутрішньої поверхні огороження τ'_b , яка повинна була бути вище точки роси. Для визначення τ'_b була надана формула та відповідні схеми включень (рис. 1).

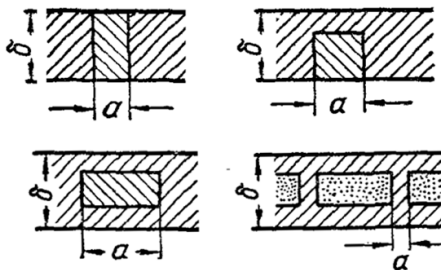


Рисунок 1 – Типи теплопровідних включень [6]

Теплостійкість у [6] не розраховувалась, а лише надавались рекомендації з проектування:

«У зимовий час теплостійкість приміщень може бути забезпечена:

- Застосуванням опалювальних приладів з малою величиною коефіцієнта нерівномірності тепловіддачі;
- Підвищенням величин опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій приміщення;
- Використанням обробки внутрішніх поверхонь приміщення матеріалами з більшими коефіцієнтами теплосасвоєння.

У літній час теплостійкість огорожувальних

конструкцій повинна забезпечуватись за рахунок відповідного підвищення теплової інерції огорожень, а також шляхом відповідної обробки (наприклад, фарбуванням у світлі тони) зовнішніх поверхонь огорожень».

Норми з опору провітропроникнення дивним чином визначались в залежності від необхідного опору теплопередачі. Це – слабе місце даних норм.

Необхідний опір паропроникненню огорожень у нормах не встановлювався, але у [6] зазначається, що «відповідність огороження вимогам нормального вологісного режиму у відношенні опору паропроникненню визначається розрахунком відповідно вказівкам, що встановлюються технічними умовами на проектування огорожувальних конструкцій».

Додаткові вимоги, які впливають на енергоефективність були сформульовані в інших розділах [6]. Вони наступні:

- Обмежувалась орієнтація вікон житлових кімнат на північну частину горизонту в межах 315-30° – у I температурній зоні та на західну частину горизонту в межах 200-290° – у II зоні;
- розрахункова площа вікон в житлових кімнатах повинна була бути не менше 1:8 від площі підлоги;
- приміщення у надземних поверхнях житлових будинків повинні були мати можливість провітрювання через квартирки чи фрамуги;
- вентиляція у житлових будинках передбачалась природна витяжна через вентиляційні канали;
- вхід у будинок здійснювався через тамбур;
- квартири у II температурній зоні (згідно [7]) повинні були мати наскрізне провітрювання.

З 1 липня 1963 на зміну СНіП II-В.3-54 був прийнятий **СНіП II-А.7-62** «Будівельна теплотехніка» [8]. У цьому документі дещо змінилась формула для визначення необхідного опору теплопередачі:

$$R_0^{TP} = \frac{(t_b - t_n) \cdot n \cdot b}{\alpha_b \cdot \Delta t^H}, \quad (6)$$

де $t_b, t_n, \alpha_b, \Delta t^H, n$ – теж саме, що і у формулі (3);

b – коефіцієнт якості теплоізоляції зовнішнього огороження, який враховував можливість зміни з часом теплотехнічних показників теплоізоляційних матеріалів за рахунок ущільнення та деформації.

Слід зазначити, що врахування масивності огороження (коефіцієнт m у формулі (3)) стало здійснюватися при визначенні розрахункової температури зовнішнього повітря. В цілому, нормативні вимоги до опору теплопередачі конструкцій не змінилися.

Серед інших змін слід зазначити такі:

- дещо змінились схеми теплопровідних включень;

- додані розрахунки теплостійкості приміщень і зовнішніх огорожень за зимовими та літніми умовами;

- введено нормування теплосвоєння підлог;

- наведено метод розрахунку вологісного стану огорожувальних конструкцій який дозволяв визначити приріст вологості матеріалів за холодний період року та її баланс за рік. При цьому не дозволялося накопичення вологи в зовнішніх огороженнях за річний період експлуатації та обмежувався її приріст за холодний період.

Досить суттєво удосконалилася методика розрахунку природного освітлення [9]:

- з'явилися таблиці нормованих значень КПО для основних приміщень житлових, громадських, промислових та сільськогосподарських будівель;

- з'явився коефіцієнт, що уточнював нормоване значення КПО в залежності від географічної широти (для України дорівнює 1);

- знайшли подальше уточнення значення коефіцієнтів, що враховують світло, відбите від протилежних будівель та внутрішніх поверхонь приміщення, а також коефіцієнта світлопропускання заповнення світлопрорізів.

Це дозволило більш обгрунтовано визначити необхідну площу світлопрозорих огорожень. Цікаво, що нормативна методика не обмежувала розрахунок геометричного КПО лише графіками Данилюка, а дозволяла використовувати і інші методи.

Серед інших нових вимог, пов'язаних з енергоефективністю слід зазначити такі [10]:

- розроблено нове будівельне кліматичне зонування території СРСР, яке мала 4 зони та 13 підрайонів (через територію України проходили ПІВ, ПІБ, ПІВ та ІVБ підрайони – рис. 2). Це районування

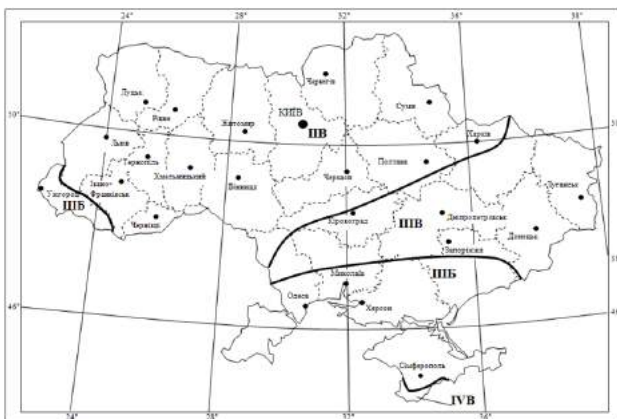


Рисунок 2 – Зонування території України за [10]

суттєво поліпшило типологічні вимоги до об'єктів

будівництва;

- у ІV будівельно-кліматичній зоні прорізи вікон, які мали орієнтацію в межах від 200 до 290°, повинні були обладнатися сонцезахисними пристроями;

- у квартирах з чотирма і більше кімнатами без наскрізного або кутового провітрювання повинна була передбачатися витяжна вентиляція безпосередньо з житлових кімнат.

Інші вимоги залишилися без змін.

Ще одним важливим документом цього періоду стали «Санітарні норми і правила забезпечення інсоляції приміщень житлових і громадських будівель і забудови населених міст» (СН 427-63), які були введені Мінздравом СРСР у березні 1963 р. [11]. У цих нормах вперше у СРСР були встановлені вимоги стосовно інсоляції приміщень – забезпечення безперервної інсоляції житлових кімнат мінімум 3,0 години у день у період з 22 березня по 22 вересня, хоча перевірялась тривалість інсоляції лише тільки і ці дні [12]. Поряд з мінімальною тривалістю інсоляції в нормах вміщені також окремі вимоги по запобіганню перегріву приміщень. Ці норми явились певним шагом з оптимізації інсоляційного режиму будинків.

З 27 жовтня 1971 року була затверджена наступна редакція норм з будівельної теплотехніки – **СНУП II-A.7-71** [13], в якому відбулися такі основні зміни.

1. З формули (6) вилучено коефіцієнт якості теплоізоляції. Причини його скасування невідомі.

2. Вперше були введені нормативні вимоги для заповнень світлових прорізів (для України в межах 0,3-0,34 м²·К/Вт).

3. Вперше з'являється вимога, пов'язана з економічним обгрунтуванням необхідного рівня теплоізоляції огорожувальних конструкцій – опір теплопередачі огорожувальних конструкцій R_0 повинен бути не менше ніж:

$$R_0 \geq \max \{ R_0^{TP}, R_0^{ЭК} \}, \quad (7)$$

де R_0^{TP} – необхідний опір з санітарно-гігієнічних умов;

$R_0^{ЭК}$ – опір, що визначався економічним розрахунком який приймався виходячи з умови забезпечення найменших приведених витрат з урахуванням вартості конструкції, вартості транспортування конструкції і вартості її монтажу. Таким чином, при розрахунку економічного доцільного опору теплопередачі враховувалися тільки капітальні витрати (витрати на будівництво), а експлуатаційні витрати, пов'язані з опаленням будівлі в розрахунок не бралися.

Слід зазначити, що в переважній більшості випадків, при проектуванні нормування рівня

теплоізоляції огорожувальних конструкцій робилось виходячи із забезпечення санітарно-гігієнічних умов. Цьому сприяла відсутність економічних умов і стимулюючих факторів оскільки вартість енергії в складі собівартості кінцевої продукції була незначною.

Серед інших змін цього документу слід зазначити:

- з норм вилучили розрахунок теплостійкості приміщень у зимовий період. Це можна пояснити тим, що більшість квартир на той час вже мали центральне опалення;

- методика розрахунку повітропроникності отримала сучасний вигляд – необхідний опір повітропроникненню перестав визначатися в залежності від необхідного опору теплопровідності.

Розрахунок природного освітлення у цей час знайшов свій подальший розвиток у СНіП II-A.8-72 [14]. Тут вже з'явилося світлокліматичне зонування території СРСР (Україна мала на своїй території три світлокліматичні пояси: III, IV і V, причому IV пояс розділявся ще на частини – північніше та південніше 50° пн.ш.); нормоване значення КПО стало враховувати світловий клімат та сонячність; суттєво удосконалено визначення загального коефіцієнту світлопропускання заповнення вікон та врахування відбитого світла від внутрішніх поверхонь приміщення. Це сприяло подальшому уточненню необхідної площі світлопрорізів в залежності від умов світлового клімату.

У редакцій норм з проектування житлових будинків СНіП II-Л.1-71 [15] суттєвих змін з точки зору енергоефективності не відбулось. Незначно змінився лише північний сектор несприятливої орієнтації – він став мати межі $310-50^\circ$.

Замість СН 427-63 затверджені СН 1180-74, в яких пункт 8,а вимагав поряд з розрахунком тривалості інсоляції у дні початку/кінця нормованого періоду інсоляції додатково контрольного її розрахунку 22 червня [12].

З 14 березня 1979 набула чинності нова редакція норм з будівельної теплотехніки – **СНіП II-3-79** [16]. У порівнянні з СНіП II-A.7-71 у новій редакції стандарту не відбулося принципових змін при виборі нормативних вимог.

З документа зникла вимога економічного обґрунтування при виборі рівня теплоізоляції. Ще варто виділити появу нового терміна – приведений опір теплопередачі. Житлові і громадські будівлі цього періоду забудови мали опір теплопередачі зовнішніх стін $0,6-0,8 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$, дахів і покриттів і $0,9-1,1 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$, вікон $0,32-0,4 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$.

На зміну СНіП II-A.8-72 «Природне освітлення» прийшов СНіП II-4-79 «Природне і

штучне освітлення [17], який діяв на території України до 1.10.2006 р. Порівняно з попередніми нормами були більш деталізовані нормативні вимоги до різних типів приміщень і уточнені значення коефіцієнта сонячності клімату. В цілому, це збільшило необхідну площу скління для будівель, що будуються в Україні в середньому на 5-10%.

Доцільність об'єднання в одному нормативі природного і штучного освітлення дуже дискусійна, оскільки вони мають різну природу, методи розрахунку і проектування.

На зміну СН 1180-74 прийшла третя редакція «Санітарних норм і правил забезпечення інсоляцією житлових та громадських будівель і територій житлової забудови» – СН 2605-82 [18], які не мали суттєвих відмінностей від попередніх норм.

З 1.07.86 р. СНіП II-Л-71 був замінений на СНіП 2.08.01-85 [19], який нічого не змінив в типології житлових будинків з точки зору енергоефективності.

З 1.01.90 р введено в дію нову редакцію цього документа – СНіП 2.08.01-89 [20], до якого було розроблено довідковий посібник з проектування об'ємно-планувальних рішень житлових будинків [21]. У цих документах з'явилися певні зміни, які стосувалися більш ретельного врахуванню кліматичних особливостей різних регіонів. Так, наприклад, у Криму рекомендувався сонцезахист вікон, звернених не тільки на південний захід і захід, але і на південь та схід (сектор $70-200^\circ$). Більше уваги приділено в документах організації природної вентиляції в багатоповерхових будинках за допомогою вентиляційних шахт, що дозволило отримувати ширококорпусні будівлі. Правда, використання шахтного провітрювання на практиці зустрічалось дуже рідко.

Хоча світ вже відчув на собі енергетичну кризу 1973 р. і всі світові економіки були змушені перейти до режиму економії енергоресурсів зважаючи на значне зростання вартості енергетичних ресурсів, в Радянському Союзі ці зміни ніяк не позначилися на структурі планової економіки. Вартість теплової енергії залишалася незмінною. Це аж ніяк не стимулювало до енергозбереження і, як наслідок, до впровадження законодавчих ініціатив і стандартів, спрямованих на енергозбереження.

Лише після розпаду СРСР в Україні почали запровадити певні кроки з енергозбереження та енергоефективності. Переломним моментом у підвищенні енергоефективності будівель став **наказ Мінбудархітектури України № 247** від 27.12.1993 р., яким були встановлені нові, суттєво вищі нормативні значення опору теплопередачі різних типів огорожувальних конструкцій [22].

Територія України була розділена на 4 температурні зони і для кожної зони встановлювались значення нормативного опору теплопередачі в залежності від виду огорожувальної конструкції. Виконання нових норм гарантувало економію споживання енергоресурсів при експлуатації будівель більш ніж на 30% у порівнянні з нормами, які діяли до 1994 р.

До недоліків цього нормування слід віднести те, що нормативний опір залежав від матеріалів з яких складалася конструкція. Так, наприклад, у I температурній зоні (м. Київ) для стін з утеплювачем з полімерних матеріалів $R_0^{TP} = 2,5 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$, а для стін з багатошарової керамічної цегли $R_0^{TP} = 1,8 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$. Таким чином 2 однакових за об'ємно-планувальним рішенням будинки, але виконаних з різних матеріалів, могли відрізнитися по енергоефективності більше ніж на 30%! Ще одним недоліком було те, що нові норми не стосувалися промислових будівель.

У 2005 р. на зміну СНіП 2.08.01-89 були прийняті нові національні норми ДБН В.2.2-15-2005 [23], які зі змінами і доповненнями діють до теперішнього часу. У цьому документі з'явився цілий розділ, присвячений енергозбереженню, який включає 11 пунктів. В основному ці пункти стосуються питань інженерного забезпечення. Пропонується в одноквартирних житлових будинках, а також в будинках з кондиціонуванням повітря при обґрунтуванні застосовувати системи теплопостачання, які працюють на поновлюваних джерелах енергії. Констатується також необхідність неухильного виконання вимог щодо забезпечення нормативних значень опорів теплопередачі зовнішніми огорожувальними конструкціями і мінімізації площі вікон.

З 1.04.2007 р в Україні введені норми з теплової ізоляції **ДБН В.2.6-31:2006** «Теплова ізоляція будівель» [24]. У порівнянні з вимогами 1994 р. підвищено мінімальний рівень теплоізоляції огорожувальних конструкцій житлових і громадських будівель в середньому на 15-40% для зовнішніх стін, на 20-25% – для покриттів і дахів, на 20% – для вікон. Але найбільш важливими відмінностями цього документу є:

- принципово нові вимоги при проектуванні теплозахисту будівель – вимоги до питомих тепловитрат будинку в цілому;
- введення поняття енергоефективності будівель та їхня класифікація за показником енергоефективності, що дозволяє на якісно новому рівні проводити комплексну оцінку енергетичних показників будинків;

- суттєво змінилася методика розрахунку вологісного режиму огорожувальних конструкцій – була прийнята методика, яка діє у країнах ЄС і яка дає змогу проєктантам візуально оцінити вологісний стан конструкції (рис. 3);

- знову повернувся у норми розрахунок теплостійкості у зимовий період, що пов'язано з широким застосуванням у новому будівництві теплоакуючих конструкцій.

У 2008 р. був розроблений і прийнятий ДБН

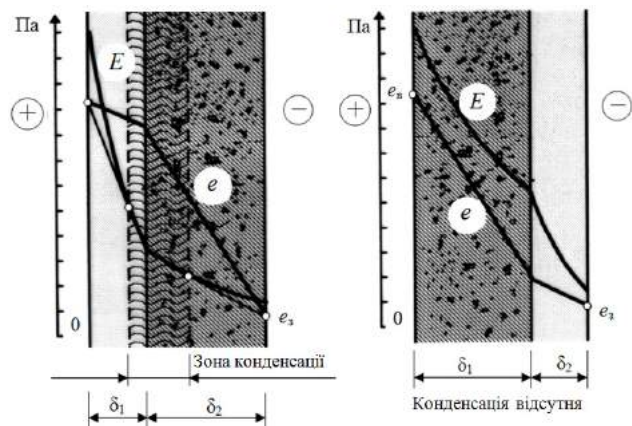


Рисунок 3 – Аналіз вологісного стану огорожувальної конструкції

В.1.2-11-2008 «Основні вимоги до будівель і споруд. Економія енергії» [25]. Ці норми розроблені з урахуванням положень тлумачних документів основних вимог до будівель і споруд Директиви Ради 89/106/ЄЕС від 21 грудня 1988 р. щодо зближення законів, підзаконних актів та адміністративних положень держав-членів стосовно будівельних виробів і встановлюють основні положення основної вимоги до виробів, будівель і споруд, щодо забезпечення економії енергії та теплової ізоляції будівель, визначеної у «Технічному регламенті будівельних виробів, будівель і споруд» № 1764 від 21.12.2006 р.

З 1 липня 2013 р введено в дію Зміна № 1 ДБН В.2.6-31: 2006 [26], яке ще більше підвищило вимоги до теплоізоляційної оболонки і до інтегральних характеристик енергоефективності будівель. В середньому по Україні опір теплопередачі стін зріс на 15%, перекриттів і дахів – на 25%, вікон – на 30%. Настільки різке збільшення нормативної теплоізоляції вікон пояснюється тим, що саме вони є найбільш «уразливими» місцями теплоізоляційної оболонки будинків. Динаміка збільшення значень опорів теплопередачі вікон за останні півстоліття в Україні показана на рис. 4.

У [25] наведено нове температурне зонування території України (рис 5), яке уніфікує вимоги до теплоізоляції огорожувальних конструкцій.

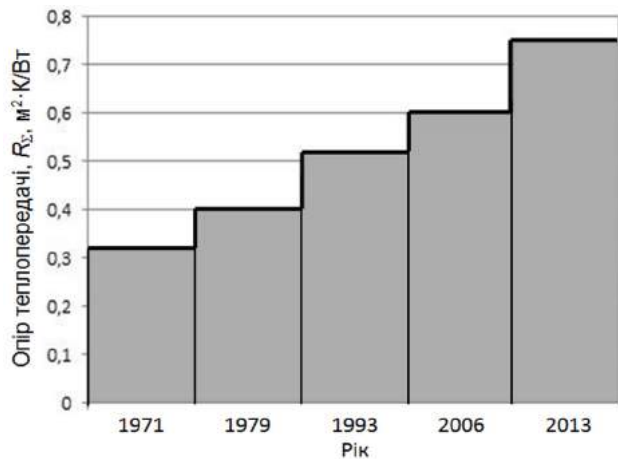


Рисунок 4 – Динаміка зростання нормативного опору теплопередачі вікон в Україні

З 1.10.2006 р. на зміну СНІП II-4-79 в Україні вступив у дію ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення» [27] в якому не відбулося змін у методиці розрахунку і проектування природного освітлення, але це сталося у Зміні № 2 до нього [28]:

- з'явилося нове світлокліматичне районування території України (рис. 6);
- врахування світлового клімату перенесено з нормування у розрахунок;
- при розрахунку освітлення через світлопрорізи верхнього світла стало можливим врахування затінення оточуючими будівлями;
- змінено методику розрахунку відносної яскравості затінюючих будинків;
- уточнено нормування КПО в приміщеннях, що мають кілька світлопрорізів різної орієнтації;
- уточнено нормування КПО при нахилених світлопрорізах;
- удосконалено розрахунок коефіцієнта світлопропускання світлопрорізів;
- питання нормування та розрахунку природного освітлення ув'язані з інсоляцією і сонцезахистом приміщень;
- узаконена можливість застосування для природного освітлення спеціальних відбиваючих систем і порожнистих світловодів.

Ці зміни дозволили суттєво краще враховувати особливості світлового клімату і містобудівну ситуацію при розрахунках необхідної площі світлопрозорих конструкцій.

З 1.11.2011 р. набрав чинності ДСТУ-Н Б В.1-27:2010 «Будівельна кліматологія» [29], що надав проєктантам можливість використовувати сучасні кліматичні показники, які до цього не змінювались з 1982 р. У цьому стандарті важливе значення приділено сонячній і тепловій радіації як за умов ясного неба, так і при дійсній хмарності. Також затверджено нове архітектурно-будівельне

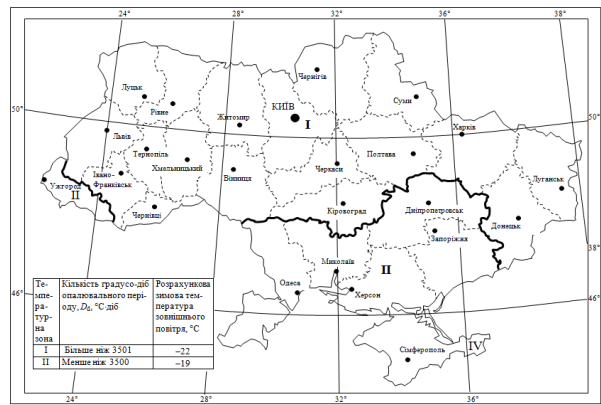


Рисунок 5 – Карта температурних зон України [25]

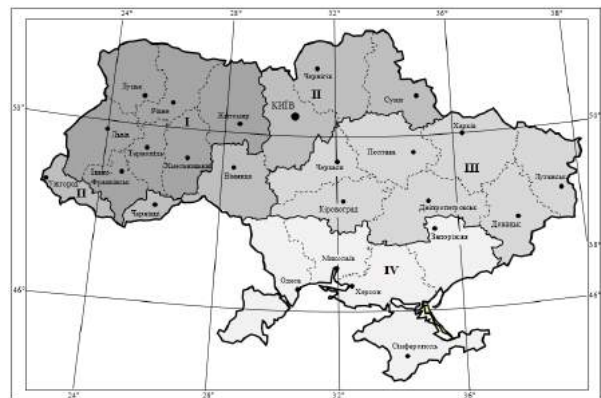


Рисунок 6 – Світлокліматичне районування України [27]

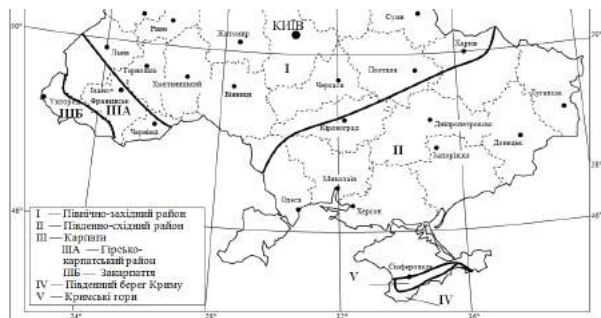


Рисунок 7 – Архітектурно-будівельне кліматичне районування України [28]

кліматичне районування України, яке відображає зміни клімату, що відбулися за останні 30 років (рис. 7). На основі цього районування зараз розробляються типологічні вимоги до всіх типів будівель, які враховують і вимоги енергозбереження та енергоефективності.

З 1.05.2017 р. почне діяти нова редакція норм з теплової ізоляції будівель – ДБН В.2.6-31:2016 [7]. Цей документ – імплементація Директиви Європарламенту і Ради ЄС 2010/31/ЄС «Про енергетичну ефективність будівель» і застосування єдиних з країнами ЄС стандартів для розрахунків показників енергоефективності. Він базується на розроблений протягом останнього 10-річчя комплекс нормативних документів з енергоефективності, який охоплює біля 30 норм,

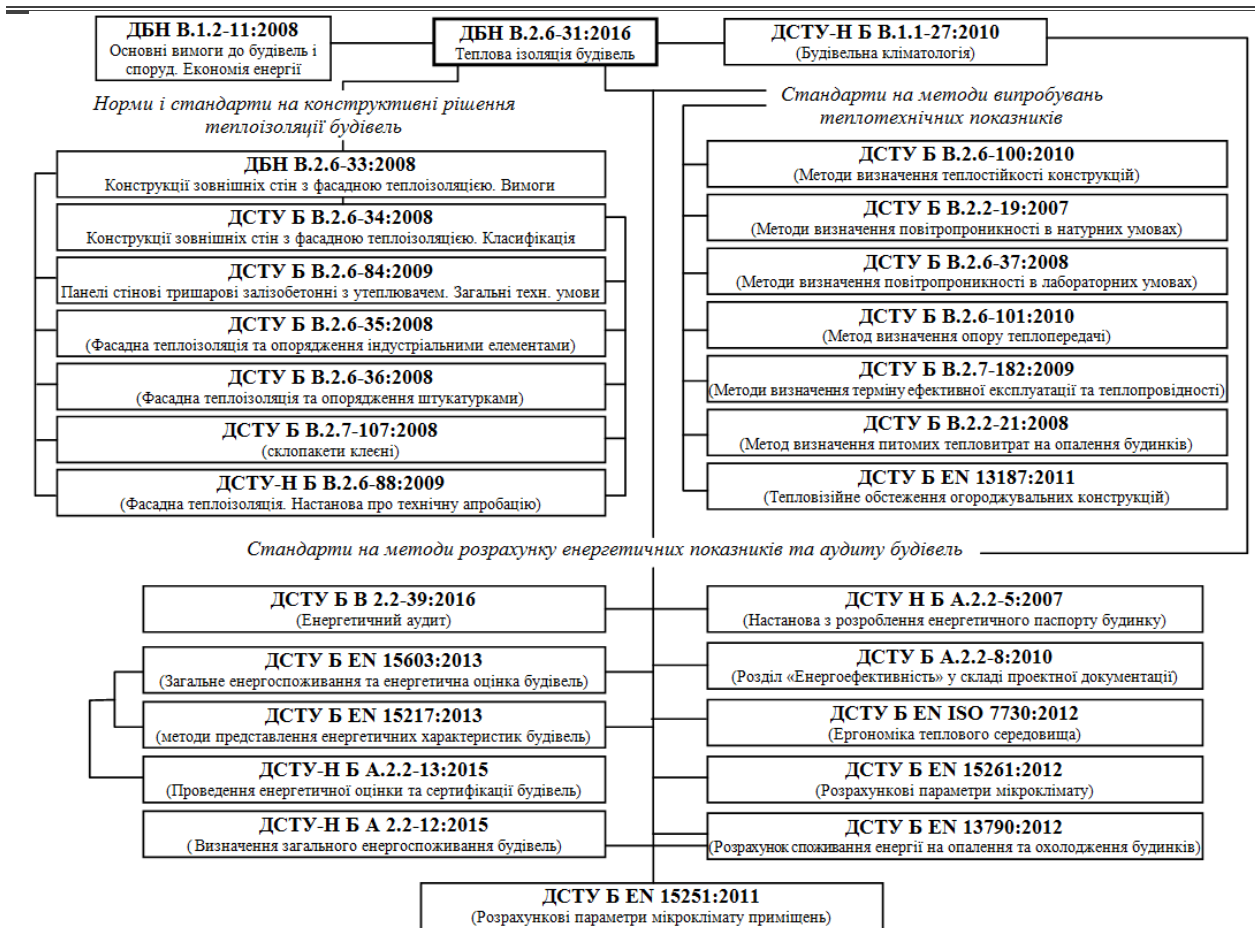


Рисунок 8 – Діючий комплекс нормативних документів з енергоефективності

стандартів та настанов з конструювання, випробування теплотехнічних показників, розрахунку та аудиту енергоефективних будівель (рис. 8). Взаємозв'язок ДСТУ з нормами ЄС показано на рис. 9.

У [7] зроблено подальший акцент на проектуванні будівель як єдиного енергетичного комплексу, що включає теплоізоляційну оболонку, та систему кліматизації будівлі, яка нормується ДБН В.2.5-67:2913 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [29] та базується на свою розвинуту систему стандартів.

Якщо у [24] нормувалося лише питоме енергоспоживання на опалення, то у новій редакції вимагається оцінювати показник енергоефективності будівлі з її питомого енергоспоживання на опалення та охолодження, метод розрахунку якого надається у ДСТУ-Н Б А 2.2-12:2015 [30].

Надано нормативні числові значення питомого енергоспоживання для різних за призначенням будівель у температурних зонах України. Для цивільних будівель заввишки до трьох поверхів і підприємств торгівлі нормативні показники представлені в залежності від коефіцієнта компактності, оскільки ця група будівель має

великий розкид значень висот приміщень.

При реконструкції будівель передбачено використовувати підвищувальний коефіцієнт (до 1,25) до значення нормативної величини. Таким чином, до існуючих будівель пред'являються менш жорсткі вимоги, ніж до будівель нового будівництва. Це викликано тим в таких будівлях централізоване охолодження, як правило, відсутнє, а у нормативній величині енергопотребі в якості доданка є параметр потреби в охолодженні, який знижує показник класу енергоефективності.

Уточнені мінімально допустимі значення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій – у більшій степені враховано охолодження суміщених покриттів і дахів завдяки тепловому випромінюванню.

Запропоновано нормативні значення повітрообміну ($\text{м}^3/\text{ч}$) при різниці тиску 50 Па. Показник повітрообміну пов'язаний з витратами енергії на нагрів повітря при інфільтрації і вентиляції, які можуть бути визначені експериментально. При цьому обов'язковою умовою є підтримка санітарно-гігієнічних характеристик повітря.

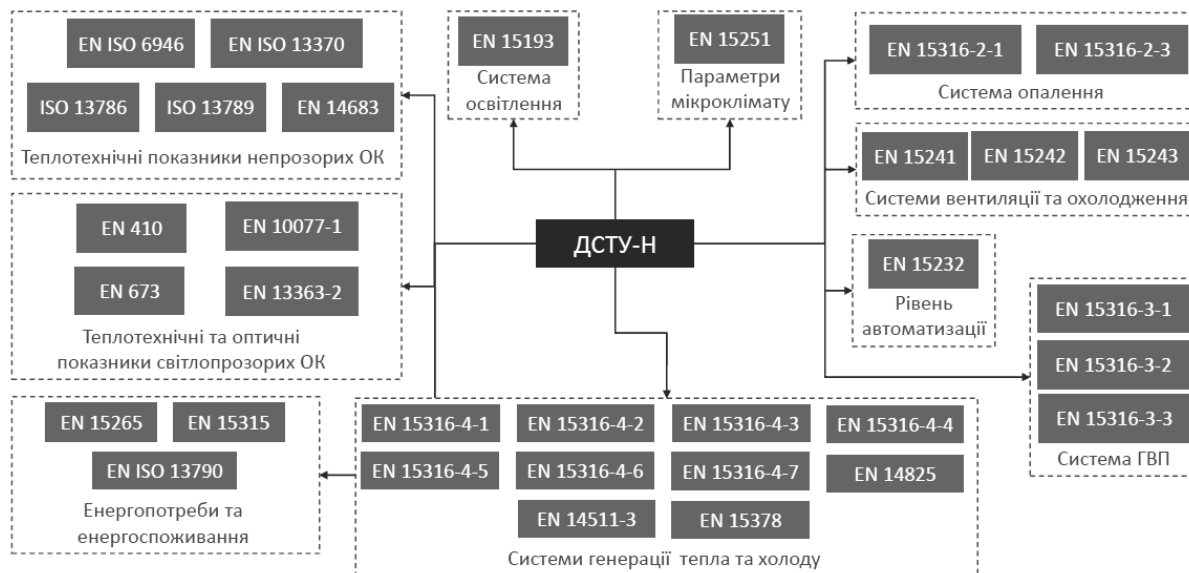


Рисунок 9 – Схема взаємозв'язку ДСТУ-Н Б А 2.2-12:2015 з міжнародними стандартами

Запропоновано нову форма енергетичного паспорта, яка враховує енергопотребити та енергоспоживання будівлі з урахуванням характеристик інженерних систем і способів їх експлуатації. У паспорті присутня повна інформація про характеристики будівлі та інженерних систем для існуючої будівлі. На підставі цих даних буде видаватися сертифікат енергоспоживання.

Розвинуті вимоги щодо застосування сонцезахисних пристроїв світлопрозорих огорожень:

«– під час проектування необхідно передбачати на світлопрозорих конструкціях, орієнтованих на південно-західний та західний сектори горизонту в межах (200-290)°, використання сонцезахисних пристроїв:

– при звичайному відсотку скління (менше ніж 18 % для житлових будинків, менше ніж 25% – для нежитлових будівель) у I, III і V архітектурно-будівельних кліматичних районах – зовнішні чи міжскляні сонцезахисні пристрої; у II та IV районі – зовнішні сонцезахисні пристрої;

– при підвищеному відсотку засклення зовнішні сонцезахисні пристрої необхідно передбачати у всіх архітектурно-будівельних кліматичних зонах;

– в одноповерхових будинках сонцезахист дозволяється забезпечувати засобами озеленення.

У приміщеннях будинків та споруд, в яких за технологічними умовами не дозволяється інсоляція, а також приміщення з охолодженням повітря необхідно облаштовувати сонцезахисними пристроями незалежно від орієнтації (за винятком приміщень, орієнтованих на північ).

Геометричні параметри сонцезахисних пристроїв необхідно розраховувати за допомогою

сонячних карт».

Для повноцінного функціонування цих норм та подальшої імплементації директиви 2010/31/ЄС необхідно прийняття низки законів, проекти яких вже подані до Верховної Ради України:

- «Про Фонд енергоефективності»;
- «Про енергоефективність будівель»;
- «Про житлово-комунальні послуги» (2-ге читання);
- «Про комерційний облік» (прийнято у 1-му читанні).

Важливим етапом впровадження [7] у проектну практику буде прийняття в якості обов'язкового єдиного для всіх проектів програмного забезпечення розрахунку енергоефективності будівель, яке розроблено ДП НДІБК, оскільки складність алгоритмів розрахунку за [30] не дозволяє це зробити без застосування комп'ютерних технологій.

Розроблені норми встановлюють мінімальні вимоги енергоефективності щодо попиту на енергію для опалення та охолодження.

Подальший розвиток норм з енергоефективності пов'язаний з розробкою мінімальних вимог енергоефективності для загального енергоспоживання будівель, що буде повністю відповідати Директиві 2010/31/ЄС. Передбачається це зробити протягом найближчих 2-х років.

Наступні можливі напрямки підвищення енергоефективності:

- впровадження обов'язкової примусової припливно-витяжної вентиляції у житлових будинках з рекуперацією тепла, оскільки втрати енергії на нагрів свіжого повітря при однократній заміні повітря за годину (згідно санітарних норм) у

багатоповерхівках досягає 40-45%;

- надання чинності нової редакції ДБН В.2.5-28 «Природне і штучне освітлення», яка вже розроблена, та розроблення відповідного комплексу стандартів, оскільки, по-перше, оптимізація площі світлопрозорих огорожень здатна суттєво зменшити тепловтрати; по-друге, застосування сучасних систем штучного освітлення зменшить витрати електричної енергії;

- розроблення ДСТУ-Н «Проектування та розрахунок систем сонцезахисту світлопрозорих огорожень будівель», оскільки витрати енергії для підтримки комфортної температури у період перегріву на 70-80% пов'язані з надходженням тепла через вікна;

- розроблення нормативних документів з

проектування пасивних будинків, а також будинків з нульовим і додатним балансом енергії.

Висновки

Аналіз історії розроблення будівельних норм свідчить про врахування вимог з енергоефективності будівель ще у перших нормативних документах з будівництва.

Значну увагу питанням енергоефективності будівель та енергозбереженню почали приділяти в Україні після отримання незалежності.

Сучасні національні норми з теплоізоляції будівель та інші норми, пов'язаних з енергоефективністю, в цілому, відповідають вимогам нормативної будівельної бази ЄС, однак є нагальні завдання, які ще треба виконати.

Література

1. Горшков А. С. История, эволюция и развитие нормативных требований к ограждающим конструкциям / А. С. Горшков, В. И. Ливчак // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. – 2015. – № 3 (30). – С. 7-37.

2. Барзилович Д. В. Развитие системы нормативных документов Украины из обеспечения энергозбереження та енергоефективности будівель. / Д. В. Барзилович, Г. Г. Фаренюк // *Будівельні конструкції*. – К. : ДП НДІБК, 2013. – Вып. 77. – С. 3-9.

3. Колесник Є. Концептуальні положення Галузевої програми підвищення енергоефективності у будівництві на 2010-2014 роки / Євген Колесник [Електронний ресурс]. – Режим доступу: Частина 1 – <http://www.patriot-nrg.ua/ukr/savings/view/56>; Частина 2 – <http://www.patriot-nrg.ua/ukr/savings/view/57>; Частина 3 – <http://www.patriot-nrg.ua/ukr/savings/view/58> – назва з екрану.

4. Рошефор Н. И. Иллюстрированное урочное положение. Пособие при составлении и проверке смет, проектировании и исполнении работ. Изд. 6-е исправленное. / Н. И. Рошефор. – Петроград: Склад издания у К.Л. Риккера, 1916. – 694 с.

5. Матросов Ю. А. Энергосбережение в зданиях, проблема и пути решения. / Ю. А. Матросов. – М., НИИСФ, 2008. – 495 с.

6. Нормы строительного проектирования. Часть II : СНиП II-54. – М. : Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1954. – 412 с. – (Будівельні норми СРСР).

7. Теплоізоляція будівель : ДБН В.2-31:2016. – [Чинні від 2017-05-01]. – К. : Мінрегіон України, 2017. – 33 с. – (Державні будівельні норми України).

8. Строительная теплотехника : СНиП II-A.7-62. – М. : Стройиздат, 1964. – 31 с. – (Будівельні норми СРСР).

9. Естественное освещение : СНиП II-A.8-62. – М. : Стройиздат, 1962. – 13 с. – (Будівельні норми СРСР).

10. Жилые здания : СНиП II-Л.1-62. – М. : Стройиздат, 1964. – 19 с. – (Будівельні норми СРСР).

11. Скриль И. Н. Инсоляция жилья. / И. Н. Скриль. – К. : Бідівельник, 1981. – 76 с.

12. Бахарев Д. В. О нормировании и расчёте инсоляции / Д. В. Бахарев, Л. Н. Орлова // *Светотехника*, 2006. – № 1. – С. 18-27.

13. Строительная теплотехника : СНиП II-A.7-71. – М. : Стройиздат, 1973. – 35 с. – (Будівельні норми СРСР).

14. Естественное освещение : СНиП II-A.8-72. – М. : Стройиздат, 1973. – 25 с. – (Будівельні норми СРСР).

15. Жилые здания : СНиП II-Л.1-71. – М. : Стройиздат, 1978. – 33 с. – (Будівельні норми СРСР).

16. Строительная теплотехника : СНиП II-3-79*. – М. : Стройиздат, 1982. – 40 с. – (Будівельні норми СРСР).

17. Естественное и искусственное освещение : СНиП II-4-79. – М. : Стройиздат, 1980. – 51 с. – (Будівельні норми СРСР).

18. Санитарные нормы и правила обеспечения инсоляцией жилых и общественных зданий и территории жилой застройки : СН 2605-82. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://dbn.at.ua/load/normativy/sanpin/sanpin_2605_82/25-1-0-719 – назва з екрану.

19. Жилые здания : СНиП 2.08.01-85. – М. : Стройиздат, 1986. – 17 с. – (Будівельні норми СРСР).

20. Жилые здания : СНиП 2.08.01-89. – М. : Стройиздат, 1989. – 20 с. – (Будівельні норми СРСР).

21. Пособие к СНиП 2.08.01-89 Проектирование жилых зданий. Объемно-планировочные решения / Госстрой СССР. – М. : Стройиздат, 1991. – 103 с.

22. Сергейчук О. В. Архітектурно-будівельна фізика. Теплотехніка огороджуючих конструкцій будинків : навч. Посібник / О. В. Сергейчук. – К. : Такі справи, 1999. – 156 с.
23. Житлові будинки. Основні положення : ДБН В.2.2.-15-2005 / Держбуд України. – [Чинні від 2006-01-01] – К.: Укрархбудінформ, 2005. – 50 с. – (Державні будівельні норми України).
24. Теплова ізоляція будівель : ДБН В.2.6-31:2006 / Мінбуд України. – [Чинні від 2007-04-01]. – К.: Укрархбудінформ, 2006. – 64 с. – (Державні будівельні норми України).
25. Основні вимоги до будівель і споруд. Економія енергії : ДБН В.1.2-11-2008 – [Чинні з 2008-10-01] – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – (Державні будівельні норми України)
26. Теплова ізоляція будівель : Зміна № 1 ДБН В.2.6-31:2006. – [Чинна від 2013-07-01] – К.: Мінрегіон України, 2013. – 11 с. – (Державні будівельні норми України).
27. Природне і штучне освітлення : ДБН В.2.5-28-2006 / Мінбуд України. – [Чинні з 2006-10-01] – К.: Укрархбудінформ, 2006. – 76 с. – (Державні будівельні норми України).
28. Природне і штучне освітлення : Зміна № 2 ДБН В.2.5-28-2006. – [Чинна з 2012-09-01] – К.: Мінрегіон України, 2012. – 32 с. – (Державні будівельні норми України).
29. Опалення, вентиляція та кондиціонування : ДБН В.2.5-67:2013. – [Чинна від 2014-01-01] – К.: Мінрегіон України, 2013. – 141 с. – (Державні будівельні норми України).
30. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції та гарячому водопостачанні : ДСТУ-Н-Б А.2.2-12:2015. – [Чинний з 2016-01-01] – К.: Мінрегіон України, 2015. – 139 с. – (Національний стандарт України).

Стаття надійшла в редколегію 07.04.2017

Рецензент: д.т.н., проф. В.Л. Мартинов, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Сергейчук Олег Васильевич

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры архитектурных конструкций, ORCID: 0000-0003-0226-3923
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НОРМ ПО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ В УКРАИНЕ

Аннотация. В работе рассматривается история развития нормативных требований по энергоэффективности зданий, начиная с конца XIX века до наших дней. Показано как менялись требования к показателям энергоэффективности зданий и трансформировались расчетные формулы. Особое внимание уделено изменениям, которые были введены после получения Украиной независимости. Сделан анализ современного комплекса нормативных документов по энергоэффективности и новой редакции ДБН В.2.6.31: 2016 «Тепловая изоляция зданий». Проведено их сравнение с нормами ЕС. Рассмотрены возможные направления дальнейшего развития и совершенствования норм во взаимосвязи со смежными нормами по строительной физике, такими как нормы по естественной освещенности и инсоляции.

Ключевые слова: теплоизоляция; сопротивление теплопередачи; энергосбережение; энергоэффективность; естественное освещение; инсоляция.

Oleg Sergeychuk

Dr.Sc., Professor, Professor Department of Architectural Constructions, ORCID: 0000-0003-0226-3923
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

THE HISTORY AND DEVELOPMENT PERSPECTIVES OF ENERGY EFFICIENCY BUILDING NORMS IN UKRAINE

Abstract. The aim of this work is to give the insight into the historical development of normative requirements on thermal insulation related to energy efficient buildings, beginning at the end of the nineteenth-century till date. The article shows the modifications to the requirements on the performance of the energy efficient buildings and the transformer calculation formulas. Particular attention has been paid to the modifications came into force after the declaration of independence of Ukraine. Complex of modern normative documents in energy efficiency, including new version DBN V.2.6.31:2016 «Thermal Insulation for Buildings» has been analyzed and compared to the EU standards. It has been reviewed the possibilities for further development and improvement of the norms closely-related to building physics, such as natural lighting and insolation.

Keywords: thermal insulation; values of thermal resistance of building envelope elements; energy saving; energy efficiency; natural lighting; insolation.

УДК 514.18

Скочко Володимир Ігорович

Кандидат технічних наук, доцент, ORCID: 0000-0002-1709-2621

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

АЛГОРИТМ РОЗВАНТАЖЕННЯ ОКРЕМИХ ОПОР СТРИЖНЕВИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ШАРНІРНИМ ВУЗЛОВИМ СПОЛУЧЕННЯМ

Анотація. В роботі описаний математичний алгоритм зміни величини навантаження на досліджуваний опорний вузол, що базується на комплексному перерозподілі внутрішніх зусиль або параметрів жорсткості в усіх стрижнях конструкції. При цьому застосовується той же принцип, що й при управлінні формою конструкції шляхом системного розв'язання параметричних рівнянь кожного стрижня із поправкою на плановані зміни величин компонентів опорної реакції.

Ключові слова: системне розв'язання; стрижневі конструкції; параметричні рівняння стану; формоутворення; дискретна геометрія

Постановка проблеми

Особливості стрижневих конструкцій з шарнірним сполученням усіх в'язей проявляються у простоті та відносній передбачуваності їх роботи у навантаженому стані. За відсутності згинальних моментів кожен стрижень конструкції працює лише на стиск або на розтяг. Це дозволяє досить просто здійснювати процес формоутворення стрижневих конструкцій засобами класичної теоретичної механіки та дискретної геометрії [1, 2, 3]. Якщо прийняти умову, що для кожного стрижня моделі, який сполучає довільні i -й та j -й її вузли, відношення величини внутрішнього зусилля R_{ij} до його довжини δ_{ij} , буде задане сталим:

$$\aleph_{i,j} = R_{i,j} / \delta_{i,j} = \text{const}_{i,j}, \quad (1)$$

то рівняння рівноваги кожного i -го вільного вузла приймуть наступну форму:

$$\sum_{j=1}^n (s_j - s_i) \cdot \aleph_{i,j} + \bar{\mathfrak{T}}_{s_i} = 0, \quad (2)$$

де s – узагальнене позначення координат; $\bar{\mathfrak{T}}_i$ – вектор поля (в найбільш загальному випадку) зовнішніх навантажень у i -му вузлі; n – кількість вузлів конструкції, суміжних із даним (i -м); $\aleph_{i,j}$ – параметр жорсткості стрижня, який сполучає відповідно i -й та j -й вузли. На практиці величини параметрів жорсткості не можуть бути завжди сталими і змінюються в залежності від характеру розподілу та величини вузлових навантажень $\bar{\mathfrak{T}}_i$ в кожному стрижні конструкції індивідуально. Тому рівняння (2) виражає найбільш узагальнену форму такого підходу. Формоутворення моделі здійснюється шляхом

розв'язання системи рівнянь (2), складених для координат усіх вільних вузлів моделі. Маючи координати вузлів конструкції не складно визначити її величини опорних реакцій.

Існує цілий ряд класичних будівельних проблем, що можуть сильно ускладнити або навіть повністю унеможливити розміщення опор стрижневих конструкцій у тому чи іншому проектному місці. Так, наприклад, якщо опори (опорні вузли у складі моделі) конструкції передають навантаження безпосередньо на ґрунтову основу, то у зв'язку з неоднорідними властивостями останньої може виникнути необхідність локально перерозподілити опорні зусилля таким чином, щоб досягти рівномірних деформацій (осадки, просадки, усадки або горизонтальних переміщень) ґрунтового масиву під усіма ділянками споруди. Для вирішення цієї задачі потрібно корегувати конфігурацію форми стрижневої системи або змінювати принцип розподілу експлуатаційних навантажень на її вузли. При цьому змінювати топологічні ознаки системи в більшості випадків не бажано, так як це може вплинути на концептуальну цілісність та візуальне сприйняття конструкції загалом.

Формулювання цілей та завдання публікації

Зважаючи на вище сказане, визначимо математичний алгоритм, що дозволить системно перерозподіляти реактивні зусилля в опорних вузлах, цілеспрямовано розвантажуючи (або довантажуючи) окремі з них шляхом варіювання параметрів жорсткості стрижнів конструкції без зміни топології останньої.

Аналіз основних досліджень

В якості основного інструменту для реалізації поставленої мети використаємо математичний апарат, комплексного корегування форми сітчастих структур, продемонстрований в роботах [4, 5]. Його принцип полягає у наступному. Для системного контролю параметрів жорсткості кожного зі стрижнів необхідно скласти відповідну кількість параметричних рівнянь їх стану. При цьому в якості параметрів кожного зі стрижнів можна прийняти або величини внутрішніх зусиль R_{ij} , або параметри жорсткості стрижнів \aleph_{ij} , які пов'язані залежністю (1). В найбільш загальній та простій формі, адаптованій для будь-яких топологічних особливостей стрижневої системи, параметричні рівняння мають наступний вигляд [6, 7]:

1) для стержня $S_a S_b$ I-го типу, що сполучає два вільних (навантажених) вузли – a -й та b -й:

$$\sum_{i=1}^{m-1} \delta_{a,i}^2 \cdot \aleph_{a,i} + \chi \cdot \delta_{a,b}^2 \cdot \aleph_{a,b} + \sum_{j=1}^{n-1} \delta_{b,j}^2 \cdot \aleph_{b,j} - (\varphi_a + \varphi_b) + B_{a,b} = 0; \quad (3)$$

2) для стержня $S_a S_{fix}$ II-го типу, що сполучає один вільний a -й (навантажений) та один базовий (опорний) fix -й вузли:

$$\sum_{i=1}^{m-1} \delta_{a,i}^2 \cdot \aleph_{a,i} + \chi \cdot \delta_{a,fix}^2 \cdot \aleph_{a,fix} + (R_{x_{fix}} \cdot x_{fix} + R_{y_{fix}} \cdot y_{fix} + R_{z_{fix}} \cdot z_{fix}) - \varphi_a + B_{a,fix} = 0. \quad (4)$$

Тут: δ_{ij} та \aleph_{ij} – довжина в'язі між i -м й j -м вузлами та параметр її жорсткості; $R_{x_{fix}}$, $R_{y_{fix}}$ та $R_{z_{fix}}$ – проекції вектора реакції опори; φ_i – функція скалярного потенціалу векторного поля впливу в i -му вузлі, тобто:

$$\aleph_{s_i} = \partial \varphi_i / \partial s_i; \quad (5)$$

m та n – кількість вузлів суміжних із a -м та b -м (або fix -м) вузлами відповідно; B_{ij} – константа, що є сумарним результатом операцій інтегрування рівнянь типу (1) та заміни діагональних елементів матриці коефіцієнтів системи параметричних рівнянь на відмінні від $2 \cdot \delta_{ij}^2$ (або нульові) елементи типу $\chi \cdot \delta_{ij}^2$; χ – деяке невід'ємне число, що обумовлює швидкість та ймовірність збіжності ітераційного числення.

В матричній формі алгоритм застосування рівнянь (2) – (4) ілюструє циклічний ітераційний процес, що здійснюється шляхом послідовного вирішення наступних тотожностей:

$$[s^p] = [\aleph^{p-1}]^{-1} \cdot (-[g^{p-1}] - [\aleph^p]), \quad (6)$$

$$\{\aleph^p\} = \left[(\delta^p)^2 \right]^{-1} \cdot \left(\{\varphi^{p-1}\} - \{\varphi^p\} + \left[(\delta^p)^2 \right] \cdot \{\aleph^{p-1}\} \right). \quad (7)$$

Тотожність (6) відповідає розв'язку системи рівнянь типу (2), а тотожність (7) – розв'язку системи рівнянь типу (3) і (4). Тут: $[s]$, $[g]$ та $[\aleph]$ – матриці координат, крайових умов та зовнішніх впливів відповідно (розмірністю $k \times 3$); $[\aleph]$ – матриця параметрів жорсткості стрижневої структури (розмірністю $k \times k$), що характеризує топологію останньої; k – кількість вільних вузлів моделі. $\{\aleph\}$ – вектор-стовпець параметрів жорсткості сітчастої структури, який містить параметри жорсткості всіх в'язей моделі; $\{\varphi\}$ та $\{\varphi'\}$ – відповідно вектор-стовпці реальних (поточних) та бажаних показників вузлових скалярних потенціалів; $\{B\}$ – вектор-стовпець операційних констант, які є наслідками побудови параметричних рівнянь стану в'язей моделі; $[\delta^2]$ – матриця геометричних параметрів стрижневої структури (розмірністю $h \times h$); h – кількість стрижнів моделі; p – індекс, що відповідає порядковому номеру циклу корегування моделі. Корегування моделі на кожному етапі ітераційного циклу відбувається шляхом заміни поточних величин вузлових потенціалів на бажані.

Основна частина

Очевидно, що сформульований вище принцип корегування параметрів стрижнів конструкції не може бути використаний для вирішення поставленої задачі, оскільки величини вузлових потенціалів лише опосередковано пов'язані з опорними реакціями. Слід зауважити, що в системі (6) – (7) величини опорних реакцій не фігурують у явній формі, однак це відбувається лише тому, що вони залишаються незмінними до і після підстановки потенціалів, а тому самоскорочуються при кожній ітерації.

Відтак, необхідно ввести корективи до тотожності (7), замінивши цільові функції зі скалярного потенціалу на величини компонентів опорних реакцій.

Сформуємо систему рівнянь (3) – (4) у матричній формі до початку розв'язання. Всі компоненти системи запишемо у розгорнутому вигляді, окремо виділивши елементи, що відносяться до стрижнів I-го та II-го. Вважатимемо, що кількість стрижнів I-го типу становить q . Кількість стрижнів обох типів, як і раніше становитиме h . Сама система матиме вигляд:

$$[\delta^2] \cdot \{S\} - \{\varphi\} + \{B\} = 0. \quad (8)$$

Вектор-стовпець параметрів жорсткості сітчастої структури $\{S\}$ матиме наступний вид:

$$\begin{aligned} \{S\}^T &= [S_{a,b_1} \quad S_{a,b_2} \quad \dots \quad S_{a,b_q} \rightarrow \\ &\rightarrow S_{a,fix_{q+1}} \quad S_{a,fix_{q+2}} \quad \dots \quad S_{a,fix_h}]. \end{aligned} \quad (9)$$

Вектор-стовпець вузлових показників скалярного потенціалу $\{\varphi\}$ матиме такий вигляд:

$$\begin{aligned} \{\varphi\}^T &= [\varphi_{a_1} + \varphi_{b_1} \quad \varphi_{a_2} + \varphi_{b_2} \quad \dots \quad \varphi_{a_q} + \varphi_{b_q} \rightarrow \\ &\rightarrow const_{q+1} \quad const_{q+2} \quad \dots \quad const_h]. \end{aligned} \quad (10)$$

Вектор-стовпець операційних констант $\{B\}$ матиме наступний вид:

$$\begin{aligned} \{B\}^T &= [B_{a,b_1} \quad B_{a,b_2} \quad \dots \quad B_{a,b_q} \rightarrow \\ &\rightarrow B_{a,fix_{q+1}} + (R_{x_{fix}} \cdot x_{fix} + R_{y_{fix}} \cdot y_{fix} + R_{z_{fix}} \cdot z_{fix})_{q+1} \rightarrow \\ &\rightarrow B_{a,fix_{q+2}} + (R_{x_{fix}} \cdot x_{fix} + R_{y_{fix}} \cdot y_{fix} + R_{z_{fix}} \cdot z_{fix})_{q+2} \dots \rightarrow \\ &\rightarrow B_{a,fix_h} + (R_{x_{fix}} \cdot x_{fix} + R_{y_{fix}} \cdot y_{fix} + R_{z_{fix}} \cdot z_{fix})_h]. \end{aligned} \quad (11)$$

Матриця геометричних параметрів стрижневої структури $[\delta^2]$ матиме такий вигляд:

$$[\delta^2] = \begin{bmatrix} T & U \\ V & W \end{bmatrix}, \quad (12)$$

де блоки $[T]$, $[U]$, $[V]$ та $[W]$ матимуть форму:

$$[T] = \begin{bmatrix} \chi \cdot \delta_{a,b_{1,1}}^2 & \delta_{a,b_{1,2}}^2 \vee 0 & \dots & \delta_{a,b_{1,q}}^2 \vee 0 \\ \delta_{a,b_{2,1}}^2 \vee 0 & \chi \cdot \delta_{a,b_{2,2}}^2 & \dots & \delta_{a,b_{2,q}}^2 \vee 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{a,b_{q,1}}^2 \vee 0 & \delta_{a,b_{q,2}}^2 \vee 0 & \dots & \chi \cdot \delta_{a,b_{q,q}}^2 \end{bmatrix}; \quad (13)$$

$$[U] = \begin{bmatrix} \delta_{a,b_{1,q+1}}^2 \vee 0 & \delta_{a,b_{1,q+2}}^2 \vee 0 & \dots & \delta_{a,b_{1,h}}^2 \vee 0 \\ \delta_{a,b_{2,q+1}}^2 \vee 0 & \delta_{a,b_{2,q+2}}^2 \vee 0 & \dots & \delta_{a,b_{2,h}}^2 \vee 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{a,b_{q,q+1}}^2 \vee 0 & \delta_{a,b_{q,q+2}}^2 \vee 0 & \dots & \delta_{a,b_{q,h}}^2 \vee 0 \end{bmatrix}; \quad (14)$$

$$[V] = \begin{bmatrix} \delta_{a,b_{q+1,1}}^2 \vee 0 & \delta_{a,b_{q+1,2}}^2 \vee 0 & \dots & \delta_{a,b_{q+1,q}}^2 \vee 0 \\ \delta_{a,b_{q+2,1}}^2 \vee 0 & \delta_{a,b_{q+2,2}}^2 \vee 0 & \dots & \delta_{a,b_{q+2,q}}^2 \vee 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{a,b_{h,1}}^2 \vee 0 & \delta_{a,b_{h,2}}^2 \vee 0 & \dots & \delta_{a,b_{h,q}}^2 \vee 0 \end{bmatrix}; \quad (15)$$

$$[W] = \begin{bmatrix} \chi \cdot \delta_{a,b_{q+1,q+1}}^2 & \delta_{a,b_{q+1,q+2}}^2 \vee 0 & \dots & \delta_{a,b_{q+1,h}}^2 \vee 0 \\ \delta_{a,b_{q+2,q+1}}^2 \vee 0 & \chi \cdot \delta_{a,b_{q+2,q+2}}^2 & \dots & \delta_{a,b_{q+2,h}}^2 \vee 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{a,b_{h,q+1}}^2 \vee 0 & \delta_{a,b_{h,q+2}}^2 \vee 0 & \dots & \chi \cdot \delta_{a,b_{h,h}}^2 \end{bmatrix}. \quad (16)$$

Тепер, зважаючи на специфіку елементного

складу вектор-стовпця $\{B\}$, розділимо його на дві складові, що включатимуть власне операційні константи (вектор $\{B\}$) та компоненти опорних реакцій (вектор $\{R\}$) відповідно:

$$\begin{aligned} \{S\}^T &= [B_{a,b_1} \quad B_{a,b_2} \quad \dots \quad B_{a,b_q} \rightarrow \\ &\rightarrow B_{a,fix_{q+1}} \quad B_{a,fix_{q+2}} \quad \dots \quad B_{a,fix_h}]. \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \{R\}^T &= [0_1 \quad 0_2 \quad \dots \quad 0_q \rightarrow \\ &\rightarrow (R_{x_{fix}} \cdot x_{fix} + R_{y_{fix}} \cdot y_{fix} + R_{z_{fix}} \cdot z_{fix})_{q+1} \rightarrow \\ &\rightarrow (R_{x_{fix}} \cdot x_{fix} + R_{y_{fix}} \cdot y_{fix} + R_{z_{fix}} \cdot z_{fix})_{q+2} \dots \rightarrow \\ &\rightarrow (R_{x_{fix}} \cdot x_{fix} + R_{y_{fix}} \cdot y_{fix} + R_{z_{fix}} \cdot z_{fix})_h]. \end{aligned} \quad (18)$$

Враховуючи вирази (17) та (18), тотожність (8) можна переписати наступним чином для попереднього кроку ітераційного числення:

$$[(\delta^{p-1})^2] \cdot \{S^{p-1}\} - \{\varphi^{p-1}\} + \{B^{p-1}\} + \{R^{p-1}\} = 0. \quad (19)$$

В роботі [3] було показано, що на кожному етапі ітераційного циклічного числення операційні константи $\{B\}$ залишаються сталими до i після заміни цільових функцій. Відтак, виразимо вектор $\{B\}$ з тотожності (19), враховуючи індекси номеру ітерації:

$$\{B^p\} = \{B^{p-1}\} = \{\varphi^{p-1}\} - [(\delta^{p-1})^2] \cdot \{S^{p-1}\} - \{R^{p-1}\}. \quad (20)$$

Підставимо значення вектора $\{B^{p-1}\}$ до рівності (19), записаної для поточного p -го кроку ітерацій, зважаючи на одночасну заміну цільової функції, якою в нашому випадку буде вектор бажаного значення компонентів опорних реакцій $\{R^{p-1}\}$:

$$\begin{aligned} &[(\delta^p)^2] \cdot \{S^p\} - \{\varphi^p\} + \{\varphi^{p-1}\} - \\ &- [(\delta^{p-1})^2] \cdot \{S^{p-1}\} - \{R^{p-1}\} + \\ &+ (\{R^p\} - \{R^p\} + \{R^{p-1}\}) = 0. \end{aligned} \quad (21)$$

Беручи до уваги те, що розрахункові потенціали, опорні реакції та довжини стрижнів на поточному та попередньому кроках числення не змінюються (тобто: $\{\varphi^p\} = \{\varphi^{p-1}\}$, $\{R^p\} = \{R^{p-1}\}$ і $[(\delta^p)^2] = [(\delta^{p-1})^2]$, так як розрахунок координат, потенціалів і опорних реакцій, а також корекція параметрів жорсткості стрижнів здійснюються в межах одного циклу варіювання), перепишемо останнє рівняння наступним чином:

$$\begin{aligned} &[(\delta^p)^2] \cdot \{S^p\} - [(\delta^{p-1})^2] \cdot \{S^{p-1}\} - \\ &- \{R^{p-1}\} + \{R^{p-1}\} = 0, \text{ або:} \end{aligned} \quad (22)$$

$$\left[(\delta^p)^2 \right] \cdot \{ \mathbb{N}^p \} - \left[(\delta^p)^2 \right] \cdot \{ \mathbb{N}^{p-1} \} - \{ R^p \} + \{ R^{/p} \} = 0. \quad (23)$$

З останньої рівності виразимо поточну величину вектор-стовпця параметрів жорсткості стрижнів конструкції $\{ \mathbb{N}^p \}$:

$$\{ \mathbb{N}^p \} = \left[(\delta^p)^2 \right]^{-1} \cdot \left(\{ R^{/p} \} - \{ R^p \} + \left[(\delta^p)^2 \right] \cdot \{ \mathbb{N}^{p-1} \} \right). \quad (24)$$

Вектор бажаного значення компонентів опорних реакцій $\{ R^{/p} \}$ матиме наступну форму:

$$\begin{aligned} \{ R^{/p} \}^T &= [0_1 \quad 0_2 \quad \dots \quad 0_q \rightarrow \\ &\rightarrow (R_{x_{fix}}^{/p} \cdot x_{fix}^p + R_{y_{fix}}^{/p} \cdot y_{fix}^p + R_{z_{fix}}^{/p} \cdot z_{fix}^p)_{q+1} \rightarrow \\ &\rightarrow (R_{x_{fix}}^{/p} \cdot x_{fix}^p + R_{y_{fix}}^{/p} \cdot y_{fix}^p + R_{z_{fix}}^{/p} \cdot z_{fix}^p)_{q+2} \dots \rightarrow \\ &\rightarrow (R_{x_{fix}}^{/p} \cdot x_{fix}^p + R_{y_{fix}}^{/p} \cdot y_{fix}^p + R_{z_{fix}}^{/p} \cdot z_{fix}^p)_h]. \end{aligned} \quad (25)$$

Тут: $R_{x_{fix}}^{/p}$, $R_{y_{fix}}^{/p}$ та $R_{z_{fix}}^{/p}$ – проекції вектора опорної реакції довільного закріпленого вузла на координатні осі.

У поєднанні з формулою (6) рівність (24) дає змогу вирішити задачу розвантаження опорних вузлів стрижневої конструкції на основі ітераційного числення.

Слід звернути увагу на подібність формул (24) і (7). Їх схожість свідчить про аналогічність концептуального підходу, використаного для

вирішення поставленої задачі, до підходу, запропонованого для комплексного корегування форми стрижневих конструкції шляхом системного перерозподілу параметрів жорсткості їх стрижнів.

Висновки

Запропонований алгоритм перерозподілу опорних навантажень, що передаються стрижневою конструкцією на основу, може бути успішно використаний для вирішення задач будівельної механіки. При цьому абсолютно неважливо чи є досліджувана основа ґрунтовим масивом, чи це несучий остов будівлі, представлений стіновими конструкціями, колонами та пілонами.

Фактично даний алгоритм може стати у нагоді як конструкторам, так і архітекторам, які в разі виникнення перевантажень тих чи інших несучих елементів можуть використовувати запропонований підхід не лише вирішуючи посталу проблему, а й зберігаючи основні закономірності логічної роботи конструкції. Остання в свою чергу працюватиме коректно, так як в основі підходу лежить принцип її статичного формоутворення.

Література

1. Рабинович И. М. Курс строительной механики стержневых систем. Часть 2. Статически неопределимые системы. Издание 2-е. перераб. / И. М. Рабинович. – М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1954. – 548 с., ил.
2. Михайленко В.Е. Инженерная геометрия с элементами теории параметризации: Учебное пособие / В. Е. Михайленко, С. Н. Ковалев, Н. И. Седлецкая, В. А. Анпилогова. – К.: УМК ВО, 1989. – 84 с.
3. Прикладна геометрія та інженерна графіка. Спеціальні розділи. Випуск 1 / С. М. Ковальов, М. С. Ігумен, С. И. Пустульга, В. Є. Михайленко та ін.; за ред. В. Є. Михайленка. – Луцьк: Редакційно-видавничий відділ ЛДТУ, 2006. – 256 с.
4. Kulikov P., 2014. The Principles of Discrete Modeling of Rod Constructions of Architectural Objects / P. Kulikov, O. Ploskiy, V. Skochko // Lublin-Rzeszow, Motrol: Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, Polish Academy of Sciences, vol. 16 (8), 3-10.
5. Плоский В. О. Алгоритм управління параметрами в'язей сітчастих структур, на основі корегування величин скалярного потенціалу зовнішніх впливів / В. О. Плоский, В. І. Скочко // Енергозбереження в будівництві та архітектурі. – К.: КНУБА, 2014. – Вип. 5. – с 224-230.
6. Скочко В. І. Рівняння параметрів стану та положення в'язей сітчастих структур / В. І. Скочко, Л. О. Скочко // Основи і фундаменти. – К.: КНУБА, 2014. – Вип. 34. – с 47-57.
7. Скочко В. І. Рівняння параметрів стану та положення в'язі, що сполучає вільний та закріплений вузли сітчастої структури / В. І. Скочко // Містобудування та територіальне планування. – К.: КНУБА, 2014. – Вип. 51. – с 521-527.
8. Skochko V., 2015. Morphogenesis and correction of planar rod constructions with a small amount of free nodes / V. Skochko // Lublin-Rzeszow, Motrol: Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, Polish Academy of Sciences, vol. 17 (8), 35-42.

9. Schutz B. F. *Geometrical methods of mathematical physics* / Bernard F. Schutz. – Cambridge – London – New York – New Rochelle – Melborn – Sydney: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 1979. – 303 p.

10. Palis J. *Geometric Theory of Dynamical Systems. An Introduction* / Jacobs Palis, Jr, Welington De Melo. – New York – Heidelberg – Berlin: Springer-Verlag, 1982. – 301 p.

11. Preparata F. P. *Computational geometry: an introduction* / Franco P. Preparata, Michael Ian Shamos. – New York: by Springer-Verlag New York Inc., 1985. – 478 p.

12. Blackwell W. *Geometry in Architecture*. / W. Blackwell. – New York: Ed. John Wiley, 1984.

Стаття надійшла в редакцію 04.12.2015

Рецензент: д.т.н., проф. В.О. Плоский, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Скочко Владимир Игоревич

Кандидат технических наук, доцент, ORCID: 0000-0002-1709-2621

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

АЛГОРИТМ РАЗГРУЗКИ ОТДЕЛЬНЫХ ОПОР СТЕРЖНЕВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ШАРНИРНЫМ УЗЛОВЫМ СОЕДИНЕНИЕМ

Аннотация. В работе описан математический алгоритм изменения величины нагрузки на исследуемый опорный узел, основывающийся на комплексном перераспределении внутренних усилий или параметров жёсткости во всех стержнях конструкции. При этом используется тот же принцип, что и при управлении формой конструкции путём системного решения параметрических уравнений каждого стержня с поправкой на планируемые изменения величин компонентов опорных реакций.

Ключевые слова: системное решение; стержневые конструкции; параметрические уравнения состояния; формообразование; дискретная геометрия

Skochko Volodymyr

Doctor of Philosophy, Associate Professor, ORCID: 0000-0002-1709-2621

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kiev

THE ALGORITHM OF DISCHARGING OF CERTAIN SUPPORTS OF ROD BUILDING CONSTRUCTIONS WITH HINGED HUB CONNECTIONS

Abstract. This article describes a mathematical algorithm of changing of the load on certain fixed node, based on a complex redistribution of internal forces or stiffness parameters in all rods construction. This applies the same principle as in the form regulation of construction by system solving of parametric equations of each rod adjusted for planned changes of the supporting reaction components.

Keywords: system solution; rod structures; parametric equations of state; morphogenesis; discrete geometry

УДК 624.154

Скочко Людмила Олегівна*Асистент кафедри Основ та фундаментів, ORCID 0000-0001-7392-814X,
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ***ОСОБЛИВОСТІ ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ БАГАТОЯРУСНИХ ПІДПІРНИХ СТІН З ВРАХУВАННЯМ ЗМІНИ КОНФІГУРАЦІЇ ЇХ ОКРЕМИХ ЯРУСІВ**

***Анотація.** Проектування багатоярусних підірних стін дозволяє розробляти глибокі котловани тому вибір кількості ярусів, їх положення та конфігурація є важливими при проектуванні таких конструкцій. Вибір конфігурації ярусів підірних стін варто приймати на основі результатів числового моделювання. Для вибору моделі ґрунту, що використана в розрахунках комплексу підірних стін використовувались наступні моделі: модель Мізеса-Губера, що основана на дилатансійній теорії; модель зі змінними деформативними характеристиками та ідеальна пружно-пластична модель Кулона-Мора. В роботі також наведені результати натурних випробувань пари паль на горизонтальне навантаження.*

***Ключові слова:** числове моделювання; пружно-пластична модель; багатоярусні підірні стіни; натурні випробування*

Вступ

У великих містах все складніше знайти ділянки під забудову, особливо у середмісті. Тому дуже актуальним є проектування утримуючих конструкцій, що можуть тримати великі перепади ґрунту, так як в наш час дуже активно забудовуються ділянки зі схилами. Але додаткове планування схилів є дуже затратною частиною будівництва, тому важливим питанням є не тільки розробити комплекс протизсувних заходів і зробити його надійним, але і знайти найбільш раціональне рішення. Одним з таких рішень – є використання багатоярусних підірних стін.

В даній роботі досліджено декілька задач, які є важливими при проектуванні підірних стін. Одним з найбільш важливих факторів при чисельному моделюванні взаємодії утримуючих конструкцій з ґрунтовим масивом – є вибір моделі ґрунту. Також в роботі досліджено вплив положення ярусів підірних стін на їх горизонтальні переміщення, та врахування впливу додаткових жорсткостей підірних стін з площини при чисельному моделюванні.

Вибір моделі ґрунтового середовища

Натурні випробування паль на горизонтальні навантаження були виконані на одному з будівельних майданчиків Києва. Результати цих випробувань були використані для вибору моделі

ґрунтового середовища при проектуванні багатоярусної підірної стіни. Для порівняння оцінки взаємодії утримуючих конструкцій з ґрунтовим було обрано 3 моделі ґрунту.

Модель Мізеса-Губера, модифікована професором І. П. Бойко – це модель фізично нелінійного пружно-пластичного ґрунтового середовища, що базується на дилатансійній теорії професора В. М. Ніколаєвського [1].

В якості умови пластичної течії f використовується модифікований критерій Мізеса-Губера, [2], для збільшення збіжності результатів моделювання із експериментальними даними у широкому діапазоні навантажень.

Граничний стан настає по досягненню умови $f=0$, де f приймає вигляд:

$$f = \begin{cases} T + \sigma_m \operatorname{tg} \psi - \tau_s = 0, & \text{при } \sigma_m \geq P_0 \\ T + \sigma_m \operatorname{tg} \psi - \tau_s = 0, & \text{при } \sigma_m < P_0 \end{cases} \quad (1)$$

де T – інтенсивність дотичних напружень, σ_m – гідростатичний тиск, ψ – кут на октаедричній площадці, τ_s – граничне значення інтенсивності дотичних напружень при відсутності гідростатичного тиску, P_0 – рівень гідростатичного тиску, що визначає перехід від конічної поверхні до циліндричної. За неасоційованим законом пластичної течії $F \neq f$, де f – функція, що визначає умову пластичності ($f=0$).

Для розв'язку задач нелінійного деформування

грунту використовується дилатансійна умова проф. В.М. Ніколаєвського [1]:

$$d\varepsilon^p = A(\chi, \sigma_m) d\gamma^p, \quad (2)$$

де $d\varepsilon^p$ – приріст об'ємної пластичної деформації, A – коефіцієнт дилатансії, χ – параметр зміцнення, $d\gamma^p$ – приріст інтенсивності пластичних деформацій зсуву.

Наступна модель ґрунту – модель Кулона-Мора, яка складається з двох компонент: закону Гука та умови міцності Кулона-Мора. Закон Гука – це лінійна залежність між пружними деформаціями та напруженнями $\sigma = \varepsilon \times E$. Закон міцності Кулона-Мора має наступний вигляд:

$$\tau = C + \sigma g \varphi, \quad (3)$$

де C – питоме щеплення, параметр, що відповідає міцності ґрунту при нульовому значенні нормальних напружень на площадці зсуву, σ – ефективне нормальне напруження, на площадці зрізу, φ – кут внутрішнього тертя.

Дана модель враховує пружну роботу ґрунту при малих деформаціях, і низьку жорсткість матеріалу та пружне розвантаження. Також особливістю цієї моделі є те, що поверхня текучості є постійною в просторі. Для даної моделі модуль деформації та коефіцієнт Пуассона – постійні. Часто саме модель Кулона-Мора використовується для розрахунку стійкості схилів, утримуючих конструкцій підірних стін. Чисельне моделювання підірних стін повинно включати в себе історію навантаження. Повний приріст деформацій складається з пружних і пластичних і в диференційній формі виглядає наступним чином:

$$d\varepsilon_{ij} = d\varepsilon_{ij}^e + d\varepsilon_{ij}^p \quad (4)$$

Функція текучості f задається рівнянням.

$$f = (\sigma'_1 - \sigma'_3) - (\sigma'_1 + \sigma'_3) \sin \varphi' - 2c' \cdot \cos \varphi' \quad (5)$$

Потенціал пластичності g задається рівнянням:

$$g = (\sigma'_1 - \sigma'_3) - (\sigma'_1 + \sigma'_3) \sin \psi \quad (6)$$

Поверхня текучості одночасно розглядається як потенційна поверхня ($g = f$), тобто діє асоційований закон течії.

Остання з розглянутих моделей – це пружно-пластична модель зі змінними деформативними характеристиками, яка включає в себе в якості поверхні руйнування – визначення Кулона-Мора, для опису пружної області напружено-деформованого стану – гіперболічне визначення Duncan-Chang зі змінними модулями деформації для траєкторії первинного навантаження і траєкторії розвантаження – повторного навантаження. На відміну від моделі Кулона-Мора в даній моделі ґрунту поверхня текучості не є постійною в просторі

головних напружень і може розширюватись за рахунок пластичних деформацій. Ця модель моделює і поведінку ґрунту при розробці глибоких котлованів. Для опису нелінійної пружної області використовується гіперболічне співвідношення між напруженнями та деформаціями при дренажних трьох вісних випробуваннях, яке було запропоноване R.L. Kondner та J.S. Zelasko у 1963 р., і доповнене J.M. Duncan та

C.-Y. Chang у 1970 р. [3]. Твірна поверхня текучості описується наступним чином:

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{2E_{50}} \cdot \frac{q}{1 - q/q_a} \quad \text{для } q < q_f \quad (7)$$

Де q_a асимптотичне девіаторне напруження від деформацій зсуву, яке зв'язано з максимальним девіаторним напруженням q_f рівнянням $q_a = q_f/R_f$ де, R_f змінюється в межах 0,75...1.

$$q_f = (c' \cdot \operatorname{ctg} \varphi' + \sigma'_3) \frac{2 \sin \varphi'}{1 - \sin \varphi'} \quad (8)$$

Функція текучості для девіаторного навантаження f описує пластичні деформації зсуву і задається рівнянням.

Під час деформування функція текучості змінюється двояко:

$$f = \bar{f} - \gamma^p \quad (9)$$

де \bar{f} функція, що залежить від напружень, а γ^p функція, що залежить від пластичних деформацій:

$$\bar{f} = \frac{1}{E_{50}} \cdot \frac{q}{1 - q/q_a} - \frac{2q}{E_{ur}}, \quad (10)$$

$$\gamma^p = -(2\varepsilon_1^p - 2\varepsilon_v^p) \approx -2\varepsilon_1^p$$

Потенціал пластичності g при девіаторному навантаженні задається рівнянням (6), де ψ мобілізований кут дилатансії.

Всі описані моделі ґрунту були використанні при числовому моделюванні натурального випробування пари паль на горизонтальне навантаження.

Чисельне моделювання взаємодії цих паль з ґрунтовим масивом проводилось в об'ємній постановці. Розв'язання задачі в такій постановці дозволяє врахувати не тільки жорсткість паль на стиск та згин, а і вплив бічної поверхні та підшви паль на напружено – деформований стан системи «ґрунтовий масив – утримуюча конструкція».

На експериментальному майданчику, випробування проводились для наступної конструкції: були влаштовані 2 буронабивні палі діаметром 1020 мм і довжиною 19 м, палі розташовані на відстані 3 м одна від одної і об'єднані монолітним ростверком висотою 2 м, з'єднання між палями і ростверком – жорстке.

Скінчено-елементна модель проведення випробувань наведена на рисунку 1. Кулона-Мора.

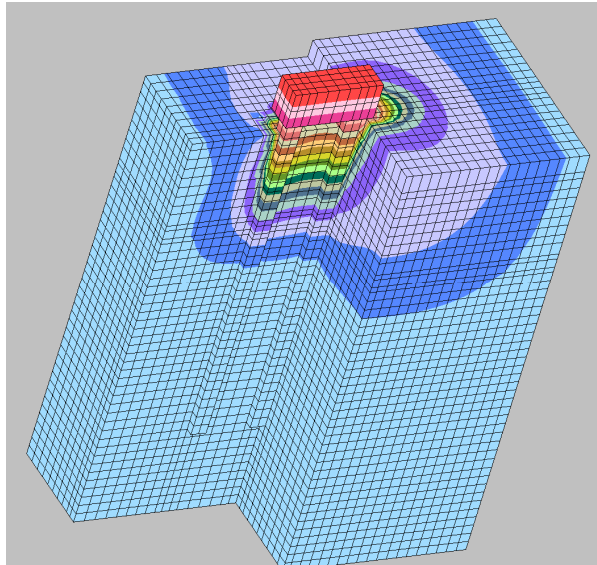


Рисунок 1 – Скінчено-елементна модель випробування пари паль на горизонтальне навантаження

На рисунку також показані ізополя горизонтальних переміщень на останньому етапі навантажень.

Результати чисельного моделювання у вигляді графіків наведені на рисунку 2.

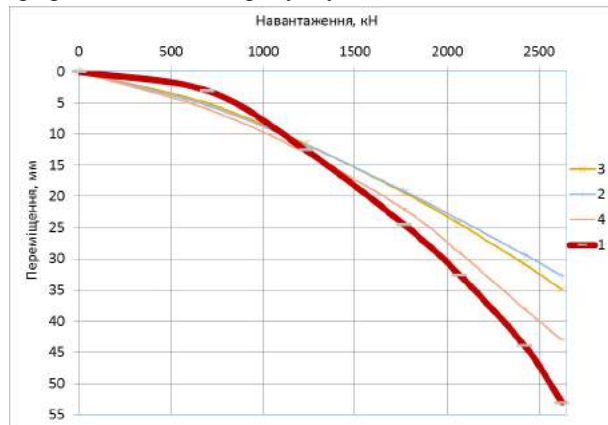


Рисунок 2 - Результати натурального випробування паль на горизонтальне навантаження: 1 – результати натурних випробувань, 2 – модель Кулона-Мора, 3 – пружно-пластична модель зі змінними деформативними параметрами, 4 – модифікована модель, Мізеса-Губера,

За графіками видно, що при невеликих навантаженнях кожна з вибраних моделей ґрунту переоцінює переміщення і працюють майже однаково, але при збільшенні навантажень збільшується і похибка розрахунків. Для моделі Кулона-Мора на останньому етапі навантажень похибка складає майже 60%, пружно-пластична модель зі змінними деформативними характеристиками – дає похибку 54% і за характером деформування наближується до моделі

Мізеса-Губера показала досить високу збіжність результатів (до 30%) навіть на останніх етапах навантажень. В межах навантажень від 0 до 1700 кН всі запропоновані моделі дають високу збіжність результатів і похибка не перевищує 18%.

Найбільш близьким до результатів натурних випробувань, є графік залежності між навантаженням і переміщеннями отриманий при використанні моделі нелінійного деформування Мізеса-Губера.

Дослідження впливу конструктивних особливостей ярусів підпірних стін на напружено-деформований стан системи «підпірні стіни - ґрунтове середовище»

Дослідження проводились при розробці реального проекту комплексу підпірних стін у Києві. Необхідно було запроектувати підпірну стіну, яка б тримала схил висотою майже 27 м. Для забезпечення надійної і ефективної роботи утримуючих конструкцій була прийнята комбінована схема, а саме комплекс підпірних стін, що включає в себе 3 яруси.

Верхній ярус підпірних стін виконаний з буронабивних паль діаметром 420мм довжиною 16 м, крок паль в ряду 600мм (ПС-0). Середній ярус – це два ряди паль діаметром 620мм довжиною 20 та 24м з кроком паль 1000мм (ПС-1). Відстань між рядами паль складає 1000мм. Нижній ярус - це підпірна стіна з двох рядів буронабивних паль діаметром 620мм довжиною 16 м (ПС-2).

В конструкціях двох нижніх ярусів підпірних стін передбачені контрфорси, які збільшують жорсткість підпірних стін з площини. Контрфорсні палі розташовані зі сторони ґрунту, що ймовірно зменшує їх вплив на зменшення горизонтальних переміщень. Для врахування впливу контрфорсних паль на взаємодію між ґрунтовим масивом та утримуючими конструкціями розв'язано дві задачі. Задачі були розв'язані в плоскій постановці

Постановка задачі враховує конструктивну нелінійність, тобто враховані всі етапи зведення підпірних стін та технологічна послідовність будівництва, таким чином розрахунок проводився за 16 етапів.

За результатами розрахунку двох варіантів підпірних стін було отримано, що встановлення додаткових контрфорсних паль зменшує горизонтальні переміщення підпірних стін: переміщення ПС-2 зменшились на 23%, ПС-1 – на 21%, а ПС-0 на 7%. Тобто, встановлення додаткових контрфорсних паль зменшує горизонтальні переміщення не тільки тих підпірних стін, в яких вони встановлені, а і загальні переміщення всього

грунтового масиву.

Таблиця 1

Етапи розрахунку

1	Власна вага ґрунту
2	Влаштування підпірної стіни ПС-0
3	Розробка ґрунту на 2.5 м
4	Розробка ґрунту на 2.5 м
5	Планування схилу на 2 м
6	Планування схилу на 2 м
7	Планування схилу на 2.5 м
8	Планування схилу на 2.5 м
9	Влаштування підпірної стіни ПС-1
10	Розробка ґрунту на 2.5 м
11	Розробка ґрунту на 2.5 м
12	Розробка ґрунту на 2 м
13	Влаштування підпірної стіни ПС-2
14	Розробка ґрунту на 2 м
15	Розробка ґрунту на 2 м
16	Розробка ґрунту на 1.5 м

Висновки

Встановлено, що порівняння даних числового моделювання з результатами випробування пари паль на горизонтальне навантаження показало збіжність результатів межах навантажень до 1700 кН. Модифікована модель Мізеса-Губера показала збіжність результатів на останньому етапі навантажень близько 30%, що в 2 рази менше ніж похибка, при використанні інших моделей.

Показано, що у випадку встановлення додаткових контрфорсних паль в нижніх підпірних стінах зменшуються відповідні горизонтальні переміщення: для ПС-2 на 23%, ПС-1 – на 21% та ПС-0 на 7%.

Література

1. Николаевский В. Н. *Современные проблемы механики грунтов* / В. Н. Николаевский // *Определяющие законы механики грунтов*. – М. : Стройиздат, 1975. – с. 210–227.
2. Boyko I. P. *Finite element simulation of the loss of stable resistance in a foundation-soil system*/ I. P. Boyko, V. S. Boyandin, A. E. Delnik, A. L. Kozak., A. S. Sakharov // *Archive of Applied Mechanics* - 1992. - issue. 62. – 315-328
3. Duncan J.M. *Nonlinear analysis of stress and strain in soils* / J.M. Duncan., C.-Y. Chang. // *ASCE Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 1970. - № 96 (SM5). - pp. 1629-1653.
4. *Определение параметров для численного моделирования поведения грунтов*/ Л.А. Строчкова // *Вестник Томского государственного университета – Томск, ТПУ, 2008г. - Вып 1 том 313. – с.47-57*
5. Бойко И.П. *Свайные фундаменты на нелинейно-деформируемом основании: дис. доктора тех. наук: 05:23:02* / Бойко Игорь Петрович. – К., 1988. – 372 с.
6. Скочко В. І. *Рівняння параметрів стану та положення в'язей сітчастих структур* / В. І. Скочко, Л. О. Скочко // *Основи і фундаменти*. – К. КНУБА, 2014. – Вип. 34. – с 47–57.
7. Drucker D. *Soil mechanics and plastic analysis or limit design*/ D. Drucker, W. Prager// *Quarterly Applied Mathematics*, 1952 – issue 2 – pp.157–165.
8. Vermeer P. *Non-associated plasticity for soils, concrete and rock*/ P. Vermeer, R. de Borst// *Heron - Delft University of Technology*, 1984 – issue 29 (3)
9. Sakharov V. *Interaction study of the frame building with foundation weakening by the underground mines under the seismic load*/ V. Sakharov, V. Zhuk., L. Skochko // *Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture – 2014 – issue 16. - pp. 37-44*

Стаття надійшла в редколегію 18.04.2014

Рецензент: д.т.н., проф. І. П. Бойко, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Скочко Людмила Олеговна

Ассистент кафедри Оснований і фундаментів, ORCID 0000-0001-7392-814X,
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ОСОБЕННОСТИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МНОГОЯРУСНЫХ ПОДПОРНЫХ СТЕН С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ КОНФИГУРАЦИИ ИХ ОТДЕЛЬНЫХ ЯРУСОВ

Аннотация. Проектирование многоярусных подпорных стен позволяет разрабатывать глубокие котлованы, поэтому выбор количества рядов, их положения и конфигурации являются важными задачами при проектировании

подобных конструкций Выбор конфигурации ярусов подпорных стен необходимо принимать на основании результатов численного моделирования. Для выбора модели грунта, которая использована в расчетах комплекса подпорных стен выбраны следующие модели: модель Мизеса-Губера, основанная на дилатансионной теории, модель со сменными деформативными характеристиками и идеальная упруго - пластическая модель Кулона-Мора. В работе, также, приведены результаты натурных испытаний пары свай на горизонтальную нагрузку.

Ключевые слова: *численное моделирование; упруго - пластическая модель; многоярусные подпорные стены; натурные испытания*

Skochko Liudmyla

Assistant of Bases and foundations department, ORCID 0000-0001-7392-814X,

Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kiev

FEATURES OF NUMERICAL MODELING OF STRESS-STRAIN STATE OF MULT-ILEVEL RETAINING WALLS TAKING INTO ACCOUNT CONFIGURATION CHANGES OF THEIR LEVELS

Abstract. *Designing multi-tiered retaining walls allows to develop deep pits. The choice of the number of levels of retaining walls, their position and configuration are important tasks in the design of such structures. The choice of the configuration of tiers of retaining walls should be taken on the basis of the results of numerical modeling. The problems were solved using the following soil models: based on the dilatation theory; soil model with interchangeable stiffness parameters; and elastic-plastic models of Coulomb-Mohr. A comparing the data of numerical simulations and results of in-situ lateral tests of couple piles are presented*

Keywords: *numerical modeling; elastic-plastic model; multi-level retaining wall; in-situ lateral tests*

УДК 697.347

Тарадай Александр Михайлович

*Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и использования тепловых вторичных энергоресурсов, ORCID: 0000-0002-4239-9895
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков*

Ланцберг Натан Гейнахович

*Кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и использования тепловых вторичных энергоресурсов, ORCID: 0000-0001-5484-0345
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков*

Бугай Владимир Сергеевич

*Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и использования тепловых вторичных энергоресурсов, ORCID: 0000-0001-5166-7110
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков*

Фомич Сергей Владимирович

*Аспирант кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и использования тепловых вторичных энергоресурсов, ORCID: 0000-0001-5567-3673
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОДХОДА К ОПЛАТЕ ЗА УСЛУГИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ТЕРМОМОДЕРНИЗАЦИИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

***Аннотация.** В условиях дефицита государственного финансирования для принятия мер по улучшению тепловой защиты существующего жилого фонда, жильцы вынуждены самостоятельно утеплять собственные квартиры, дома. При этом сокращение тепловых потерь, преимущественно, не отражается на стоимости услуг теплоснабжения, особенно при оплате по тарифу за один квадратный метр отапливаемой площади. В работе предложена методика определения коэффициентов экономии тепла, которые можно учитывать в начислениях за услуги теплоснабжения потребителям, осуществившим мероприятия по утеплению собственных квартир. Данный подход может послужить стимулом к ускорению комплексной теплоизоляции домов, а не только отдельных квартир, а также обеспечить при этом экономию на всех уровнях – от государства, теплоснабжающих предприятий, до потребителя.*

***Ключевые слова:** термомодернизация; отопление; коэффициент экономии тепла; теплопотребление*

Постановка проблемы

Хорошо известно, что практически все многоэтажные здания второй половины двадцатого века требуют реновации, особенно в части повышения их энергоэффективности. Потребление тепла этими жилыми зданиями в 2-3 раза превышает показатели аналогов за рубежом.

Очевидно, что потребитель тепла, соответственно, платит в 2-3 раза больше за тепловую энергию только потому, что дом, в котором он живет, не утеплен.

Как утеплять жилые дома, какие материалы и конструкции применять, ряд других вопросов, возникающих в процессе реновации, – известны и

хорошо изучены. Ответы на эти вопросы четко сформулированы в научных и нормативных изданиях [1–3], практических инструкциях.

Нет ответа только на один главный вопрос: кто и как будет оплачивать работы по утеплению зданий, если утепление одной трехкомнатной квартиры оценивается от 40 до 100 тыс. грн? В ближайшем будущем государство не сможет обеспечить достаточное финансирование термомодернизации жилого фонда. Значит, большую часть средств должен изыскать владелец квартиры. Местный или государственный бюджет сможет, скорее всего, только профинансировать утепление мест общего пользования, а также обеспечить льготное кредитование владельцев

квартир. Сегодня уже имеется пример такого решения – «теплые кредиты» [4].

Можно считать решенным вопрос общедомового учета тепла. В большинстве городов теплосчетчики установлены в более чем половине жилых домов, а темпы роста их установки внушают уверенность, что в ближайшие 3-5 лет общедомовые счетчики будут во всех зданиях. Однако жильцы не спешат улучшать теплозащиту домов, оборудованных теплосчетчиками. Такая же ситуация и с домами без теплосчетчиков.

Действительно, глядя практически на любой дом, мы видим немного утепленных квартир. Достаточно много заменено окон и дверей. Однако этот процесс идет очень медленно и без установки прибора учета тепла в каждой квартире.

Установка прибора учета тепла в каждой квартире требует переделки всей системы отопления здания: с вертикальной на поквартирную горизонтальную разводку. Решение этого вопроса организационно, технически и экономически представляется еще более сложным, чем наружное утепление зданий.

Как же выйти из создавшегося замкнутого круга? Как заинтересовать владельцев квартир вкладывать средства на утепление уже сегодня, а не ожидать «светлого будущего» завтра?

Обязательно в сложившейся ситуации следует подчеркнуть, что государство и местные советы заинтересованы в утеплении каждой квартиры, так как снижение потребления тепла каждым приведет к снижению выработки тепла на источниках и, следовательно, к уменьшению расхода топлива. Нужен стимул или система стимулов в этой архиважной работе государственного значения.

Зададимся вопросом: что и когда выигрывает владелец квартиры, если он сегодня за свой счет производит утепление? Ответ: сегодня ничего в финансовом плане. В квартире станет теплее, показания по расходу тепла общедомовым счетчиком снизятся.

Во многом, эффективность энергосбережения зависит от действующей нормативной базы. На сегодняшний день она такова, что какие бы мероприятия по утеплению не предпринял хозяин квартиры в многоквартирном доме, экономически он не получит никакого результата, так как расчет за тепло идет по общедомовому счетчику тепла, а в случае его отсутствия – по тарифам. Многие жители меняют окна в своих квартирах, утепляют стены снаружи, но на величину оплаты за услуги теплоснабжения это никак не влияет. Они платят столько же, сколько их неутепленные соседи, хотя своими действиями по утеплению эти люди

экономят в масштабах всего дома определенное количество тепла. Предлагается ввести для таких владельцев квартир понижающие коэффициенты на оплату тепла. При таком решении владельцы квартир будут заинтересованы улучшать теплозащиту квартир, домов. Например, Восточная Европа – бывшая ГДР, Польша, Чехия – применяли аналогичные подходы, когда начинали утеплять жилые дома [5, 6].

Математическое обоснование предложенного решения приводится далее.

Анализ основных исследований и публикаций

Сегодня тарифная политика в теплоснабжении в полной мере не устраивает ни производителей тепловой энергии, ни потребителей.

В работе [7] авторами анализируются проблемы формирования тарифной политики предприятий теплоснабжения, где все предложения по совершенствованию подразделяются условно на предложения по управлению формированием тарифа и предложения по требованию к структуре и уровню тарифа. В работе [8] рассмотрены и обобщены мотивационные аспекты формирования тарифов на услуги теплоснабжения в Украине. В работе [9] автором указывается на необходимость замены расходных методов тарифного регулирования на стимулирующие методы.

В этих работах и в работах других ученых, нормативных документах [10] отсутствует ответ на поставленный вопрос: как учитывать теплотребление утепленными и неутепленными квартирами без индивидуальных теплосчетчиков в начислениях за услуги теплоснабжения. Если не применять приборный способ учета теплотребления в каждой квартире, то возможно ли это выполнить расчетным способом.

Формулирование цели статьи

Целью работы является разработка методики определения коэффициентов, учитывающих снижение тепловых потерь утепленными квартирами, которые можно применять в начислениях за услуги теплоснабжения, и ее обоснование.

Основная часть

Рассматривается дом с количеством квартир n , оборудованный прибором учета общего количества потребляемой тепловой энергии, обозначаемого в дальнейшем Q , кВт·час.

Предполагается, что расход тепла на отопление

квартиры пропорционален ее отапливаемой площади F . Для неутепленной квартиры расход тепла за месяц примем равным

$$Q_n = 0,72qF, \quad (1)$$

где q – тепловой поток, расходуемый на отопление 1 м^2 неутепленной квартиры и приведенный к единому значению температурного напора, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Если владелец квартиры осуществил мероприятия по утеплению квартиры, то затраты тепла на ее обогрев снизятся до величины

$$Q_y = kQ_n, \quad (2)$$

где k – понижающий коэффициент (экономии тепла), $k < 1$.

Очевидно, приведенная выше постановка предполагает следующие допущения:

1) величина q и коэффициент k не зависят от типа и расположения квартиры (планировка, этаж и т.д.);

2) места общего пользования не утепляются.

Пусть в доме имеется m стандартно утепленных квартир с отапливаемыми площадями F_1, \dots, F_m и $n-m$ неутепленных квартир с площадями F_{m+1}, \dots, F_n . Тогда месячное теплотребление дома будет равно

$$Q_o + q_1(kS_m + S_{n-m}) = Q, \quad (3)$$

где Q_o – теплотребление на отопление мест общего пользования, $\text{кВт}\cdot\text{час}$; $q_1 = 0,72q$; $S_m = F_1 + \dots + F_m$, $S_{n-m} = F_{m+1} + \dots + F_n$.

В уравнении (3) три неизвестных величины: q , k и Q_o . Поэтому для их определения необходимы три измерения Q при разных количествах утепленных квартир: $m_1 < m_2 < m_3$.

Тогда имеем соответствующую систему уравнений:

$$\begin{cases} Q_o + q_1(kS_{m_1} + S_{n-m_1}) = Q_1 \\ Q_o + q_1(kS_{m_2} + S_{n-m_2}) = Q_2 \\ Q_o + q_1(kS_{m_3} + S_{n-m_3}) = Q_3 \end{cases} \quad (4)$$

Q_o можно исключить, вычитая из второго и третьего уравнений первое. В результате получим

$$\begin{cases} q_1 S_{m_1+1, m_2} (k-1) = Q_2 - Q_1 \\ q_1 S_{m_1+1, m_3} (k-1) = Q_3 - Q_1 \end{cases}, \quad (5)$$

где $S_{m_1+1, m_2} = F_{m_1+1} + \dots + F_{m_2}$, $S_{m_1+1, m_3} = F_{m_1+1} + \dots + F_{m_3}$.

Из последних формул следует, что значения q_1 и k , а, следовательно, и Q_o невозможно определить раздельно. Определяется лишь

$$\begin{aligned} q_1(k-1) &= (Q_2 - Q_1) / S_{m_1+1, m_2} \\ &= (Q_3 - Q_1) / S_{m_1+1, m_3}. \end{aligned} \quad (6)$$

Однако, если задать q , а следовательно, и q_1 , то значения k и Q_o легко определить. Для этого достаточно двух измерений с разным количеством утепленных квартир. Тогда получим

$$\begin{aligned} k &= 1 + (Q_2 - Q_1) / (q_1 S_{m_1+1, m_2}) = \\ &= 1 + (Q_2 - Q_1) / (0,72q S_{m_1+1, m_2}), \end{aligned} \quad (7)$$

$$Q_o = Q_1 - 0,72q(kS_{m_1} + S_{n-m_1}). \quad (8)$$

Очевидным недостатком такого расчета является произвол в выборе величины q . Однако, как показывают расчеты, изменение q влияет, главным образом, на оценку Q_o , а на оценку k – незначительно. Кроме того, возможное значение q можно оценить из следующих соображений.

Предположим, все квартиры дома имеют одинаковую площадь F . Тогда месячное теплотребление дома для двух измерений с разным количеством квартир (m_1 и m_2) будет равно

$$\begin{cases} Q_o + kQ_F m_1 + Q_F(n - m_1) = Q_1 \\ Q_o + kQ_F m_2 + Q_F(n - m_2) = Q_2 \end{cases}, \quad (9)$$

где $Q_F = q_1 F = 0,72qF$.

Вычитая в (9) из первого уравнения второе, получим

$$Q_1 - Q_2 = Q_F(m_2 - m_1)(1 - k), \quad (10)$$

откуда следует, что

$$Q_F = (Q_1 - Q_2) / [(m_2 - m_1)(1 - k)] \quad (11)$$

или

$$q = (Q_1 - Q_2) / [0,72F(m_2 - m_1)(1 - k)]. \quad (12)$$

Поскольку $k < 1$, для q получим неравенство:

$$q > (Q_1 - Q_2) / [0,72F(m_2 - m_1)]. \quad (13)$$

Например, если $F=50 \text{ м}^2$, $m_1=3$, $m_2=7$, $Q_1=100000 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$, $Q_2=90000 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$, то $q_{\min}=69,4 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Возможен также более сложный вариант, учитывающий возможность как полного, так и частичного утепления. Частичным может, например, быть утепление либо замена светопрозрачных ограждений (окон и балконных дверей). Соответственно, вводятся два понижающих коэффициента: k_1 для частичного утепления и k_2 для полного утепления, причем очевидно $k_1 > k_2$. При такой постановке подлежат определению k_1 , k_2 и Q_o , для чего необходимы три измерения с разным количеством частично либо полностью утепленных квартир. Соответствующая система трех уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} Q_o + q_1 k_1 S_{qy1} + q_1 k_2 S_{ny1} + q_1 S_{ny1} = Q_1 \\ Q_o + q_1 k_1 S_{qy2} + q_1 k_2 S_{ny2} + q_1 S_{ny2} = Q_2 \\ Q_o + q_1 k_1 S_{qy3} + q_1 k_2 S_{ny3} + q_1 S_{ny3} = Q_3 \end{cases}, \quad (14)$$

где S_{qyi} , S_{nyi} , S_{ny1} – суммы отапливаемых площадей частично утепленных, полностью утепленных и неутепленных квартир в i -ом измерении соответственно, м^2 .

Решение данной системы уравнений не представляет труда. Можно, как ранее, исключить Q_o , вычитая первое уравнение из второго и третьего. В результате получается система двух уравнений с неизвестными k_1 и k_2 :

$$\begin{cases} k_1(S_{qy2} - S_{qy1}) + k_2(S_{ny2} - S_{ny1}) = \\ = (Q_2 - Q_1) / q_1 - (S_{ny2} - S_{ny1}) \\ k_1(S_{qy3} - S_{qy1}) + k_2(S_{ny3} - S_{ny1}) = \\ = (Q_3 - Q_1) / q_1 - (S_{ny3} - S_{ny1}) \end{cases}. \quad (15)$$

После определения k_1 и k_2 находим Q_o , например, из первого уравнения исходной системы (14):

$$Q_o = Q_1 - q_1(k_1 S_{qy1} + k_2 S_{ny1} + S_{ny1}). \quad (16)$$

Множество вариантов с различными значениями q можно сократить, если задать ограничения для доли теплопотребления мест общего пользования в общем теплопотреблении дома:

$$a_{\min} < Q_o / Q_1 < a_{\max}. \quad (17)$$

Например, $a_{\min}=0,1$, $a_{\max}=0,2$.

Как и в случае полного утепления, рассмотренном ранее, варьирование q существенно влияет на Q_o , оценки k_1 и k_2 при этом изменяются мало. Об этом свидетельствуют результаты приведенных ниже примеров расчетов.

Рассмотрим пример варианта с полным утеплением (один понижающий коэффициент k) при следующих исходных данных: количество квартир в доме – 20; отапливаемые площади всех квартир, м^2 : 70, 50, 50, 55, 65, 70, 70, 50, 55, 65, 65, 55, 50, 70, 70, 65, 55, 50, 50, 70; номера утепленных квартир при первом измерении: 1, 14, 19; номера утепленных квартир при втором измерении: 1, 2, 3, 9, 14, 15, 19; месячное теплопотребление дома при первом измерении – 100000 кВт·ч; месячное теплопотребление дома при втором измерении – 90000 кВт·ч; $0,1 < Q_o / Q_1 < 0,2$.

Результаты расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты определения величин k и Q_o для варианта с полным утеплением квартир

q , Вт/м ²	k	Q_o , кВт·час
103	0,401	19452
105	0,412	17724
107	0,423	15996
109	0,434	14268
111	0,444	12540
113	0,454	10812

Рассмотрим пример варианта с частичным и полным утеплением (два понижающих коэффициента: k_1 при частичном утеплении; k_2 при полном утеплении ($k_1 > k_2$)) при следующих исходных данных: количество квартир в доме – 20; отапливаемые площади всех квартир, м^2 : 70, 50, 50, 55, 65, 70, 70, 50, 55, 65, 65, 55, 50, 70, 70, 65, 55, 50, 50, 70; номера частично утепленных квартир при первом измерении: 1, 14, 19; номера полностью утепленных квартир при первом измерении: 3, 9, 16, 20; номера частично утепленных квартир при втором измерении: 1, 14, 19; номера полностью утепленных квартир при втором измерении: 3, 9, 16, 17, 18, 20; номера частично утепленных квартир при третьем измерении: 1, 2, 5, 6, 14, 19; номера полностью утепленных квартир при первом измерении: 3, 9, 15, 16, 17, 18, 20; месячное теплопотребление дома при первом измерении – 92914 кВт·ч; месячное теплопотребление дома при втором измерении – 90042 кВт·ч; месячное теплопотребление дома при третьем измерении –

85596 кВт·ч; $0,1 < Q_0 / Q_1 < 0,2$.

Результаты расчета приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты определения величин k_1 , k_2 и Q_0 для варианта с частичным и полным утеплением квартир

q , Вт/м ²	k_1	k_2	Q_0 , кВт·час
92	0,793	0,587	22590
94	0,798	0,596	20862
96	0,802	0,604	19134
98	0,806	0,612	17406
100	0,810	0,620	15678

Выводы

Очевидно, что без привлечения средств самих владельцев квартир для многоэтажных жилых зданий невозможно решить проблему радикального повышения энергоэффективности централизованных систем теплоснабжения. Предложенная в работе методика расчета теплотребления с учетом коэффициентов экономии тепла за счет полного или частичного утепления квартир может стать стимулом для комплексной теплоизоляции домов, а не только отдельных квартир, обеспечивая существенную экономию энергоресурсов.

Література

1. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2016. – [Чинні від 2017-05-01]. – К.: Мінрегіон України, 2017. – 30 с.
2. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування, улаштування та експлуатації: ДБН В.2.6-33:2008. – [Чинні від 2009-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 25 с.
3. Настанова з виконання термомодернізації житлових будинків: ДСТУ-Н Б В.3.2-3:2014. – [Чинний від 2015-10-01]. – К.: Мінрегіон України, 2014. – 67 с.
4. Про внесення змін до постанов Кабінету Міністрів України від 1 березня 2010 р. № 243 і від 17 жовтня 2011 р. №1056: Постанова КМУ від 08.02.2017 №69 [Електронний ресурс]. – <http://www.kmu.gov.ua/control/uk/cardnpd?docid=249733521>. – Назва з екрана.
5. Тарадай А. М. Тенденція розвитку централізованого і децентралізованого теплоснабження / А. М. Тарадай, И. Г. Кириленко, А. Ф. Редько, М. А. Яременко // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 2008. – №45. – С. 182–186.
6. Тарадай А. М. Основные направления модернизации систем теплоснабжения для решения задачи снижения потребления природного газа в Украине / А. М. Тарадай, М. А. Яременко, В. В. Чернокрылюк, Е. С. Есин // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. – 2014. – Вип. 77. – С. 120–123.
7. Полуянов В. П. Проблемы формирования тарифной политики предприятий теплоснабжения / В. П. Полуянов, С. Г. Куликов // Научные труды ДонНТУ. Серия: экономические. – Вып. 35. – 2008. – С. 229–238.
8. Хобта В. М. Мотиваційні аспекти формування тарифів на послуги теплопостачання / В. М. Хобта, М. В. Полуянова // Вісник Хмельницького національного університету. – 2011. – №2. – Т. 1. – С. 221–226.
9. Волохова І. С. Пріоритети тарифного регулювання у сфері комунальних послуг (на прикладі сфери теплопостачання) / І. С. Волохова // Вісник ОНУ імені І. І. Мечникова. – 2015. – Т. 20. – Вип. 6. – С. 206–212.
10. Порядок формування тарифів на теплову енергію, її виробництво, транспортування та постачання, послуги з централізованого опалення і постачання гарячої води: Постанова НКРЕКП від 24.03.2016 №377 [Електронний ресурс]. – <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0835-16>. – Назва з екрана.

Стаття надійшла в редколегію 02.04.17

Рецензент: д.т.н., проф. Епоян С. М., Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків.

Тарадай Олександр Михайлович

Доктор технічних наук, професор, професор кафедри теплогазопостачання, вентиляції та використання теплових вторинних енергоресурсів, ORCID: 0000-0002-4239-9895

Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків

Ланцберг Натан Гейнахович

Кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри теплогазопостачання, вентиляції та використання теплових вторинних енергоресурсів, ORCID: 0000-0001-5484-0345

Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків

Бугай Володимир Сергійович

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплогазопостачання, вентиляції та використання теплових вторинних енергоресурсів, ORCID: 0000-0001-5166-7110

Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків

Фоміч Сергій Володимирович

Аспірант кафедри теплогазопостачання, вентиляції та використання теплових вторинних енергоресурсів, ORCID: 0000-0001-5567-3673

Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків

**МАТЕМАТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДХОДУ ДО ОПЛАТИ ЗА ПОСЛУГИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ
ПРИ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ**

Анотація. В умовах дефіциту державного фінансування для прийняття заходів щодо покращення теплового захисту існуючого житлового фонду, мешканці змушені самостійно утеплювати власні квартири, будинки. При цьому скорочення теплових втрат, переважно, не відображається на вартості послуг теплопостачання, особливо за оплати по тарифу за один квадратний метр опалювальної площі. В роботі запропоновано методіку визначення коефіцієнтів економії тепла, які можна враховувати у нарахуваннях за послуги теплопостачання споживачам, які здійснили заходи щодо утеплення власних квартир. Даний підхід до нарахування за послуги теплопостачання може послужити стимулом до прискорення комплексної теплоізоляції будинків, а не тільки окремих квартир, а також забезпечити при цьому економію на всіх рівнях – від держави, теплопостачальних підприємств, до споживача.

Ключові слова: термомодернізація; опалення; коефіцієнт економії тепла; теплоспоживання

Oleksandr Taraday

Doctor of Science, Professor, Professor of the Department of Heat and Gas Supply, Ventilation and Use of Thermal Secondary Energy Resources, ORCID: 0000-0002-4239-9895

Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv

Natan Lantsberg

Doctor of Philosophy, Associate Professor, Professor of the Department of Heat and Gas Supply, Ventilation and Use of Thermal Secondary Energy Resources, ORCID: 0000-0001-5484-0345

Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv

Volodymyr Bugai

Doctor of Philosophy, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply, Ventilation and Use of Thermal Secondary Energy Resources, ORCID: 0000-0001-5166-7110

Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv

Serhii Fomich

Postgraduate of the Department of Heat and Gas Supply, Ventilation and Use of Thermal Secondary Energy Resources, ORCID: 0000-0001-5567-3673

Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv

**MATHEMATICAL RATIONALE OF THE APPROACH TO PAYMENT FOR HEAT SUPPLY SERVICES
UNDER THERMAL MODERNISATION OF BUILDINGS**

Annotation. Under the conditions of public funding shortage for taking measures to improve the thermal protection of the existing housing stock, residents are forced to insulate their own apartments and houses. At the same time, the reduction of heat losses does not greatly affect the cost of heat supply services, especially when paying per square meter of heated area. The paper suggests a methodology for determining the coefficients of heat saving, which can be taken into account in accruals of payment for heat supply services of consumers who carried out measures for the insulation of their own apartments. This approach to accruals for heat supply services can serve as an incentive to accelerate the complex thermal insulation of houses, and not just individual apartments, and also to provide savings at all levels – from the state, heat supply enterprises, to the consumer.

Keywords: thermal modernisation; heating; coefficient of heat savings; heat consumption

УДК 692.445

Томашевський Андрій Володимирович

Магістрант кафедри промислового, цивільного і міського будівництва, ORCID: 0000-0001-5960-2100
ДВНЗ «Криворізький національний університет», Кривий Ріг

Люльченко Євген Вікторович

Кандидат технічних наук, доцент кафедри промислового, цивільного і міського будівництва
ДВНЗ «Криворізький національний університет», Кривий Ріг

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПОШУКУ ОПТИМАЛЬНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ СТРУКТУРИ ГЕОДЕЗИЧНОГО КУПОЛА НА ЕТАПІ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

***Анотація.** Однією з підказаних природою та класичною геометрією форм є геодезичний купол, що довів свою цінність в будівництві завдяки архітектурній виразності та функціональним якостям: багатоваріантності побудування й архітектурній пластичності; збереженню принципу індустріальності за рахунок використання типових елементів, виготовлених поза межами будівельного майданчика; надійності конструкції при дії статичних і динамічних навантажень. Однак конструкції на основі геодезичного розбиття ще не достатньо розповсюджені частково через недостатню автоматизованість процесу їх проектування. При наявному різноманітті варіантів проектування геодезичних куполів та оболонки перед архітектором та інженером постають питання вибору оптимального у заданих умовах варіанта. Метою параметричного проектування є швидке моделювання можливих варіантів, визначення оптимального співвідношення між архітектурною виразністю геометричної структури об'єкта й економічною доцільністю рішення на ранньому етапі проектування, вираження його у числовому вигляді та вибір оптимального варіанту конструкції для уникнення концептуальних помилок. Сіткова розбивка поверхні оболонки істотно впливає на естетичне сприйняття проектного архітектурного об'єкта і визначає трудомісткість виготовлення деталей і вартість всієї споруди. При автоматизованому підході до параметричного проектування в середовищі інформаційного моделювання будівель можливо визначити і порівняти основні геометричні параметри варіантів конструкцій, параметри сітки розбиття та первинні техніко-економічні показники.*

***Ключові слова:** Геодезичний купол; параметричне проектування; інформаційне моделювання будівель.*

Постановка проблеми

Розвиток автоматизації архітектурного-будівельного проектування є одним з найбільш пріоритетних напрямків в будівництві та архітектурі. За останнє десятиліття на допомогу проектувальникам прийшли потужні та масові програмні засоби з інформаційного моделювання будівель (Building Information Modelling, BIM та розрахункові комплекси з широкими можливостями для моделювання і аналізу результатів, а також підтримкою інтероперабельності з популярними середовищами інформаційного моделювання будівель. Але й штатних можливостей зазначених програмних комплексів часом буває недостатньо, тому в практиці проектування все частіше застосовуються засоби автоматизованої побудови геометрії, аналізу, роботи з базами даних.

Проектувальник використовує засоби розробника, вивчаючи архітектуру програмних комплексів (API-інтерфейс), займається написанням прикладних програм. Зручними і доступними для багатьох інженерів засобами для автоматизації проектування є середовища візуального програмування на зразок Grasshopper 3D або Autodesk Dynamo. Ці програми розширюють можливості середовищ для інформаційного моделювання будівель, дозволяють програмувати, складаючи програму з готових функціональних блоків (нодів, вузлів) та доповнюючи її строками авторського коду. Вони наочно відображають логіку програми та є простими у застосуванні, тому мають відносно низький поріг входження: інженер не повинен бути висококваліфікованим програмістом для використання середовищ візуального програмування.

Поява таких масових, простих та багатофункціональних засобів для автоматизації проектування дала поштовх до моделювання об'єктів складних форм (наприклад, геодезичних куполів) та розвитку параметричної архітектури. Це дозволяє в короткий термін та з використанням незначних обчислювальних потужностей проаналізувати безліч варіантів конструкцій на етапі концептуального проектування та уникнути принципових помилок. Описаний вище процес і складає основну змістовну частину даної роботи.

Досвід впровадження в будівництві куполів і оболонки свідчить про те, що проектування їх пов'язано з необхідністю вибору з нескінченного числа варіантів і реалізації трудомісткої та відповідальної операції розбивки конструкції на складові елементи з визначенням їх геометричних розмірів. Сітьова розбивка поверхні оболонки істотно впливає на естетичне сприйняття спроектованого архітектурного об'єкта і визначає трудомісткість виготовлення деталей і вартість всієї споруди.

Відсутність автоматизованих засобів виконання зазначеної важливої складовою архітектурного проектування, а також можливості автоматизованого моделювання об'єкта, істотно стримує застосування в будівництві геодезичних куполів і оболонки. Вказана обставина і визначає актуальність даного дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Перші публікації щодо практичного застосування геодезичних оболонки належать професору МАРХІ М. С. Туполеву[1] і американському інженеру й винахіднику Р. Б. Фуллеру[2]. Дослідження стосувалися проблем побудови розбивок геодезичних куполів на елементи, що є найбільш математично трудомістким процесом.

Наступні розробки (Г. М. Павлов, А. М. Супрун, А. Я. Лахов та ін.) завершилися створенням системи автоматизованого побудування геометричних моделей одноконтурних і двоконтурних геодезичних оболонки на платформі Graphisoft ArchiCAD [3-6] на рівні вибору з бібліотеки видурозбивки, отримання візуального образу оболонки і документації на елементирозбивки купола.

Були розроблені транслятори для передачі моделі у програмні комплекси Ansys, Patran-Nastran для розрахунку на міцність методом скінченних елементів [7, 8]. Крім того, були проведені дослідження з розробки наближених способів

визначення напружень в елементах одноконтурних та двоконтурних геодезичних оболонки[9, 10].

Проведені дослідження чітко окреслюють загальну тенденцію: необхідність розробки максимально універсальних і простих для застосування інженером-проектувальником систем автоматизованого проектування геодезичних куполів і оболонки.

Формулювання мети статті

При наявному різноманітті варіантів проектування геодезичних куполів та оболонки перед архітектором та інженером постають питання вибору оптимального у заданих умовах варіанта. До конструкції покриття висувається ряд вимог: функціональні (відповідність форми основному призначенню будівлі), архітектурно-художні (достатня архітектурна виразність зовнішнього та внутрішнього вигляду будівлі) конструктивні (забезпечення необхідної міцності, стійкості та довговічності конструкції), експлуатаційні (відповідність конструкції нормам безпечної та нешкідливої експлуатації), технологічні (індустріальність виготовлення конструкції та зручність монтажу, обслуговування і ремонту в процесі експлуатації), економічні (економічна доцільність прийнятих конструктивних рішень у порівнянні з аналогічними або різнотипними). Розташування даних вимог за пріоритетами є власне роботою проектувальника та виконується суб'єктивно, крім того, необхідні конструктивні та експлуатаційні параметри висувають ряд неодмінних умов.

Варіації підлягає співвідношення між архітектурно-художнім (геометричним) рішенням та економічністю і технологічністю виготовлення, монтажу та експлуатації конструкції. Метою параметричної архітектури є визначення даного співвідношення на ранньому етапі проектування, вираження його у числовому вигляді та вибір оптимального варіанту конструкції для уникнення концептуальних помилок.

Основна частина

Зважаючи на геометричну складність конструкції оболонки на основі геодезичного розбиття, процес її проектування має бути максимально автоматизованим. Функціонально він складається з таких стадій: формування концептуальної геометричної моделі з наступною передачею у BIM-середовище для подальшого архітектурно-будівельного проектування; трансляція геометричної моделі у розрахунковий

комплекс, ідеалізація моделі, автоматизоване визначення граничних умов і прикладання навантажень; розрахунок на міцність методом скінченних елементів і зворотна передача результатів розрахунку в BIM-середовище.

При автоматизованому підході до проектування для оцінки оптимальності вибору геометричного рішення конструкції необхідно визначити основні геометричні параметри її форми, параметри сітки розбиття та первинні техніко-економічні показники. У даній роботі описано алгоритм для аналізу моделей сферичного покриття у вигляді геодезичного купола на основі тетраедральної, октаедральної та ікосаедральної розбивки на трикутні елементи I і II класів з частотою розбиття 12...20V, виконаний у середовищі візуального програмування AutodeskDynamo. Концептуальна геометрична модель у форматіDXFзі стрижневих та пластинчатих елементів одержана за допомогою штатних засобів ПК ЛИРА-САПР, проте вона може бути створена і в середовищі Dynamo. Архітектурно-будівельне проектування виконане у AutodeskRevit. Трансляція моделі для розрахунку в ПК ЛИРА-САПР виконується за допомогою алгоритму на Dynamo.

Розраховані основні геометричні параметри купола: радіус сфери, на основі якої виконувалося розбиття; радіус оболонки – максимальний радіус відсіченого сегменту сфери у горизонтальній площині; стріла підйому оболонки (відсіченого сегменту сфери); частина сфери; номінальний об'єм оболонки – об'єм відсіченого сегменту сфери; корисний об'єм оболонки – об'єм обмежений внутрішніми поверхнями елементів оболонки та горизонтальною площиною на рівні її основи.

До параметрів сітки розбиття відносяться: кількість стрижневих елементів; кількість типорозмірів стрижневих елементів по довжині; довжина найменшого стрижневого елемента; довжина найбільшого стрижневого елемента; загальна довжина стрижневих елементів; кількість вузлів; кількість панелей; кількість типорозмірів панелей; площа найменшої панелі; площа найбільшої панелі; загальна площа панелей.

Розраховані також первинні техніко-економічні показники: приведена до корисного об'єму загальна довжина стрижнів; приведена до корисного об'єму загальна площа панелей; показник металоемності.

Поняття показника металоемності введено для оцінки економічності проектних рішень на ранньому етапі проектування без виконання розрахунків міцності. Очевидно, що для стрижневих

конструкцій покриття з круглих сталевих труб (приймаємо використання труб єдиного діаметру для усіх елементів) визначальним при розрахунку міцності буде забезпечення стійкості найбільш стиснених елементів конструкції. Мінімальний радіус інерції перерізу з умови забезпечення стійкості елемента визначається за формулою:

$$i = \mu \frac{l_{\max}}{[\lambda]}, \quad (1)$$

де μ – коефіцієнт приведенної довжини, що залежить від форми втрати стійкості та для просторової стрижневої шарнірної конструкції дорівнює 1; l_{\max} – довжина найбільшого стисненого елемента, [м] – гранично допустима гнучкість стрижня, що визначається нормами проектування сталевих конструкцій.

З іншого боку, з точки зору опору матеріалів для тонкостінного кільця радіус інерції наближено визначається за формулою (при $c = D / s \geq 10$):

$$i = D \frac{\sqrt{2}}{4}, \quad (2)$$

де D – приведений діаметр перерізу (середнє арифметичне між зовнішнім та внутрішнім діаметрами кільця); s – товщина стінки труби.

Одержимо

$$D = 2\sqrt{2}\mu \frac{l_{\max}}{[\lambda]}. \quad (3)$$

Загальна металоемність конструкції покриття може бути визначена як добуток сумарної довжини стрижневих елементів Σl та площі їх перерізу:

$$\Sigma l \cdot \frac{\pi D^2}{c} = \Sigma l \cdot \frac{8\pi\mu^2 l_{\max}^2}{c[\lambda]^2} = \Sigma l \cdot l_{\max}^2 \cdot \frac{8\pi\mu^2}{c[\lambda]^2}. \quad (4)$$

Позначимо величину $\Sigma l \cdot l_{\max}^2 \cdot 10^{-9}$ за показник металоемності. Його значення є певною абстракцією, проте він дозволяє наближеним методом кількісно оцінити співвідношення металоемності різних варіантів конструктивних рішень.

За допомогою середовища для візуального програмування Dynamo графічний алгоритм визначає зазначені параметри оболонок та формує порівняльну таблицю у файлі Microsoft Excel. Отримавши порівняльну таблицю для 42 варіантів геометричних рішень конструкції, оцінка оптимальності виконано шляхом оптимізації за вісьмома контрольними показниками: корисний об'єм оболонки, м³ – максимум; кількість типорозмірів стрижневих елементів – мінімум; довжина стрижневого елемента, мм – у межах 3000...6000 мм з метою забезпечення уніфікації конструкції та зменшення відходів виробництва при виготовленні зі стандартних прокатних

профілів; кількість типорозмірів панелей – мінімум; приведена до корисного об'єму загальна довжина стрижнів, м^3 – мінімум; приведена до корисного об'єму загальна площа панелей, $\text{м}^2/\text{м}^3$ – мінімум; показник металоємності – мінімум.

За кожним з контрольних параметрів зразку, що задовольняє умові оптимізації, призначається оцінка у 100 балів, у випадку протилежного результату – 0 балів. Оцінки проміжних результатів визначаються методом лінійної інтерполяції. Таким чином, теоретична сумарна оцінка найкращого варіанта геометричного рішення конструкції складатиме 800 балів, найгіршого – 0 балів.

За результатами аналізу до складу п'ятірки лідерів входять геодезичні куполи на основі ікосаедральної розбивки I класу з частотою 13V, 14V та 15V, ікосаедральної розбивки II класу з частотою 16V, тетраедральної розбивки I класу з частотою 15V. Найгірші результати продемонстрували оболонки на основі октаедральної розбивки II класу. Слід зазначити, що варіанти конструкцій з найкращими техніко-економічними показниками є

також і найбільш привабливими з естетичної точки зору: вони мають рівномірну сітку та позбавлені вироджених елементів.

Висновки

За допомогою сукупності програмних комплексів було виконано інформаційне моделювання та розрахунок міцності сферичної конструкції покриття у вигляді геодезичного купола. Розроблено алгоритм у середовищі візуального програмування Dypаmодля визначення геометричних параметрів оболонок та аналізу оптимальності варіантів їхніх геометричних рішень. Визначено, що середовища візуального програмування у поєднанні з програмними комплексами для інформаційного моделювання будівель є потужними і універсальними засобами для формування геометрії конструкцій, роботи з даними, підтримки інтеперабельності з розрахунковими комплексами і можуть являти собою сполучну ланку в системі автоматизованого проектування геодезичних куполів і оболонок.

Література

1. Туполев М. С. Новые архитектурные типы сводов и куполов для массового строительства : дисс. ... д-ра архитектуры / М. С. Туполев. – М., 1951.
2. Fuller R. B. Geodesic dome // *Perspecta*. 1952, no. 1, pp. 30–33.
3. Павлов Г. Н. Основные концепции автоматизированного архитектурного проектирования геодезических куполов и оболочек. / Г. Н. Павлов // *Изв. вузов. Сер. «Строительство»*. – 2005. – № 10. – С. 104–108.
4. Павлов Г. Н. Геодезические купола – проектирование на современном уровне / Г. Н. Павлов, А. Н. Супрун // *САПР и графика*. – М., 2006. – С. 25–27.
5. Павлов Г. Н. Автоматизация архитектурного проектирования геодезических куполов и оболочек : монография / Г. Н. Павлов, А. Н. Супрун ; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Н. Новгород : ННГАСУ, 2006. – 162 с.
6. Автоматизация архитектурного проектирования и прочностного расчета геодезических оболочек / А. Н. Супрун, Г. Н. Павлов, А. Я. Лахов, А. К. Ткаченко // *Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т*. – Н. Новгород, 2008. – № 23 (7). – С. 15–19.
7. Лахов А. Я. Расчет устойчивости одноконтурных геодезических куполов системы «П» методом конечных элементов в системе Patran/Nastran / А. Я. Лахов, А. К. Ткаченко // *Информационные технологии в организации единого образовательного пространства : тр. Междунар. науч.-техн. конф.* – Н. Новгород, 2011. – С. 149–155.
8. Лахов А. Я. Транслятор геометрических моделей одноконтурных геодезических оболочек ArchiCAD– Patran // *КОГРАФ 2012. Материалы научно-технической конференции*. – Н. Новгород, 2012. – С. 155–159.
9. Лахов А. Я. Приближенный способ определения максимальных напряжений в геодезических одноконтурных куполах системы «П» от воздействия собственного веса // *Приволжский научный журнал*. – 2013. – № 3. – С. 13–18.
10. Лахов А. Я. Приближенный способ определения максимальных растягивающих напряжений в стержнях двухконтурных геодезических куполов системы «Р» от воздействия собственного веса // *Вестник МГСУ*. – 2014. – № 1. – С. 58–65.

Рецензент:

Томашевский Андрей Владимирович*Магистрант кафедры промышленного, гражданского и городского строительства, ORCID: 0000-0001-5960-2100
ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Кривой Рог***Люльченко Евгений Викторович***Кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного, гражданского и городского строительства
ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Кривой Рог*

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО КУПОЛА НА ЭТАПЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Аннотация. Одной из подсказанных природой и классической геометрией форм является геодезический купол, доказавший свою ценность в строительстве благодаря архитектурной выразительности и функциональным качествам: многовариантности построения и архитектурной пластичности; сохранению принципа индустриальности за счет использования типовых элементов, изготовленных за пределами строительной площадки; надежности конструкции при действии статических и динамических нагрузок. Однако конструкции на основе геодезического разбиения еще недостаточно распространены частично из-за недостаточной автоматизированности процесса их проектирования. При имеющемся многообразии вариантов проектирования геодезических куполов и оболочек перед архитектором и инженером возникают вопросы выбора оптимального в заданных условиях варианта. Целью параметрического проектирования является быстрое моделирование возможных вариантов, определение оптимального соотношения между архитектурной выразительностью геометрической структуры объекта и экономической целесообразностью решения на раннем этапе проектирования, выражение его в числовом виде и выбор оптимального варианта конструкции во избежание концептуальных ошибок. Сетевая разбивка поверхности оболочки существенно влияет на эстетическое восприятие проектируемого архитектурного объекта и определяет трудоемкость изготовления деталей и стоимость всего сооружения. При автоматизированном подходе к параметрическому проектированию в среде информационного моделирования зданий можно определить и сравнить основные геометрические параметры вариантов конструкций, параметры сетки разбиения и первичные технико-экономические показатели.

Ключевые слова: *Геодезический купол; параметрическое проектирование; информационное моделирование зданий.*

Tomashevskiy Andrii*Undergraduate of industrial, civil and urban engineering department, ORCID: 0000-0001-5960-2100
SIHE "Kryvyi Rih National University", Kryvyi Rih***Lulchenko Eugene***Doctor of Philosophy, Associate Professor of industrial, civil and urban engineering department
SIHE "Kryvyi Rih National University", Kryvyi Rih*

AUTOMATION OF SEARCHING FOR THE OPTIMUM GEOMETRICAL STRUCTURE OF THE GEODESIC DOME AT THE STAGE OF CONCEPTUAL DESIGN

Abstract. *Geodesic dome is one of forms suggested by nature and classical geometry, which has proved its worth in the construction due to its architectural expression and functional qualities: multivariance of structure and building plasticity; industrialized building principle through the use of typical elements, produced outside the construction site; reliability of structure under the static and dynamic loads. However, the structures based on geodesic partition is not sufficiently widespread yet in part because of deficient automation of their design process. In the existing diversity of design options of geodesic domes and shells the problems of choosing the optimal variant under given conditions face to the architects and engineers. The purpose of parametric design is the rapid option simulation, determining the optimal balance between the architectural expression of the geometric structure and its economic feasibility at an early design stage, expressing it in numerical form and choosing the optimal design options to avoid conceptual errors. The mesh partition of shell surface significantly affects the aesthetic perception of the designed architectural object and determines the complexity of manufacturing parts and the cost of the entire building. With automated approach to parametric design in building information modeling environment it is possible to determine and compare basic geometric parameters of structure variants, mesh partition settings and primary technical and economic indicators.*

Keywords: *Geodesic dome; parametric design; building information modeling.*

УДК 699.86:693.98

Шамрина Галина Викторовна

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций, зданий и сооружений,
ORCID: 0000-0001-5422-9562

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Краматорск

Хохрякова Дарья Александровна

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций, зданий и сооружений,
ORCID: 0000-0002-9257-5703

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Краматорск

Тимофеев Николай Васильевич

Кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры архитектурных конструкций,
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

**КОМПЛЕКТНАЯ СИСТЕМА КНАУФ НА ОСНОВЕ ЦЕМЕНТНЫХ ПЛИТ
AQUAPANEL® OUTDOOR И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ В УКРАИНЕ**

Аннотация. Значительное увеличение нормативного значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций привело к тому, что конструкции наружных стен из традиционных материалов стали менее востребованными в жилищном строительстве. Комплектные системы наружного сухого строительства, разработанные с использованием цементной плиты АКВАПАНЕЛЬ® Outdoor, представляют серьезную альтернативу массивным кирпичным стенам. На основании анализа технических решений с целью выявления возможностей рационального применения для различных объектов авторами была разработана классификация рассматриваемой комплектной системы по нескольким признакам. Отсутствие в Украине материалов для проектирования по данной технологии, разработанных в соответствии с новыми нормами может привести к проблемам обеспечения тепловой надежности конструкции при её практическом применении. Выявлен ряд положений, по мнению авторов нуждающихся в проверке соответствующими расчетами в дальнейших исследованиях.

Ключевые слова: комплектная система; плита Аквапанель® Outdoor; тепловая изоляция; энергоэффективность зданий

Постановка проблемы

Повсеместное внедрение технологий сухого строительства на постсоветском пространстве стало возможным благодаря усилиям предприятий группы КНАУФ СНГ, выпускающих качественные строительные и отделочные материалы на основе гипса. До недавнего времени эти материалы не были предназначены для наружных работ. Компания Knauf AQUAPANEL GmbH & Co. KG разработала цементную плиту АКВАПАНЕЛЬ® Outdoor-листовой материал прямоугольной формы, состоящий из сердечника на основе мелкозернистого легкого бетона, все плоскости которого, кроме торцевых кромок, армированы стеклосеткой. Комплектные системы, разработанные с использованием цементной плиты АКВАПАНЕЛЬ® Outdoor, представляют собой

системы быстровозводимых каркасных конструкций наружных стен.

За последнее время в строительных нормах Украины произошло значительное увеличение нормативного значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. Это привело к тому, что конструкции наружных стен из традиционных, проверенных временем и климатическими условиями материалов (таких как кирпич, керамзитобетон и другие) стали менее востребованными в жилищном строительстве. Разработанная компанией Knauf AQUAPANEL GmbH & Co. KG новая система наружного сухого строительства представляет серьезную альтернативу массивным кирпичным стенам.

Надежность и долговечность комплектных систем КНАУФ с применением цементных плит AQUAPANEL® Outdoor (далее комплектная

система) как с точки зрения обеспечения прочностных характеристик, так и с точки зрения обеспечения надежности теплозащитных функций зависит от качества элементов конструкции и качества выполнения работ, а оно в свою очередь непосредственно зависит от нормативно-технического обеспечения. Весь объем технической документации по данной технологии, представленный в настоящее время в Украине, носит лишь рекомендательный характер.

Отсутствие материалов для проектирования, конструкций узлов, выполненных в соответствии с принятыми в 2016 - 2017 гг. новыми нормативными документами Украины по тепловой изоляции и энергоэффективности зданий, может привести к ошибкам при проектировании или при производстве работ непосредственно на строительном объекте, и соответственно, к существенному снижению тепловой надежности конструкции.

Анализ последних исследований и публикаций

К преимуществам комплектных систем относятся высокая атмосферостойкость, экологичность, быстрота возведения; всепогодность строительства и отделки, для их устройства при малоэтажном строительстве не требуются массивные фундаменты и несущие конструкции, наружные стены зданий уже имеют утепленный фасад, а по себестоимости такие системы значительно дешевле традиционных

зданий с кирпичными или бетонными стенами. Так, например, в сравнении с обычной кирпичной кладкой с теплоизоляцией комплектная система экономит до 25% площади здания при одинаковых показателях теплоизоляции. Кроме того, применение цементной плиты АКВАПАНЕЛЬ® Outdoor позволяет воплотить самые разнообразные архитектурные идеи и использовать любые материалы для наружной отделки.

Комплектная система рекомендуется к применению как для вновь возводимых зданий, так и для реконструкции, утепления и реставрации обветшавших фасадов [1]. С точки зрения цены комплектная система конкурентна с традиционными строительными и отделочными материалами, и поэтому может быть рекомендована для строительства и термомодернизации объектов бюджетной сферы – школ, больниц, детских садов, социального жилья, административных зданий и т.д.

Так, применение комплектной системы в малоэтажных зданиях с каркасом из легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) позволяет использовать преимущества таких конструкций, а именно: значительное снижение материальных и трудовых затрат при сохранении высоких качественных и эксплуатационных характеристик. В сочетании с комплектной системой здания с каркасом из ЛСТК (рис. 1а) являются наиболее экономичной альтернативой кирпичу, газобетонным блокам и традиционным стеновым панелям для малоэтажного строительства.

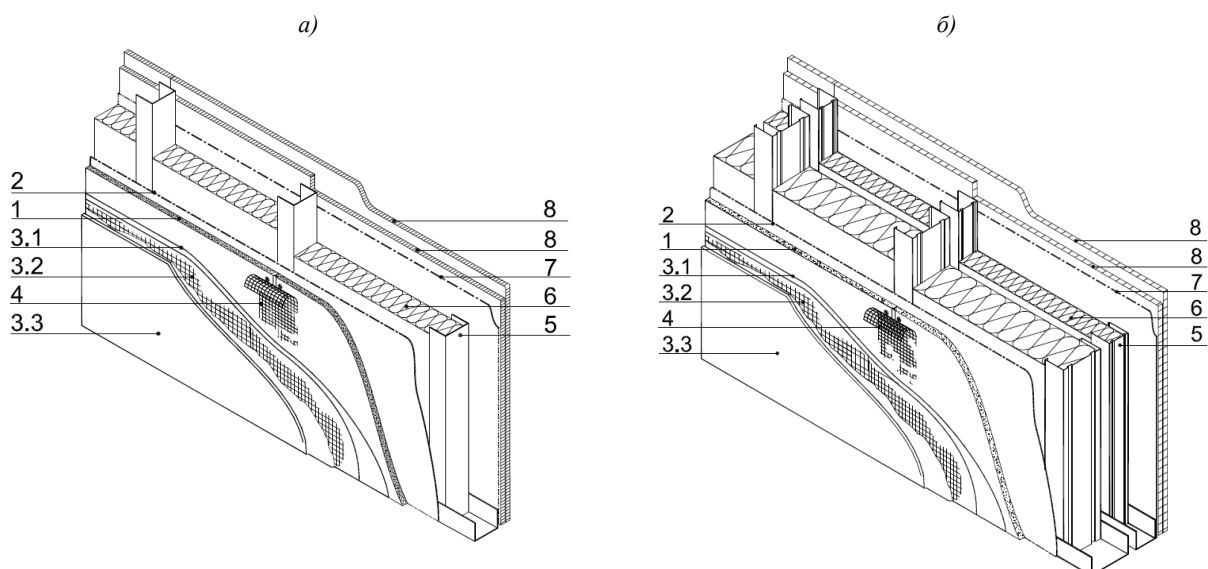


Рисунок 1 - Наружная стена с прямым креплением плит к стальному каркасу: а) на одинарном каркасе; б) на двойном каркасе, где 1 - цементная плита AQUAPANEL Outdoor; 2 - паро-гидробарьер AQUAPANEL TYVEK StuccoWrap; 3.1 - армирующий и клеящий раствор AQUAPANEL; 3.2 - сетка для наружных работ AQUAPANEL; 3.3 - штукатурная накрывка AQUAPANEL; 4 - шпатлевка для швов AQUAPANEL - серая и лента для швов AQUAPANEL; 5 - несущий профиль; 6 - изоляционный материал (KnaufInsulation или Heraklith); 7 - пароизоляционный слой; 8 - гипсокартонная плита KNAUF.

Сегодня в Украине комплектная система наибольшее применение нашла в коттеджном строительстве. Крупнейшими украинскими производителями сборных панельных домов на основе скрытого деревянного каркаса (рис. 2) по немецкой технологии «Fertighaus» являются компании «DELTAHOUSE» [2] и «WKS FertighausTMВauТес». Изготовление стеновых панелей производится на заводах, укомплектованных новейшим европейским оборудованием, которое гарантирует высокую

точность и качество изготовления конструкций, соответствующее строительным стандартам.

Многоэтажное домостроение в Украине в настоящее время преимущественно ведется по монолитно-каркасной технологии, и поэтому вариант конструктивного решения комплектной системы с опиранием несущих профилей на конструкции перекрытия (рис.1б), обеспечивающего высокое качество при соблюдении всех теплотехнических требований, безусловно, также имеет перспективы широкого применения.

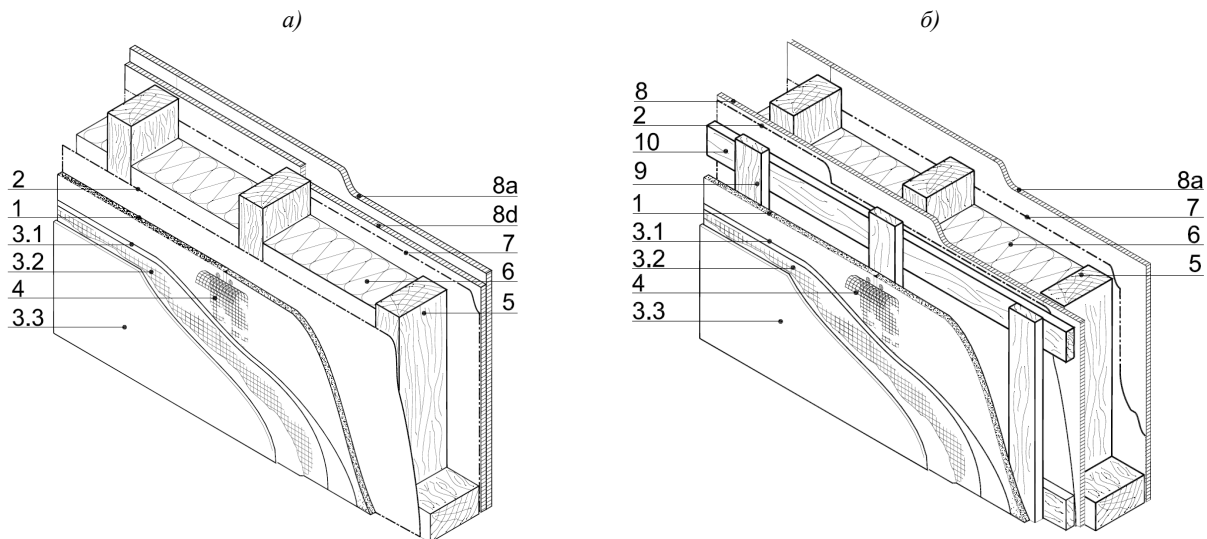


Рисунок 2 - Несущая наружная стена на деревянном каркасе: а) с прямым креплением плит к каркасу; б) с креплением плит к деревянной обрешетке, где 1- цементная плита AQUAPANEL Outdoor; 2 - паро-гидробарьер AQUAPANEL TYVEK StuccoWrap; 3.1 - армирующий и клеящий раствор AQUAPANEL; 3.2 - сетка для наружных работ AQUAPANEL; 3.3 - штукатурная накрывка AQUAPANEL; 4 - шпателька для швов AQUAPANEL - серая и лента для швов AQUAPANEL; 5 - несущий профиль; 6 - изоляционный материал (KnaufInsulation или Heraklith); 7 - пароизоляционный слой; 8а - гипсокартонная плита КНАУФ; 8d - плита древесностружечная (OSB); 9 - несущая обрешетка; 10 - основная обрешетка

Формулировка цели статьи

Целью настоящей статьи является выявление возможностей рационального применения комплектных систем для различных объектов с учетом повышенных требований норм Украины по энергоэффективности зданий.

Основной материал

С целью облегчения принятия проектных решений для конкретного объекта, прежде всего, необходимо классифицировать предлагаемые производителем разнообразные технические решения конструкций комплектных систем.

Классификация типов конструкций систем КНАУФ с применением плит АКВАПАНЕЛЬ® Outdoor представлена ниже.

1. По назначению:

– для устройства наружной стены;

– для ремонта и восстановления фасада;

– для усиления архитектурной выразительности фасадов, эстетики наружных стен.

2. По типу архитектурно-строительных систем здания, в которых применяется комплектная система:

– каркасно-монолитная (привысоте здания до 150 м);

– малоэтажные здания на каркасе из ЛСТК;

– малоэтажные панельные дома на основе скрытого деревянного каркаса (рис. 2).

3. По статическому типу:

– несущая (на деревянном или каркасе из ЛСТК);

– самонесущая (в каркасно-монолитных зданиях с опиранием стоек КНАУФ СВ на перекрытие);

– ненесущая (в навесных фасадных системах, для облицовки наружных стен).

4. По технологии возведения:

- поэлементная сборка;
- из готовых панелей.

5. По материалу несущей части комплектной системы:

- на стальном каркасе (рис. 1);
- на деревянном каркасе (рис. 2).

6. По числу контуров утепления (числу стоек каркаса):

– одинарный (для неотапливаемых зданий на стойках КНАУФСВ, для отапливаемых на стойках из ЛСТК);

- двойной, для отапливаемых зданий.

7. По типу крепления плит АКВАПАНЕЛЬ® Outdoor к несущей части системы:

- с прямым креплением к каркасу (рис. 1; рис.2а);
- с креплением плит к обрешетке, закрепленной на стойках каркаса несущей стены (рис. 2б).

8. По наличию вентиляционного зазора:

- с вентиляцией;
- без вентиляции.

Приведенная классификация показывает, что данная система имеет разнообразные конструктивные решения, которые позволяют эффективно ее использовать в различных типах зданий.

При выборе конкретного конструктивного решения наружной стены следует учитывать рекомендацию, что утеплитель нужно располагать таким образом, чтобы он плотно заполнял пространство в стоечном профиле. С точки зрения оптимального расхода утеплителя решение на каркасе КНАУФ для отапливаемых зданий является более гибким, так как размеры сечений стоечных профилей СВ (от 50 до 150 мм) и вариативность их расположения дают возможность применения утеплителя толщиной наиболее близкой к требуемой по расчету, в то время как решение на каркасе из ЛСТК ограничивается двумя размерами стоек – 150 и 200 мм.

Необходимо отметить, что к критериям энергоэффективности следует относить не только уровень тепловой защиты ограждающих конструкций, но и показатели их капитальности (долговечности). Срок службы строительных материалов, применяемых в многослойных стеновых конструкциях, должен обеспечивать экономическую эффективность, достигаемую как сокращением теплотерь, так и сокращением затрат на проведение последующих капитальных ремонтов зданий. Многие типы современных стеновых конструкций с более высокими показателями тепловой защиты оказываются

неремонтопригодными, а применяемые в их составе материалы – недолговечными. Это связано с тем, что на смену традиционным строительным материалам пришли эффективные теплоизоляционные материалы (в основном, минеральная и стеклянная вата, экструдированный и блочный пенополистирол), долговечность которых в климатических условиях эксплуатации нашей страны многими специалистами подвергается сомнению.

На долговечность и стабильность теплофизических и физико-механических свойств теплоизоляционных материалов в конструкциях утепления зданий влияют как конструктивные особенности, так и эксплуатационные факторы, включая:

- знакопеременный температурно-влажностный режим теплоизоляционных конструкций;
- возможность капиллярного и диффузионного увлажнения теплоизоляционного материала в конструкции;
- воздействие ветровых нагрузок и температурных деформаций элементов ограждающих конструкций;
- механические нагрузки от собственного веса материала в конструкциях стен и внешние нагрузки (люди, оборудование при монтаже и ремонте) в конструкциях крыш и перекрытий.

В связи с этим было бы целесообразным установить зависимость между сопротивлением теплопередаче и классом капитальности (долговечности) ограждающих стеновых конструкций. Возможно, для стеновых конструкций с более низким классом капитальности следовало бы установить более высокие требования к уровню тепловой защиты. Срок эффективной эксплуатации внедряемых материалов, технологий и конструкций должен превышать период их окупаемости.

Мероприятия по энергосбережению необходимо предусматривать уже на стадии проектирования, комплексно применяя новейшие технические решения и разработки. Поэтому во всех зданиях должны быть установлены приборы контроля расхода тепловой энергии, а также устройства автоматического регулирования подачи тепла. Выключение системы или её работа в экономном режиме приводит к изменению температурных режимов помещений и, как следствие, к изменению распределения температур в конструкции стены. В слоистых самонесущих и ненесущих наружных стенах деструкция теплоизоляционных материалов значительно опережает разрушение несущей части стены из прочных долговечных материалов.

Теплотехническую долговечность слоистых наружных стен в первую очередь следует определять по снижению теплозащитных качеств утеплителя до установленного предела. Например, компания «DELTAHOUSE» заявляет о 100-летнем эксплуатационном сроке службы конструкций производимых энергоэффективных домов[2]. Хотя долговечность материалов, в том числе теплоизоляционных, входящих в состав ограждающих конструкций не превышает 50 лет.

Таким образом, долговечность (эксплуатационный срок службы) той или иной стеновой конструкции зависит не только от качества и состава используемых материалов, но также от качества монтажных работ и обеспечения нормальных условий эксплуатации.

Рассматриваемая комплектная система характеризуется теплотехнической неоднородностью, которая определяется ее конструктивными особенностями.

Поэтому возможность применения комплектных систем в качестве ограждающих конструкций зданий должна быть подтверждена расчетами, как теплофизических показателей конструкции, так и показателями энергоэффективности здания с комплектной системой в целом. Такой системный подход устанавливается принятым в 2017 г. ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляціябудівель[3], который вводится в действие 01.05.2017 г.

Существующие в Украине нормативные документы [4, 5] содержат требования к проектированию конструкций наружных стен с фасадной теплоизоляцией, которая крепится на стену из массивного материала (кирпич, бетон тяжелый или легкий и т.д.). Особенности конструктивного решения наружных стен с применением плиты АКВАПАНЕЛЬ® Outdoor, а именно наличие металлического или деревянного каркаса, малая массивность элементов стены требует особого внимания и подтверждающих расчетов по теплоустойчивости ограждения, оценки влажностного режима, учета влияния теплопроводных включений элементов каркаса на сопротивление теплопередаче конструкции стены в целом и др.

Согласно требованиям ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляціябудівель[3] обязательно выполнение следующих условий:

- ограничение минимального значения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции (условие 4);

- ограничение температурного перепада между внутренней поверхностью ограждающей конструкции и внутренним воздухом (условие 5);

- ограничение минимальных температур на внутренних поверхностях в зонах теплопроводных включений (углы, откосы и др.), которые не должны превышать температуру точки росы (условие (6));

- условия по теплоустойчивости в летний и зимний периоды эксплуатации (условие (8) и (9));

- проверка влажностного состояния (п.6.12);

- проверка условий воздухопроницаемости (п. 6.10, расчет согласно [6] ДСТУ-Н Б В.2.6-191 с последующими лабораторными испытаниями по методике ДСТУ Б В.2.6-37 [7]).

Проверка указанных условий должна быть выполнена согласно методикам, которые за последние годы были разработаны и приведены в ряде нормативных документов в сфере энергоэффективности, а также должно быть проведено математическое моделирование тепловых процессов (двухмерных температурных полей). В частности, ДСТУ-Н Б В.2.6-189 [8] при определении приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции; ДСТУ ISO 10211-1[9], ДСТУ ISO 10211-2 [10] – при учете теплопроводных включений; ДСТУ-Н Б В.2.6-190[11] – теплоустойчивости ограждений и помещений; ДСТУ-Н Б В.2.6-191[6] - проверки воздухопроницаемости ограждений; ДСТУ-Н Б В.2.6-192[12] - оценки влажностного режима.

Выводы

Исследования совместной работы элементов комплектных систем КНАУФ на соответствие требованиям теплозащиты в процессе эксплуатации зданий позволит определить степень влияния применяемых комплектных систем КНАУФ на санитарно-гигиенические показатели теплозащиты;

Исследование теплозащитных характеристик комплектных систем КНАУФ на вновь возводимых и реконструируемых объектах с учетом влияния дефектов ограждающих конструкций зданий позволяет количественно определить компенсационную способность сокращения энергопотерь каждой комплектной системы ;

Анализ эффективности применения комплектных систем КНАУФ позволит дать оценку экономического эффекта от использования той или иной комплектной системы с позиции сокращения эксплуатационных затрат.

Литература

1. KNAUF [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.knauf.ua> – названіє екрана
2. DeltaHouse.FutureTechnologies [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://deltahouse.ua> – названіє с екрана
3. Теплова ізоляція будівель. ДБН В.2.6-31:2016. [Чинні від 2017-05-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2017. – 33 с. – (Національний стандарт України).
4. Конструкції будівель і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування, улаштування та експлуатації: ДБН В 2.6-33:2008. [Чинні від 2009-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 24 с. – (Національний стандарт України).
5. Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією. Класифікація і загальні умови: ДСТУ Б В.2.6-34:2008. [Чинний від 2009-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 32 с. – (Національний стандарт України).
6. Настанова з розрахункової оцінки повітропроникності огорожувальних конструкцій: ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013. [Чинний від 2014-01-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2014. – 13 с. – (Національний стандарт України).
7. Конструкції будинків і споруд. Методи визначення показників повітропроникності огорожувальних конструкцій і їх елементів у лабораторних умовах. ДСТУ Б В.2.6-37:2008. [Чинний від 2014-06-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 13 с. – (Національний стандарт України).
8. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель: ДСТУ Б В.2.6-189:2013 – [Чинний від 2014-01-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2014. – 46 с. – (Національний стандарт України).
9. Теплопровідні включення в будівельних конструкціях. Обчислення теплового потоку та поверхневої температури. Частина 1. Загальні методи. ДСТУ ISO 10211-1:2005. – [Чинний від 2008-03-01]. – К.: Держбуд України, 2008. – 38 с. – (Національний стандарт України).
10. Теплопровідні включення в будівельних конструкціях. Частина 2. Лінійні теплопровідні включення. ДСТУ ISO 10211- 2:2005. – [Чинний від 2008-03-01]. – К.: Держбуд України, 2008. – 12 с. – (Національний стандарт України).
11. Настанова з розрахункової оцінки показників теплостійкості та теплосасвоєння огорожувальних конструкцій. ДСТУ-Н Б В.2.6-190. – [Чинний від 2014-01-01]. – К.: Держбуд України, 2014. – 40 с. – (Національний стандарт України).
12. Настанова з розрахункової оцінки тепловологісного стану огорожувальних конструкцій. ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013. [Чинний від 2014-01-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2014. – 71 с. – (Національний стандарт України).

Стаття надійшла в редакцію 18.03.17

Рецензент: д.т.н, старший науковий співробітник, директор інституту, Г. Г. Фаренюк, ДП "Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій", Київ

Шамріна Галина Вікторівна

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельних конструкцій, будівель і споруд, ORCID: 0000-0001-5422-9562

Донбаська національна академія будівництва і архітектури, Краматорськ

Хохрякова Дар'я Олександрівна

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельних конструкцій, будівель і споруд, ORCID: 0000-0002-9257-5703

Донбаська національна академія будівництва і архітектури, Краматорськ

Тимофєєв Микола Васильович

Кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри архітектурних конструкцій,

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

КОМПЛЕКТНА СИСТЕМА КНАУФ НА ОСНОВІ ЦЕМЕНТНИХ ПЛИТ АКВАПАНЕЛЬ® OUTDOORTA ПЕРСПЕКТИВИ ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ В УКРАЇНІ

Анотація. Значне збільшення нормативного значення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій призвело до того, що конструкції зовнішніх стін з традиційних матеріалів стали менш затребуваними в житловому будівництві. Комплектні системи зовнішнього сухого будівництва, розроблені з використанням цементної плити АКВАПАНЕЛЬ® Outdoor, становлять серйозну альтернативу масивним цегляним стінам. На підставі аналізу технічних рішень з метою виявлення можливостей раціонального застосування для різних об'єктів авторами була розроблена класифікація розглянутої комплектної системи

за кількома ознаками. Відсутність в Україні матеріалів для проектування за даною технологією, розроблених у відповідності з новими нормами може призвести до проблем забезпечення теплової надійності конструкції при її практичному застосуванні. Виявлено ряд положень, які на думку авторів потребують перевірки відповідними розрахунками в подальших дослідженнях.

Ключові слова: комплектна система; плита Акванель® Outdoor; теплова ізоляція; енергоефективність будівель

Shamrina Galina

Doctor of Philosophy, Associate Professor, Docent of Department of Building Structures and Constructions, ORCID: 0000-0001-5422-9562

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Kramatorsk

Khokhriakova Daria

Doctor of Philosophy, Associate Professor, Docent of Department of Building Structures and Constructions, ORCID: 0000-0002-9257-5703

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Kramatorsk

Тумофієв Микола

Doctor of Philosophy, Associate Professor, Professor of Department of Architectural Constructions

Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kiev

KNAUF AQUAPANEL OUTDOOR CEMENT BOARD COMPLETE SYSTEM AND PROSPECTS OF ITS APPLICATION IN UKRAINE

Abstract. *A significant increase in the normative value of the heat transfer resistance of the building envelope led to the fact that the exterior wall constructions made from traditional materials became less popular in housing construction. Complete exterior dry construction systems, developed using the AQUAPANEL® Outdoor cement boards, represent a serious alternative to massive brick walls. Based on the analysis of technical solutions to identify opportunities for rational use for various objects, the authors developed a classification of the complete system under consideration on several grounds. The absence in Ukraine of materials for designing on this technology, developed in accordance with the new standards, can lead to problems of ensuring the thermal reliability of the structure in its practical application. A number of provisions have been identified, according to the authors of the need for verification by appropriate calculations in further studies.*

Key words: *complete system; Aquapanel® Outdoor; thermal insulation; energy efficiency of buildings*

УДК 620.97:697.329

Шаповал Степан Петрович

Кандидат технічних наук, доцент, ORCID: 0000-0003-4985-0930

Національний університет «Львівська політехніка», Львів

ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ЗА РАХУНОК КОМБІНОВАНОГО ГЕЛІОВІКНА

Анотація. Актуальним питанням сьогодення є принцип енергоощадливості та раціонального використання енергоресурсів. Для України енергетична сфера є особливо важливою, оскільки саме вона в основному, впливає на стан національної економіки. Досліджено, що запропонована модель комбінованого геліовікна можлива для застосування в системах теплозабезпечення. В статті розглянуто дані експериментальних досліджень зміни температури теплоносія в системі, коефіцієнта корисної дії сонячного колектора та системи в цілому.

Ключові слова: альтернативні джерела; сонячна енергія; ефективність

Постановка проблеми

Зростання чисельності населення призводить до збільшення споживання енергії суспільством. Таким чином, виникає дисбаланс між видобутком та споживанням. Використання альтернативних видів палива набуває все більшого значення для світової спільноти.

У наш час важливо переходити з традиційних видів енергії до альтернативних. Підтвердженням цього є праці Д. Медоуза в яких досліджується проблема залежності використання енергоресурсів від функціонального зростання економіки зважаючи на стан енергобалансу планети Земля [1].

Рівень забруднення атмосфери невинно зростає, що призводить до руйнування біосфери.

Ноосфера, яка вперше була згадана Едуардом Леруа, руйнується під впливом антропогенної діяльності на навколишнє середовище, та спонукає до інтенсифікації використання сонячної енергії, оскільки вона може ефективно трансформуватись в теплову та електричну і використовуватись для потреб опалення та гарячого водопостачання.

Сонячна енергія вже робить свій внесок у зменшення кількості викидів CO₂ забезпечуючи мільйони домівок обігрівом та електроенергією [2].

Рівень споживання енергоресурсів середньостатистичної європейської країни відображений на рис. 1. Ці показники відповідають вимогам стандартів ЄС [3, 4].

Повільний розвиток сонячних систем має ряд причин, які є основними перешкодами у впровадженні систем сонячного теплопостачання в Україні. Основними причинами, що варто відзначити є саме висока вартість та не приведена до

однакових стандартів ефективність систем сонячного теплопостачання.

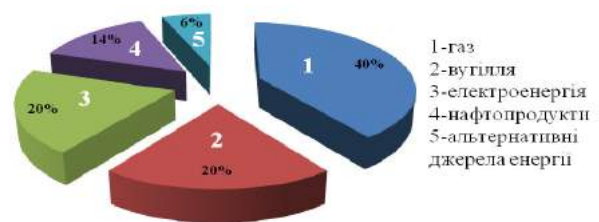


Рисунок 1 – Співвідношення споживання енергоресурсів середньостатистичної європейської країни

Проаналізовано, що на горизонтальну поверхню в середньому по широтах України припадає ~333 МДж сумарної променистої енергії на 1 м² за місяць. Енергетична освітленість поверхонь у зимовий період має чіткий спадний характер з півдня на північ (зміна від ~90-50 Вт/м²), тоді як літній період характеризується незначною зміною сонячної радіації (зміна в межах 313-316 Вт/м²). Очевидним є той факт, що полуднева висота Сонця у помірному поясі освітленості завжди менша від 90°, тому південь країни (44, 46, 47 град. пн. ш.) отримує за рік більше сонячної радіації, ніж північ, оскільки полуднева висота Сонця на півдні щодня вища, ніж на півночі [5].

Аналіз основних досліджень та публікацій

В праці [6] описується основні досягнення в сонячній енергії протягом останніх тисячоліть, що

говорить про значні її можливості та перспективи.

Можливість перетворення житлового будинку з не ефективного в будинок нуль енергії описана в [7]. Це завдання досягається за рахунок економічно ефективних заходів енергії та інтеграції сонячних енергетичних систем [8].

Впроваджуючи сонячні установки в енергопасивні будинки, на рівні проектних робіт доцільно звернути увагу на теплозахист приміщення в літній період року. Оскільки в цей період року запроєктоване захищення, яке буде задовольняти вимоги зимового періоду, може не відповідати вимогам літнього періоду. В зв'язку з тим, що кількість теплоти поглинута приміщенням в літній період буде надмірною, а для зимового періоду вона буде достатньою. Тому можливим є варіант застосування сонячного колектора на площині захищення, з точки зору як компенсатора сонячного надходження в зимовий та літній періоди [9].

Основні причини зменшення застосування сонячних колекторів, зокрема плоских описано в [10].

Фундаментальними причинами є ціна та кількість поглинутої радіації сонячним колектором в залежності від сезонних змін. Тому, необхідно звертати увагу саме на вартість геліосистеми та коефіцієнт корисної дії системи сонячного теплопостачання

Формулювання мети статті

Тому, метою цієї праці було:

- розроблення енергоефективного рішення однієї з конструкцій будинку, в якості сонячного колектора, а саме – геліовікна.;

- проведення аналітичних та експериментальних досліджень можливості ефективного використання сонячної енергії запропонованою конструкцією геліовікна;

- дослідження коефіцієнта корисної дії запропонованої конструкції геліовікна за умов використання цієї енергії.

Основна частина

Запропонована модель системи сонячного теплопостачання поєднана з конструкцією вікна будинку. Таке рішення першочергово, вирішує проблему з високою вартістю сонячних установок, оскільки поєднання необхідної конструкції будинку з такою системою зменшує капітальні витрати на систему, що є результатом загальнодоступності споживачу.

Узагальнений принцип роботи полягає в наступному:

- теплоносій поступає у бак-акумулятор;

- при відкритті та налаштуванні запірно-регулювальної арматури вода надходить у геліовікно, нагрівається під дією сонячної енергії та за принципом природної конвекції рухається назад у бак-акумулятор, в режимі гравітації.

Експериментальна установка комбінованого геліовікна в режимі гравітації зображена на рис. 2.

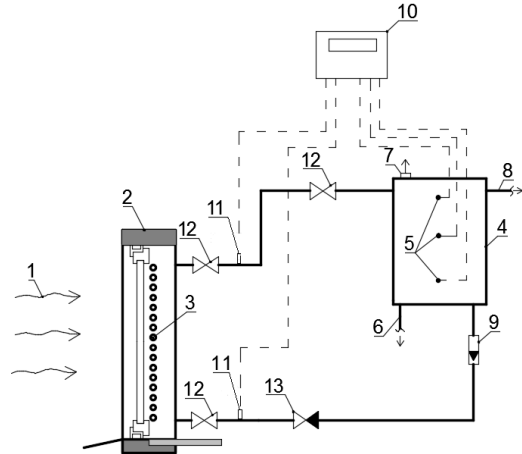


Рисунок 2 – Схема експериментального комбінованого геліовікна:

1 – потік сонячної енергії, 2 – геліовікно, 3 – прозорі трубопроводи, 4 – бак-акумулятор, 5 – датчики температури, 6 – злив теплоносія, 7 – повітроспускний клапан, 8 – трубопровід до споживача, 9 – ротаметр, 10 – комплексний регулятор температури, 11 – термометр, 12 – запірно-регулююча арматура, 13 – зворотний клапан

Кожного разу перед початком експерименту система заповнювалась свіжою порцією води. Видалялось повітря із системи. Перевірялась герметичність системи при робочому тиску. Перевірялась справність вимірювальних приладів.

Кількість питомої теплової енергії накопиченої в баці-акумуляторі комбінованої системи сонячного теплопостачання $Q_{сст}$, кДж/м² можна визначити за формулою (1) :

$$Q_{сст} = \frac{m \cdot c \cdot (T_{вих} - T_{кін})}{F_{ск}} \quad (1)$$

де m – маса теплоносія в баці-акумуляторі, кг; c – середня питома теплоємність теплоносія (за сталого тиску) при середньоарифметичній температурі теплоносія, Дж/(кг·К); $T_{вих}$, $T_{кін}$ – температури теплоносія на вході та виході сонячного колектора відповідно, К; $F_{ск}$ - площа сонячного колектора, м². Аналогічно визначається коефіцієнт корисної дії системи сонячного теплопостачання $\eta_{сст}$ в цілому, за кількістю енергії, отриманої баком-акумулятором $Q_{отр}$:

$$\eta_{\text{сст}} = \frac{Q_{\text{отр}}}{Q_{\text{пром}}} \cdot 100\% \quad (2)$$

де $Q_{\text{отр}}$ – кількість тепла, що отримав бак-аккумулятор за час ΔT , с, визначалась експериментально; $Q_{\text{пром}}$ – кількість променевого тепла, що надійшла на поверхню геліостіни за цей самий проміжок часу ΔT , с.

Для більш ефективного проведення експериментів і зниження затрат на його організацію проведено планування експерименту відповідно до існуючих методик.

Факторами обрано:

- x_1 – інтенсивність потоку сонячного випромінювання I , Вт/м² [100, 300, 500, 700, 900];

- x_2 – напрям повітряного потоку

α , ° [10, 30, 50, 70, 90];

- x_3 – об'єм баку-аккумулятора

V , л [5, 10, 15, 20, 25].

Для максимального виявлення впливу факторів на функцію відгуку була попередньо складена матриця планування із врахуванням ефекту взаємодії факторів. Функцією відгуку вибрано коефіцієнт корисної дії системи сонячного теплопостачання в цілому $\eta_{\text{сст}}$.

Температура теплоносія замірювалась за допомогою термометрів опору. Основні результати експериментальних вимірювань температур подані у графічній формі при інтенсивності теплового потоку 700 Вт/м² (рис. 3 та 4).

Основні результати експериментальних вимірювань коефіцієнта корисної дії комбінованого геліовікна в цілому $\eta_{\text{сст}}$ подані у тривимірному вигляді та наведені на рис.5.

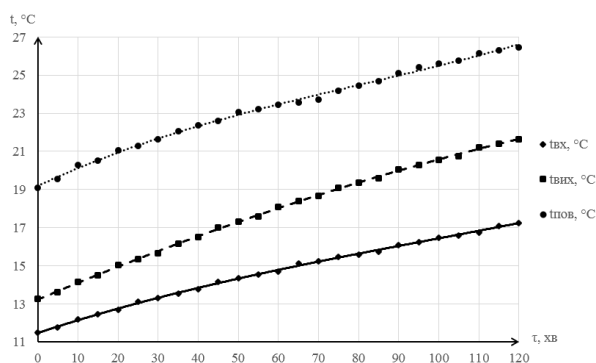


Рисунок 3 – Температура теплоносія в сонячному колекторі та температура оточуючого повітря впродовж експерименту в режимі гравітації при: діаметрі труб теплопоглинання $d = 5$ мм; кроку між трубками поглинання $l = 50$ мм; інтенсивності теплового потоку $I = 700$ Вт/м²; куті падіння випромінювання $\alpha = 30^\circ$; об'ємі бака-аккумулятора $V = 10$ л

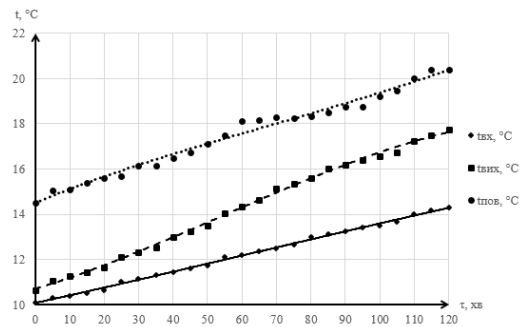


Рисунок 4 – Температура теплоносія в сонячному колекторі та температура оточуючого повітря впродовж експерименту в режимі гравітації при сталих $d = 5$ мм; $l = 50$ мм; $I = 700$ Вт/м²; $\alpha = 70^\circ$; $V = 20$ л

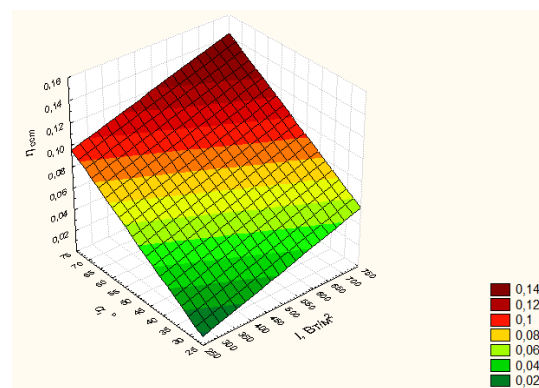


Рисунок 5 – Зміна коефіцієнта корисної дії системи сонячного теплопостачання в цілому від напряму повітряного потоку та інтенсивності потоку сонячного випромінювання, в режимі гравітації при сталих $d = 5$ мм; $l = 50$ мм; $\delta = 1$ мм; $V = 10$ л

Для порівняння з тривимірним графіком у таблиці 1 наведені дані коефіцієнта корисної дії комбінованого геліовікна за сонячним колектором $\eta_{\text{ск}}$ за $I = 500$ Вт/м².

Таблиця 1 – Коефіцієнт корисної дії геліовікна

V , л	α , °	$\eta_{\text{ск}}$
15	90	0,15
5	50	0,45
25	50	0,55
15	50	0,76

Було проаналізовано коефіцієнт корисної дії геліовікна. Встановлено, що коефіцієнт корисної дії за даним сонячним колектором $\eta_{\text{ск}}$ досягав 70% при інтенсивності випромінювання 500 Вт/м².

Висновки

Підсумовуючи вище наведені дані, можна стверджувати, що запропонована конструкція геліовікна є ефективною для сонячного

теплопостачання. Зокрема, ефективність 31% потоку 50° відносно площини колектора та об'єму спостерігалась за інтенсивності надходження баку-акумулятора 15 л. сонячної енергії 100 Вт/м² при напрямку повітряного

Література

1. Медоуз Д. Х. *Пределы роста. 30 лет спустя.* / Медоуз Д. Х., Медоуз Д.Л., Рандерс Й. пер. с англ. – М.: Изд-во МГУ, 2007. – 342 с.
2. Благута А.О., Благута А.А., Благута І.А. Дніпропетровський обласний благодійний фонд «Екологія-Геос» / «Теплоагенти Благути» / «Ринок інсталяцій». - №11. -2007. – с. 28-30.
3. Гелетуха Г. Україна: нетрадиційні та відновлювані джерела енергії /Гелетуха Г., Кудря С. // Зелена енергетика.- 2005. - №2. - С. 8-10.
4. Вербинський В. Регіональна енергетична політика України: цілі та шляхи реалізації / Вербинський В., Земляний М. [За редакцією А. І. Шевцова] - Д.:Національний інститут стратегічних досліджень,2003.- С.64
5. Желих В. М. Потенціал промислової енергії в Україні та її використання для низькотемпературних сонячних колекторів / В. М. Желих, С. П. Шаповал, І. І. Вензрин. // НУ "ЛП". – 17. – С. 80.
6. *Let It Shine: The 6,000-Year Story of Solar Energy*
7. Ali Al Ajmi. *Achieving annual and monthly net-zero energy of existing building in hot climate* / Ali Al Ajmi, Hosny Abou-Ziyan, Adel Ghoneim. // *Applied Energy*. – 2016. – №165. – pp. 511–521.
8. Овсянникова І. Геліоколектор гарячого водопостачання і вентиляції/ І. М. Овсянникова, І. А. Немировський, А. М. Ганжа// Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Х.: НТУ «ХП», 2014. – № 13(1056). – С. 103–107. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2078-774X.
9. Альбедро и угловые характеристики отражения подстилающей поверхности и облаков: монография / [К. Я. Кондратьев, В. И. Биненко, Л. Н. Дьяченко и др.] – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1981. – 232 с.
10. *Solar Collectors and Panels, Theory and Applications.* Edited by Reccab Mochieng Croatia: Sciyo; 2010.

Стаття надійшла в редколегію 06.04.17

Рецензент: д.т.н., проф. О. С. Тітлов, Одеська національна академія харчових технологій, Одеса.

Шаповал Степан Петрович

Кандидат технических наук, доцент, ORCID: 0000-0003-4985-0930
Национальный университет «Львовская политехника», Львов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ЗА СЧЕТ КОМБИНИРОВАННОГО ГЕЛИООКНА

Аннотация. Актуальным вопросом современности является принцип энергоэкономии и рационального использования энергоресурсов. Для Украины энергетическая сфера является особенно важной, поскольку именно она в основном влияет на состояние национальной экономики. Доказано, что предложенная модель комбинированного гелиоокна возможна для применения в системах теплообеспечения. В статье рассмотрены результаты экспериментальных исследований изменения температуры теплоносителя в системе, коэффициента полезного действия солнечного коллектора и системы в целом.

Ключевые слова: альтернативные источники; солнечная энергия; эффективность

Shapoval Stepan

Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor, ORCID: 0000-0003-4985-0930
National University "Lviv Polytechnic", Lviv

THE USE OF SOLAR THERMAL ENERGY DUE TO THE COMBINED SOLAR WINDOW

Abstract. Pressing issue of our time is the principle of energy saving and rational use of energy resources. For Ukraine, the energy sector is particularly important because it mainly affects the state of the national economy. It is proved that the proposed model of the combined solar window for possible use in systems of heat supply. In the article the results of experimental researches of temperature changes of the coolant in the system efficiency of the solar collector and the system as a whole.

Key words: alternative sources; solar energy; efficiency

УДК 697.92

Шепітчак Володимир Богданович

Асистент, ORCID: 0000-0001-5883-548X

Національний університет "Львівська політехніка", Львів

Желих Василь Михайлович

Доктор технічних наук, професор, ORCID: 0000-0002-5063-5077

Національний університет "Львівська політехніка", Львів

Редько Андрій Олександрович

Доктор технічних наук, професор, ORCID: 0000-0003-2331-7273

Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків

**ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФРАЧЕРВОНИХ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ ПРИ ЇХ
ЗАСТОСУВАННІ У ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕННЯХ**

Анотація. Одним із важливих питань енергетичної політики країн ЄС та України є економне використання енергоносіїв. Ефективним способом забезпечення температурного режиму у виробничому приміщенні є використання інфрачервоних нагрівачів. Для забезпечення параметрів мікроклімату у виробничому приміщенні важливо розглядати комплексно систему опалення та вентиляції. Дані дослідження стосувалися визначення впливу швидкості руху повітряних потоків, потужності інфрачервоного нагрівача, ступеня чорноти огорожуючих конструкцій на температурний режим в робочій зоні виробничого приміщення. Отримані графічні та емпіричні залежності температури повітря в робочій зоні від інтенсивності опромінення, ступеня чорноти поверхні опромінення при різних швидкостях руху повітря.

Результати експериментальних досліджень показали, що при збільшенні швидкості руху повітря розподіл температур в поперечному перетині набуває рівномірного характеру.

Ключові слова: *опалення; тепло забезпечення; енергоощадні системи; променева енергія; площа опромінення; інтенсивність опромінення; інфрачервоні обігрівачі; поворотні випромінювачі; інфрачервона система опалення*

Вступ

Серед існуючих систем теплозабезпечення виробничих приміщень поширеними є системи повітряного опалення та системи конвективного опалення. Для забезпечення необхідного повітрообміну та підтримання сталої температури повітря у виробничому приміщенні, при застосуванні системи повітряного опалення, нагрів зовнішнього припливного повітря супроводжується витратами великої частки енергоресурсів.

Тому завданням сучасних систем теплозабезпечення виробничих приміщень є підтримання необхідних температурних параметрів в робочій зоні, що дозволить значно скоротити енерговитрати протягом економічно обґрунтованого періоду виробничого процесу.

Таким чином, для таких приміщень доцільно застосовувати інфрачервоні системи опалення. При

застосуванні цих систем здійснюється локальний нагрів робочої зони [1, 2, 3, 4].

За рахунок застосування таких систем можна досягнути зниження температури повітря в приміщенні на декілька градусів, що є важливим резервом теплової енергії. Пряме променеве опалення робочої зони й можливість забезпечення локального нагріву, на відміну від конвективного опалення, дають значний економічний ефект.

Експериментальне дослідження

Для проведення аналітичних досліджень температурного режиму робочої поверхні виробничих приміщень була розроблена спрощена модель теплових потоків (рис. 1). Вона відображає напрямки теплових потоків та їх взаємодію з джерелами теплоти. Оперуючи тепловими параметрами, можливо розробити тепловий баланс у зоні перебування з подальшим визначенням температурного режиму.

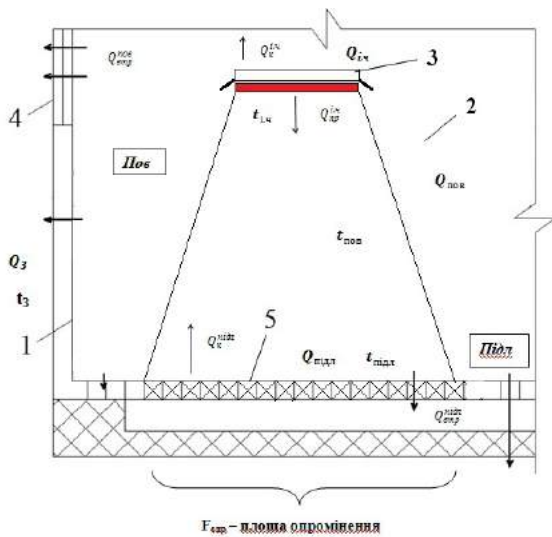


Рисунок 1 - Схема теплових потоків у зоні перебування:
 1 – зовнішня стіна; 2 – зона перебування;
 3 – інфрачервоний нагрівач; 4 – вікно; 5 – підлога.

де $Q_{п}$, [Вт] – тепловий потік (теплопровідність) через підлогу;

$Q_{к}^{пов.}$, [Вт] – тепловий потік (конвективний) від підлоги до повітря;

$Q_{пр.}$, [Вт] – тепловий потік (променевиї) від інфрачервоного джерела до підлоги;

$Q_{к}^{i.ч.}$, [Вт] – тепловий потік (конвективний) від інфрачервоного нагрівача до повітря;

$Q_{к}^{підл.}$, [Вт] – тепловий потік (конвективний) від повітря до підлоги;

$Q_{кпер.}$, [Вт] – тепловий потік (теплопередача) через підлогу до дозовкілля.

Тепловий баланс набуде такого вигляду:

$$Q_{пр.} + Q_{к}^{i.ч.} + Q_{к}^{підл.} - Q_{к}^{пов.} - Q_{п} - Q_{кпер.} = 0. \quad (1)$$

Теплопровідність через підлогу визначаємо наступним чином:

$$dQ_{п} = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_{підл.} - t_{з.}) \cdot dF_{підл.}, \quad (2)$$

де λ , [Вт/(м·°C)] – коефіцієнт теплопровідності підлоги;

δ , [м] – товщина шару підлоги;

$t_{підл.}$, [°C] – температура поверхні підлоги;

$t_{з.}$, [°C] – температура зовнішнього повітря;

$F_{підл.}$, [м²] – площа підлоги, що опромінюється;

Тепловіддачу від підлоги до повітря визначаємо, як

$$dQ_{к}^{пов.} = \alpha_{підл.} \cdot (t_{підл.} - t_{пов.}) \cdot dF_{підл.}, \quad (3)$$

де $\alpha_{підл.}$, [Вт/(м²·K)] – коефіцієнт тепловіддачі від поверхні підлоги;

$t_{пов.}$, [°C] – температура повітря;

Опромінення підлоги інфрачервоним нагрівачем знаходимо наступним чином:

$$dQ_{пр.}^{i.ч.} = c_{пр.} \cdot (t_{i.ч.}^4 - t_{підл.}^4) \cdot dF_{підл.}, \quad (4)$$

де $c_{пр.}$, [Вт/(м²·K⁴)] – приведений коефіцієнт випромінювання;

$$c_{пр.} = \varepsilon_{пр1-2} \cdot c_0 \cdot \varphi_{1-2} \cdot 10^{-8}, \quad (5)$$

де $\varepsilon_{пр1-2} = (\varepsilon_1^{-1} + \varepsilon_2^{-1} - 1)$ – коефіцієнти випромінювань робочих поверхонь;

c_0 – стала Стефана-Больцмана;

φ_{1-2} – кутовий коефіцієнт опромінення поверхонь, $\varphi_{1-2} = \frac{a}{h \cdot \pi}$;

h , – відстань від випромінювача до води,

a , – половина ширини зони опромінення.

$t_{i.ч.}$, [°C] – температура поверхні інфрачервоного джерела.

Величина ефективних коефіцієнтів теплообміну визначається, як сума коефіцієнтів конвективного і радіаційного теплообміну:

$$a = a_k + a_p = a_k + c_{пр.} \cdot 10^{-8} \cdot (T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2). \quad (6)$$

Теплообмін від променевого нагрівача до повітря рівний:

$$dQ_{к}^{i.ч.} = \alpha_{i.ч.} \cdot (t_{i.ч.} - t_{пов.}) \cdot dF_{i.ч.}, \quad (7)$$

де $\alpha_{i.ч.}$, [Вт/(м²·K)] – коефіцієнт тепловіддачі від екрану інфрачервоного випромінювача до повітря;

$F_{i.ч.}$, [м²] – площа поверхні екрану інфрачервоного випромінювача.

Тепловіддачу від повітря до підлоги обчислюємо:

$$dQ_{к}^{підл.} = \alpha_{підл.} \cdot (t_{пов.} - t_{підл.}) \cdot dF_{підл.}, \quad (8)$$

Теплопередачу через підлогу знаходимо за наступною формулою:

$$dQ_{кпер.} = k \cdot (t_{пов.} - t_{з.}) \cdot dF_{підл.}, \quad (9)$$

де k , [Вт/(м·°C)] – коефіцієнт теплопередачі через підлогу; який визначається:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (10)$$

Для моделювання теплових взаємодій площі опромінення запропонована теорія графів. Цю зону представлено, як систему теплових ємностей, між

елементами яких відбувається теплообмін, що взаємодіє із джерелами теплоти (рис. 2) [5, 6, 7].

У досліджуваній зоні виділені такі теплові ємності: повітря (*Пов.*) та підлога (*Підл.*) виробничого приміщення. Для технологічної зони джерелами теплоти є: інфрачервоний нагрівач ($Q_{i.ч.}$); доквілля (Q_3), що зображені як вершини (V_1) графа (G_1). Теплові потоки Теплові потоки у приміщенні q_i^{np} , що відповідають теплообміну між *i*-ми джерелами теплоти і тепловими ємностями на графі зображено у вигляді ребер (E_1), які пов'язують вершини.

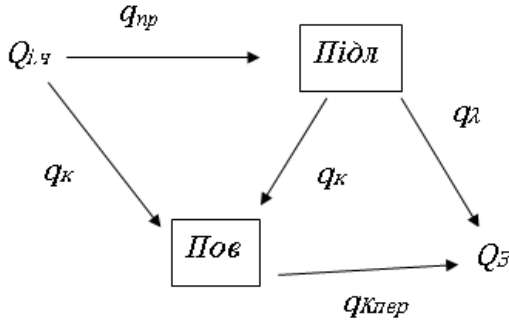


Рисунок 2 - Графік теплових потоків у зоні опромінення

Отже, множина вершин графа становить:

$$V_1(G_1) = \{Пов.; Підл.; Q_{i.ч.}; Q_3\}, \quad (11)$$

а множина ребер:

$$E_1(G_1) = \{(Q_{i.ч.}, Підл.), (Q_{i.ч.}, Пов.), (Q_3, Підл.), (Q_3, Пов.), (Підл., Пов.)\}. \quad (12)$$

Для теплових ємностей, що входять у граф як вершини, кількість ребер дорівнює:

$$\begin{aligned} \text{deg}(Підл.) &= 3, \\ \text{deg}(Пов.) &= 3. \end{aligned}$$

Матриця інцидентій M_1 для графа G_1 , в якій рядки відповідають вершинам (тепловим ємностям), а стовпці – ребрам (тепловим потокам), має такий вигляд:

	q_n	$q_k^{пов}$	q_{np}	$q_k^{i.ч.}$	$q_k^{підл.}$	$q_{kпер}$
Підл.	1	1	1	0	0	0
Пов.	0	0	0	1	1	1

Отже, матриця інцидентій є бінарною матрицею, елементи якої дорівнюють 0 або 1. З алгоритмічної точки зору матриця інцидентій є, напевне, найгіршим способом зображення графа. По-перше, цей спосіб вимагає $m \cdot n$ комірок пам'яті (m -стовпці; n -рядки), причому більшість цих комірок взагалі зайняті нулями; по-друге, незручним є доступ до інформації [8].

Відповідно розширена матриця із відображенням джерел теплоти матиме такий вигляд:

	Підл.	Пов.	Q
Підл.	0	$Q_{Підл.-Пов.}$	$Q_n + Q_k^{пов.} + Q_{np}^{i.ч.}$
Пов.	$Q_{Пов.-Підл.}$	0	$Q_k^{i.ч.} + Q_k^{підл.} + Q_{kпер}$

у якій Q_{i-y} – елементи матриці, що відповідає тепловій ємності *i* на ємність *y*. Q – елемент стовпчика джерела тепла, що відповідає тепловій дії цих джерел на ємність *y* рядку якої вони розміщені.

Отже, система рівнянь для теплової ємності підлога (*Підл.*) набуде вигляду:

$$\begin{cases} Q_{п} = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_{підл.} - t_3) \cdot F_{підл.}, \\ Q_k^{пов.} = \alpha_{нідл.} \cdot (t_{нідл.} - t_{нов.}) \cdot F_{нідл.}, \\ Q_{np}^{i.ч.} = c_{np} \cdot (t_{i.ч.}^4 - t_{нідл.}^4) \cdot F_{нідл.} \end{cases} \quad (14)$$

Система балансових рівнянь для теплової ємності повітря (*Пов.*) набуде вигляду:

$$\begin{cases} Q_k^{i.ч.} = \alpha_{i.ч.} \cdot (t_{i.ч.} - t_{нов.}) \cdot F_{i.ч.}, \\ Q_k^{нідл.} = \alpha_{нідл.} \cdot (t_{нов.} - t_{нідл.}) \cdot F_{нідл.}, \\ Q_{kпер} = k \cdot (t_{нов.} - t_3) \cdot F_{нідл.} \end{cases} \quad (15)$$

Припускаємо, що для теплової ємності (*Підл.*) температура повітря є нижчою від температури підлоги. Таким чином, рівняння збереження енергії для підлоги має наступний вигляд:

$$Q_{нідл.} = c_{np} \cdot (t_{i.ч.}^4 - t_{нідл.}^4) \cdot F_{нідл.} - \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_{нідл.} - t_3) \cdot F_{нідл.} - \alpha_{нідл.} \cdot (t_{нідл.} - t_{нов.}) \cdot F_{нідл.} \quad (16)$$

У випадку встановлення рівноваги між тепловими ємностями повітря (*Пов.*) та підлога (*Підл.*) існує тепла рівновага:

$$dQ_{нідл.} = dQ_{нов.} \quad (17)$$

Температура підлоги (поверхні) $t_{нідл.}$ приймається як середня за площею опромінення $F_{нідл.}$. Та за величиною більша від температури підлоги.

Рівняння збереження енергії для повітря має вигляд:

$$Q_{нов.} = \alpha_{i.ч.} \cdot (t_{i.ч.} - t_{нов.}) \cdot F_{i.ч.} + \alpha_{нідл.} \cdot (t_{нов.} - t_{нідл.}) \cdot F_{нідл.} - k \cdot (t_{нов.} - t_3) \cdot F_{нідл.} \quad (18)$$

Із наведених рівнянь визначена температура підлоги $t_{нідл.}$ (поверхні) у зоні опромінення $F_{нідл.}$:

$$c_{np} \cdot t_{нідл.}^4 + \frac{\lambda}{\delta} \cdot t_{нідл.} - k \cdot (t_{нов.} - t_3) + c_{np} \cdot t_{i.ч.} + \frac{\lambda}{\delta} \cdot t_3 - \alpha_{i.ч.} \cdot (t_{i.ч.} - t_{нов.}) = \frac{F_{i.ч.}}{F_{нідл.}} \quad (19)$$

Для отримання залежності між основними параметрами, що формують тепловий стан зони опромінення – температурою поверхні променевого нагрівача $t_{i.ч.}$, °С, температурою зовнішнього повітря t_3 , °С, температурою повітря $t_{нов.}$, °С, та площею підлоги $F_{нідл.}$, м² – були використані пакети прикладних програм MATCAD 15.01.

Висновки

На підставі розробленої фізичної моделі температурного режиму підтверджується доцільність застосування систем інфрачервоного опалення.

Із використанням теорії графів розроблена спрощена схема теплових потоків у зоні перебування, виділивши теплові ємності, між елементами яких відбувається теплообмін. Основними тепловими ємностями були прийняті повітря та підлога у робочій зоні.

Література

1. Анго М.А. Инфракрасные излучения. – Л.: Госэнергоиздат, 1957. – 81 с.
2. Бураковский Т., Гизинский Е., Саля А. Инфракрасные излучатели / Пер. с пол. – Л.: Энергия, 1978. – 408 с.
3. Ицксон В.С., Денисов Ю.Л. Инфракрасные газовые излучатели. – М.: Недра, 1969. – 277 с.
4. Konrad Wakowski "Siesi I instalacje gazowe. – Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2002.
5. Маляренко В. А. Техническая теплофизика ограждающих конструкций зданий и сооружений / Маляренко В. А., Редько А. Ф., Чайка Ю. И. – Харьков: Рубикон, 2001. – 280 с.
6. Математическое моделирование / под ред. Эндрюс Дж., Мак-Лоун Р.; [пер. с англ.]. – М.: Мир, 1979. – 278 с.
7. Математическое моделирование в инженерных расчетах сложных систем : [сб. науч. тр.]. – Днепропетровск: ДДУ, 1997. – 235 с.
8. Лыков А. В. Теплообмен: справочник / Лыков А. В. – М.: Энергия, 1972. – 560 с.

Стаття надійшла в редколегію 05.04.2017

Шепитчак Владимир Богданович

Ассистент, ORCID: 0000-0001-5883-548X

Национальный университет "Львовская политехника", Львов

Жельх Василий Михайлович

Доктор технических наук, профессор, ORCID: 0000-0002-5063-5077

Национальный университет "Львовская политехника", Львов

Редько Андрей Александрович

Доктор технических наук, профессор, ORCID: 0000-0003-2331-7273

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФРАКРАСНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ ПРИ ИХ ПРИМЕНЕНИИ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Аннотация. Одним из важных вопросов энергетической политики стран ЕС и Украины есть экономное использование энергоносителей. Эффективным способом обеспечения температурного режима в производственном помещении является использование инфракрасных нагревателей. Для обеспечения параметров микроклимата в производственном помещении важно рассматривать комплексно систему отопления и вентиляции. Данные исследования касаются определенного влияния скорости движения воздушных потоков, мощности инфракрасного нагревателя, степени черноты ограждающих конструкций на температурный режим в рабочей зоне производственного помещения. Полученные графические и эмпирические зависимости температуры воздуха в рабочей зоне от интенсивности облучения, степени черноты поверхности облучения при различных скоростях движения воздуха.

Результаты экспериментальных исследований показали, что при увеличении скорости движения воздуха распределение температур в поперечном сечении приобретает равномерный характер.

Ключевые слова: отопление; тепло, энергосберегающие системы; лучевая энергия; площадь облучения; интенсивность облучения; инфракрасные обогреватели; поворотные излучатели; инфракрасная система отопления

Shepitchak Volodymyr

assistant in department of Labor Protection, ORCID: 0000-0001-5883-548X

National University Lviv Polytechnic, Lviv

Vasyl Zhelykh

Doctor of technical science, Professor, ORCID: 0000-0002-5063-5077

National University Lviv Polytechnic, Lviv

Andrii Redko

Doctor of technical science, Professor, ORCID: 0000-0003-2331-7273

Kharkov National University of Construction and Architecture, Kharkiv

THE STUDY OF THE INFRARED HEATING SYSTEM IN THE PREMISES

Abstract. *One of the important question of energy policy of the EU and Ukraine is economical use of energy. An effective way to supply with temperature control in the premises is the use of infrared heaters. For providing with microclimate in industrial premises is important to use the complex heating and ventilation. These studies refer to determination of the influence of the velocity of the air flow, the power infrared heater, the degree of blackness on temperature in the working area of the premises. The graphic and empirical temperature dependences of the radiation intensity in the working area, the degree of blackness of the surface exposure at different velocities of the air flow have been done.*

The results of experimental studies have shown that increasing the velocity of air temperature distribution in the cross section becomes uniform.

Keywords: *heating, heating; energy-saving systems; radiant energy; space radiation; radiation intensity; infrared heaters; rotary heater; infrared heating system*

УДК 514.18

Якусевич Сергій Григорович

Аспірант кафедри архітектурних конструкцій КНУБА

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Плоский Віталій Олексійович

Доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри архітектурних конструкцій КНУБА, ORCID: 0000-0002-2632-8085

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ЕФЕКТИВНОГО ВЛАШТУВАННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОЇ ОБОЛОНКИ БУДИНКУ

***Анотація.** В роботі порушуються важливі аспекти ефективного підбору товщини утеплювача будівель та споруд. Системно проаналізовано основні чинники, що впливають на вибір матеріалу утеплювача, місця його влаштування та його товщини. Наведено принципи й найбільш уживані математичні закономірності, що дозволяють визначати ключові фізичні величини, які характеризують процеси переносу теплової енергії крізь товщу конструкції й відповідно втрати енергії. Запропоновано алгоритм раціонального розподілу матеріалу для утеплення в залежності від тепловтрат зовнішніх непрозорих огорожувальних конструкцій з застосуванням пінополіуретану та полістиролу.*

***Ключові слова:** теплопередача; тепловий потік; тепловтрати; температурні ізополя; фактор форми огорожувальної конструкції; тепла ізоляція*

Постановка проблеми

На сьогоднішній день, враховуючи економічну й політичну ситуації в країні, питання вітчизняного енергоресурсозбереження виходять на перший план.

Якщо зосередитися на загальному обсязі вироблення теплової енергії у різних секторах України, то виявиться, що за останні роки з 270 млн. МВт·год близько 182 млн. МВт·год припадає на котельні централізованих систем теплопостачання, а це понад 67%! Цікаво, що з решти виробленого тепла лише 20% відходить на потреби промисловості.

Ще одним вагомим фактом є те, що згідно оновленої «Енергетичної стратегії України до 2030 р.» планується збільшення вироблення теплоти в котельних: до 2030 року з 270 до 426 млн. МВт·год, причому для найбільшого сектору – будівництва та житлово-комунального господарства – споживання зросте з 181 млн. МВт·год до 187 млн. МВт·год, а це лише на 3.3%.

Все це свідчить про те, що загальне зростання споживання енергетичних ресурсів має частково стабілізуватися та врівноважуватися в основному за рахунок економії у секторі будівництва та житлово-комунального господарства.

Саме тому особливої уваги потребують питання енергозбереження в будівництві і

архітектурі, причому не лише в області нового будівництва, але й області теромодернізації вже існуючого будинкового фонду, оскільки відсоток новобудов дуже малий у порівнянні зі старою забудовою.

Розглядаючи загальний енергетичний баланс переважної більшості будівель (як сучасних, так і збудованих за радянських часів), легко помітити, що близько 80% теплової енергії втрачається через огорожувальні конструкції (стіни, покрівля, вікна, двері тощо). Решта 20% – переважно втрати через вентиляційні системи та за рахунок інфільтраційних процесів загалом.

Очевидно, що при такому розподілі тепловтрат, основним інструментом для їх перешкодження або усунення є заходи з підвищення ефективності роботи теплоізоляційної оболонки огорожувальних конструкцій будівель та споруд. Саме тому на теперішній момент активно розробляються та вже діють спеціальні загальнодержавні та місцеві програми з підтримки механізмів покращення енергетичних показників будівель, особливо в розділах утеплення стінових конструкцій, конструкцій покриття та заміни вікон.

На фоні вище зазначеного, стає очевидним: не менш важливою технічною задачею є раціональне застосування матеріалів для утеплення, що може дати відчутний економічний ефекти.

Методологія проектування утеплення

При проектуванні утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій інженери та архітектори мають вирішити три основні задачі:

1) відповідно до специфіки умов подальшої експлуатації обрати оптимальний матеріал (матеріали) для утеплення;

2) виходячи із конструктивних міркувань, визначитися з принципом кріплення утеплювача та з типом фасадної системи у цілому;

3) спираючись на теплотехнічні розрахунки підібрати відповідну товщину утеплювача.

При вирішенні першої задачі враховуються: призначення будівлі (житлова, громадська, промислова, сільсько-господарського призначення, і.т.д.); кліматологічні особливості району розміщення будинку (середня температура в холодну пору року, вологість повітря, агресивність середовища, наприклад, кислотність та ін.); особливості режиму провітрювання та режим експлуатації за санітарно-гігієнічними вимогами (з вологим, мокрим, сухим, нормальним режимами, або з надлишковим виділенням тепла).

При вирішенні другої задачі оцінюються конструктивні особливості несучих огорожувальних конструкцій, механічні властивості їх матеріалів та здатність до сприйняття додаткових навантажень від системи утеплення.

При вирішенні третьої задачі беруться до уваги теплотехнічні характеристики матеріалів несучих та самонесучих огорожувальних конструкцій будинку. Головним призначенням утеплення є перешкодження надмірним тепловтратам через товщу відповідних огорожувальних конструкцій. Основною характеристикою, що відображає здатність матеріалу пропускати теплову енергію, є опір теплопередачі, і чим цей опір вищий, тим менше тепла пропускає стіна виконана з досліджуваного матеріалу. Згідно з ДБН В.2.6-31-2006 [1], якщо непрозора огорожувальна конструкція термічно однорідна, то аналізується її загальний опір теплопередачі R_{Σ} , який розраховується за формулою:

$$R_{\Sigma} = R_3 + \sum_{i=1}^n R_i + R_B = \frac{1}{\alpha_3} + \sum_{j=1}^n \frac{\delta_j}{\lambda_{jP}} + \frac{1}{\alpha_B}, \quad (1)$$

де: R_B та R_3 – опори теплопередачі (або термічні опори) внутрішньої та зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}$; α_B та α_3 – коефіцієнти тепловіддачі цих поверхонь, $\text{Вт}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; δ_i та λ_{iP} – це товщина та теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, що вимірюються в м та $\text{Вт}/(\text{m} \cdot \text{K})$

відповідно; n – кількість шарів конструкції.

Якщо ж огорожувальна конструкція термічно неоднорідна і включає різні за теплопровідністю матеріали, то аналізується її приведений опір теплопередачі, який розраховується за формулою:

$$R_{\Sigma np} = R_3 + \sum_{j=1}^n \frac{R_{ie} \cdot F_i}{F_{\Sigma}} + R_B. \quad (2)$$

Тут: F_i – площа i -ї термічно однорідної зони, m^2 ; F_{Σ} – площа огорожувальної конструкції, m^2 ; R_{ie} – термічний опір i -ї однорідної зони, що визначається експериментально або на підставі моделювання двовимірною або тривимірною температурного поля, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}$, й розраховується за формулою:

$$R_{ie} = \frac{\bar{\tau}_{iB} - \bar{\tau}_{i3}}{q_i}, \quad (3)$$

де: $\bar{\tau}_{iB}$ та $\bar{\tau}_{i3}$ – середні температури внутрішньої та зовнішньої поверхонь i -ї термічно однорідної зони, $^{\circ}\text{C}$; q_i – щільність теплового потоку через термічно однорідну зону, $\text{Вт}/\text{m}^2$.

Відповідно до діючої нормативної документації (ДБН В.2.6-31-2016 «Теплова ізоляція будівель» [2]) для зовнішніх огорожувальних конструкцій має виконуватися обов'язкова вимога:

$$R_{\Sigma np} \geq R_{q \min}, \quad (4)$$

де: $R_{q \min}$ – мінімальне допустиме значення опору теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}$.

Для підбору $R_{q \min}$ огорожувальних конструкцій промислових будівель додатково розраховують величину теплової інерції D :

$$D = \sum_{i=1}^n R_i \cdot s_{iP}, \quad (5)$$

де: s_{iP} – коефіцієнт теплосасвоєння матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, $\text{Вт}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Визначившись із оптимальним матеріалом системи утеплення (знаючи його теплотехнічні характеристики, й у тому числі коефіцієнт теплопровідності – λ_{nP}), проектувальники користуються вкрай простим принципом: підставляють до рівності (4) праву частину виразу (1) та виражають з одержаної тотожності товщину утеплювача δ_n :

$$\delta_n \geq \lambda_{nP} \cdot \left(R_{q \min} - R_3 + \sum_{i=1}^{n-1} R_i + R_B \right). \quad (6)$$

Визначивши мінімальну товщину необхідного утеплення, проектувальники уточнюють її фактичним значенням, що відповідає товщині матеріалу того чи іншого виробника. При цьому остаточна товщина має бути не меншою за розрахункову.

Окрім того, ще однією вагомою вимогою [2], виконання якої слід обов'язково перевіряти після підбору утеплення, є неперевищення максимально допустимої різниці ΔT_{\max} між температурою внутрішнього повітря у приміщенні t_B й приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції $\tau_{B np}$:

$$\Delta T_{np} = t_B - \tau_{B np} < \Delta T_{\max}, \quad (7)$$

Наприклад, для зовнішніх стін житлових будинків $\Delta T_{\max} = 4^\circ\text{C}$, а для покриттів та перекриттів горищ $\Delta T_{\max} = 3^\circ\text{C}$. Приведена температура $\tau_{B np}$ становить:

$$\tau_{B np} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{\tau}_{Bi} \cdot F_i}{F_{\Sigma}}. \quad (8)$$

Середні температури $\bar{\tau}_{iB}$ розраховуються з наступних міркувань [3]. Кількість тепла Q , яке проходить за час $\xi = 1$ год. крізь площу термічно однорідного огороження $F = 1 \text{ м}^2$, складає:

$$Q = F \cdot \xi \cdot \frac{t_B - t_3}{R_{\Sigma}} = \frac{t_B - t_3}{R_{\Sigma}}. \quad (9)$$

де: t_B та t_3 – це відповідно температури повітря в приміщенні та зовні (на вулиці). При цьому кількість тепла Q_B , що сприймається тою самою площею поверхні від внутрішнього повітря складає:

$$Q_B = F \cdot \xi \cdot \frac{t_B - \tau_B}{R_B} = \frac{t_B - \tau_B}{R_B}. \quad (10)$$

В умовах стаціонарного теплового потоку величина Q має бути рівною величині Q_B :

$$Q = Q_B \text{ або } \frac{t_B - t_3}{R_{\Sigma}} = \frac{t_B - \tau_B}{R_B}, \quad (11)$$

звідки отримаємо температуру поверхні τ_B :

$$\tau_B = t_B - \frac{R_B}{R_{\Sigma}} \cdot (t_B - t_3). \quad (12)$$

За аналогічним принципом можна визначити температуру в будь-якому m -му перерізі користуючись наступною формулою:

$$\tau_B = t_B - \frac{R_B + \sum_{i=1}^m R_i}{R_{\Sigma}} \cdot (t_B - t_3). \quad (13)$$

Таку процедуру підбору товщини утеплювача й його перевірку необхідно повторювати для кожної ділянки зовнішніх огорожувальних конструкцій з відмінними стіновими матеріалами, товщиною, геометричними конфігураціями або теплопровідними включеннями.

Містки холоду

Наявність теплопровідних включень та зміни геометричної форми зовнішніх огорожувальних

конструкцій потребують особливої уваги, оскільки ці два випадки вагомо впливають на зміну розподілу ліній току теплової енергії в товщі конструкцій (див. рис. 1).

Теплопровідні включення значною мірою знижують опір теплопередачі огорожувальних конструкцій. Якщо включення займає велику ділянку стінової конструкції, то процес теплопередачі відбувається за одновимірною схемою – прямолінійно [4]. Однак на межі між теплопровідним та основним матеріалом стіни виникає двовимірне (або навіть тривимірне) температурне поле. При цьому температура на внутрішній поверхні межі змінюється від τ_B на поверхні основного матеріалу стінової конструкції до температури τ_T віддалено від межі на поверхні теплопровідного матеріалу. При великій ширині включення температура τ_X в його середній частині близька до τ_T . При менших розмірах включення температура τ_X відрізнятиметься і від τ_T , і від τ_B . Для окремих випадків геометричної конфігурації включення температура τ_X в його середині не є найнижчою. Більш низькою може виявитися температура на поверхні біля межі. Хоча різниця між цими температурами незначна. Для аналізу впливу включення на теплотехнічні властивості огорожувальної конструкції зручно користуватися показником відносно надлишкової температури η :

$$\eta = \frac{\tau_B - \tau_X}{\tau_B - \tau_T}, \quad (14)$$

що показує, на яку частку від перепаду температур $\tau_B - \tau_T$ знизилася температура τ_X в середині включення відносно τ_B . Зі зростанням відношення ширини включення до товщини стіни від 0 до 2 величина η змінюється від 0 до 1. Відтак, якщо відоме значення η для даного включення (як містка холоду), то, знаючи типові величини τ_B та τ_T , можна визначити й τ_X .

Такий же принцип може застосовуватися й для характеризування будь-яких інших містків холоду довільної природи (включаючи ті, що спричинені геометрією конструкцій). Якщо в якості η прийняти відношення різниці мінімальної температури поверхні й температури зовнішнього повітря ($\tau_{\min} - t_B$) до різниці температур зовні й в середині ($t_3 - t_B$):

$$\eta = \frac{\tau_{\min} - t_B}{t_3 - t_B}, \quad (15)$$

то, знаючи величину η (розуміючи природу містка холоду) та температури t_3 і t_B , можна визначити найнижчу температуру внутрішньої поверхні.

Пошук містків холоду та їх усунення чи передбачення на етапі проектування

теплоізоляційної оболонки є дуже важливою задачею, пов'язаною з санітарно-гігієнічними міркуваннями. Річ у тім, що часто у місцях виникнення містків холоду через постійні переохолодження й утворення конденсату утворюється цвіль, яка негативно впливає на здоров'я людини та спричиняє руйнівну дію на матеріали огорожувальних конструкцій.

Нажаль, через усереднені підходи у визначенні теплотехнічних показників конструктивних вузлів огорожувальних конструкцій (див. формули (2) та (8)), деякі з містків холоду та надмірні тепловтрати просто не вдається ідентифікувати. І як результат запроєктована товщина теплоізоляційного шару є рівномірною на більшій частині поверхні, не враховуючи змінний характер розподілу тепловтрат.

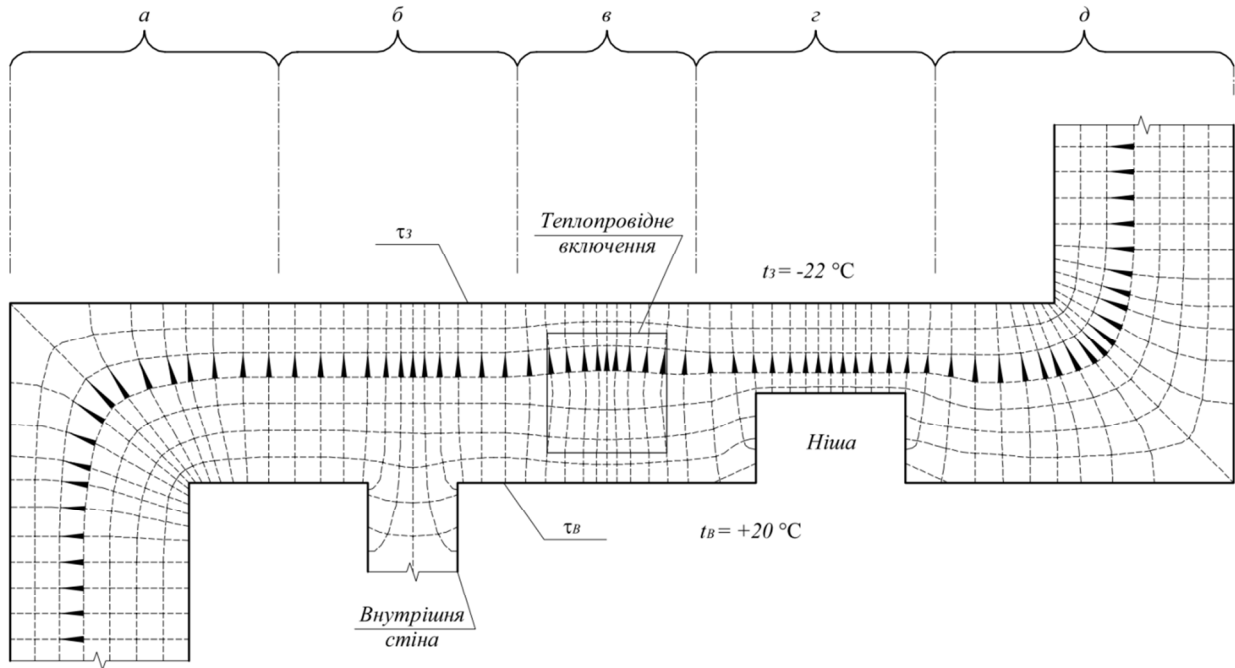


Рисунок 1 – Розподіл ізотерм та ліній току теплового потоку в зовнішній огорожувальній конструкції.

a – зовнішній кут будівлі; *б* – фрагмент приєднання внутрішньої стіни до зовнішньої огорожувальної конструкції; *в* – фрагмент із теплопровідним включенням; *г* – фрагмент із внутрішнім заглибленням (нішою) в товщі зовнішньої стіни; *д* – внутрішній кут будівлі

Розрахунок теплових полів конструкцій. Вплив геометричних та фізичних факторів

Найбільш ефективним підходом до підбору товщини утеплювача є аналіз характеру теплових ізополів у перерізах досліджуваних огорожувальних конструкцій. Для побудови температурного поля можна застосовувати один із методів чисельного моделювання [5, 6, 7, 8, 9], що базуються на переході від диференціальної форми запису рівнянь теплопровідності до дискретної, шляхом складання системи лінійних рівнянь для множини визначених упорядкованих точок (вузлів) досліджуваної ділянки конструкції з подальшим розв'язанням одержаної системи відносно невідомих вузлових температур. Ця задача досить трудомістка, тому інженери намагаються використовувати спрощені моделі та методи. Так для відносно протяжних однорідних плоских

ділянок стін користуються одновимірними моделями та вдаються до простих аналітичних розрахунків на основі формул типу (12) і (13). Якщо стінова конструкція має складну форму і побудови двовимірного поля не уникнути, то часто застосовують графічний метод побудови ізополів. Цей метод оснований на побудові ортогональної сітки криволінійних квадратів, утвореній лініями току тепла й ізолініями. В межах кожного квадрату намагаються середню відстань між сусідніми ізотермами зробити рівною відстані між сусідніми лініями току [4]. Підраховуючи число труб (утворених сусідніми лініями току), та їх довжини визначають величини теплових втрат, приведені опори теплопередачі та інше. На рисунку 1 продемонстровано фрагмент стінової конструкції з ізотермами й лініями току, побудованими графічним методом. Існують й більш складні напіваналітичні методи розрахунків, такі як метод суперпозицій та метод електротеплової аналогії. Звичайно, застосування всіх цих методів вимагає значного

досвіду розрахунків й інженерної практики.

В результаті відтворення повної картини температурного поля стає можливою оцінка щільності ліній току теплової енергії. Це, в свою чергу, дозволяє прослідкувати усі траєкторії теплових втрат від нагрітих внутрішніх поверхонь до холодних зовнішніх граней зовнішніх стін. Такий підхід дає змогу порівняти площу внутрішніх нагрітих системою опалення та іншими джерелами теплової енергії стінових конструкцій (включаючи примикаючі до зовнішніх стін внутрішні несучі стіни й перегородки) та зовнішню площу огорожень, крізь яку внутрішнє тепло покидає будівлю. Саме на основі даних розрахунків й визначаються фактори форми геометрично складних ділянок та теплопровідних включень [4]. Для прикладу розглянемо фрагмент зовнішньої стіни з двома кутами (зовнішнім та внутрішнім), примиканням внутрішньої міжкімнатної стіни, зміною товщини та теплопровідним включенням (див. рис. 1).

Розподіл ліній току на зовнішньому куті стіни (див. рис. 1.а) демонструє причину того, чому в середині приміщення температура цієї зони завжди нижча за температуру на протяжних гладких ділянках. Очевидно, що в результаті сходження в кутовому з'єднанні двох плоских ділянок стіни, кожна з яких в однаковій мірі втрачає теплову енергію, на лінії перетину внутрішніх площин виникає концентрація ліній витоку теплової енергії (які перпендикулярні ізотермам). З фізичної точки зору площа зовнішньої кутової поверхні, яка за рахунок трансмісійного переносу віддає тепло назовні значно більша, ніж площа внутрішньої поверхні стіни, з якої ця енергія надходить у глибокий матеріал огороження. Це спричиняє пониження температури внутрішньої поверхні зовнішнього кута. При цьому температурне поле в цьому місці має двовимірний характер і через суміжні ділянки (калібри – ділянки відповідні товщині стіни) кутовий фрагмент частково компенсує розподіл власних втрат тепла. Саме тому в межах відстані, рівної двом калібрам від зовнішнього кута по зовнішній поверхні, кількість тепла, яке втрачається, на 32% менше ніж втрачається через таку ж площу на стіновій гладі. Через внутрішню поверхню зовнішнього кута втрачається на 18% більше, ніж на внутрішній гладі на відстані 2-х калібрів від кута. Очевидно, що першопричина тепловтрат в цьому випадку носить суть геометричний характер.

На внутрішньому куті будинку (див. рис. 1.д) виникає зворотна проблема. Через аналогічний характер розподілу ізотерм при зворотному напрямку поширення ліній току на зовнішній

поверхні внутрішнього кута тепловтрати на 32% вищі, а на внутрішній – на 18% нижчі.

В місцях, де з внутрішньою поверхнею огорожувальної конструкції з'єднуються внутрішні міжкімнатні стіни або перегородки (див. рис. 1.б) виникає підвищення інтенсивності теплового потоку, який надходить безпосередньо від добре прогрітої з двох сторін внутрішньої стіни. Цей потік за умови трансмісії тепла спричиняє підвищені втрати енергії на зовнішній поверхні огорожувальної конструкції.

Проблема, яка виникає при тепловтратах у місцях зменшення товщини стіни (див. рис. 1.г) також частково носить геометричний характер, оскільки бічні поверхні заглиблень (ніш) збільшують загальну внутрішню площу поверхні огороження, яка поглинає більшу кількість тепла й передає відповідно на меншу площу зовнішніх стін. В результаті, на зовнішній поверхні стін в місцях та біля ніш тепловтрати зростають. Окрім того, ця проблема носить й фізичний характер, оскільки зменшення товщини стіни призводить до зниження опору її теплопередачі.

У випадках наявності теплопровідних включень (див. рис. 1.в), проблематика надмірних тепловтрат носить суто фізичний характер через зниження загального показника опору теплопередачі в місцях включень.

В переважній більшості випадків причини надмірних тепловтрат носять змішаний характер та обумовлюються як фізичними, так і геометричними особливостями огорожувальних конструкцій, що легко побачити на прикладі перехідних зон на рисунку 1.

Раціональне проектування теплоізоляції

Як зазначалося раніше, проектування теплоізоляційної оболонки будинку доцільно розпочинати з відтворення температурних полів різних фрагментів огорожувальних конструкцій для чіткого розуміння характеру тепловтрат на різних ділянках. Підбір товщини утеплювача за формулою (6) може здійснюватися лише на значних за протяжністю прямолінійних ділянках без примикання внутрішніх перегородок, ніш, теплових включень та за відсутності інших складних конструктивних вузлів з додатковим геометричним ускладненням. Те ж стосується і формули (9) для визначення величини тепловтрат через товщу огороження. При цьому аналіз тепловтрат є найбільш об'єктивним інструментом при підборі товщини обраного типу утеплювача, оскільки, якщо спиратися на величини опорів теплопередачі конструкцій за приведеними показниками

температур та площ поглинаючих й віддаючих тепло поверхонь, то існує висока ймовірність не врахувати значну площу поверхонь, переохолоджених за рахунок наявності містків холоду.

Відтак, пропонується наступний алгоритм дій.

1. Чисельне моделювання температурного поля. На основі проведеного розрахунку мають бути зафіксовані показники температур на зовнішній та внутрішній поверхнях огорожувальної конструкції. Ще перед початком моделювання варто визначитися із оптимальним кроком решітки вузлів розрахункової моделі. Вибір кроку має обумовлюватися загальною геометрично складністю будинку та може змінюватися на окремих ділянках стін. Також, крок сітки необхідно згущувати в зонах підвищення температури зовнішньої поверхні та в зонах пониження температури внутрішніх поверхонь.

2. Розрахунок інтенсивності та кількості тепловтрат на поверхні типової протяжної ділянки огорожувальної конструкції та визначення опору теплопередачі цієї ділянки.

3. Розрахунок товщини утеплення для типової протяжної ділянки огорожувальної конструкції. Після цього необхідно перевірити виконання усіх санітарно-гігієнічних нормативних вимог в тому числі умови (7).

4. Визначення інтенсивності та кількості тепловтрат на поверхні інших фрагментів зовнішніх огорожувальних конструкцій із обраним кроком.

5. Визначення товщини утеплення на усіх досліджуваних ділянках (з обраним кроком) зовнішніх огорожувальних конструкцій шляхом інтерполювання на основі значень тепловтрат та товщини утеплення типової протяжної ділянки зовнішньої стіни.

Запропонований алгоритм передбачає, що товщина утеплення буде змінною й пропорційною тепловтратам в кожній точці огорожувальної конструкції. На відміну від класичного способу підбору й влаштування теплоізоляційних матеріалів, даний підхід передбачає раціоналізацію витрат теплоізоляційних матеріалів, на основі мінімізації й рівномірного перерозподілу втрати тепла між усіма фрагментами огорожувальної конструкції.

Для практичного втілення запропонованого підходу утеплення найбільш доцільно звернутися до сучасних технологій улаштування теплоізоляції із напилувального пінополіуретану. В такому випадку нанесення утеплювача можна буде здійснювати з точністю до одного сантиметра, без різких перепадів й чіткого розмежування шарів наплення (рис. 2). Зважаючи на високу ціну такого типу утеплення, оптимізація його витрат є особливо актуальною.

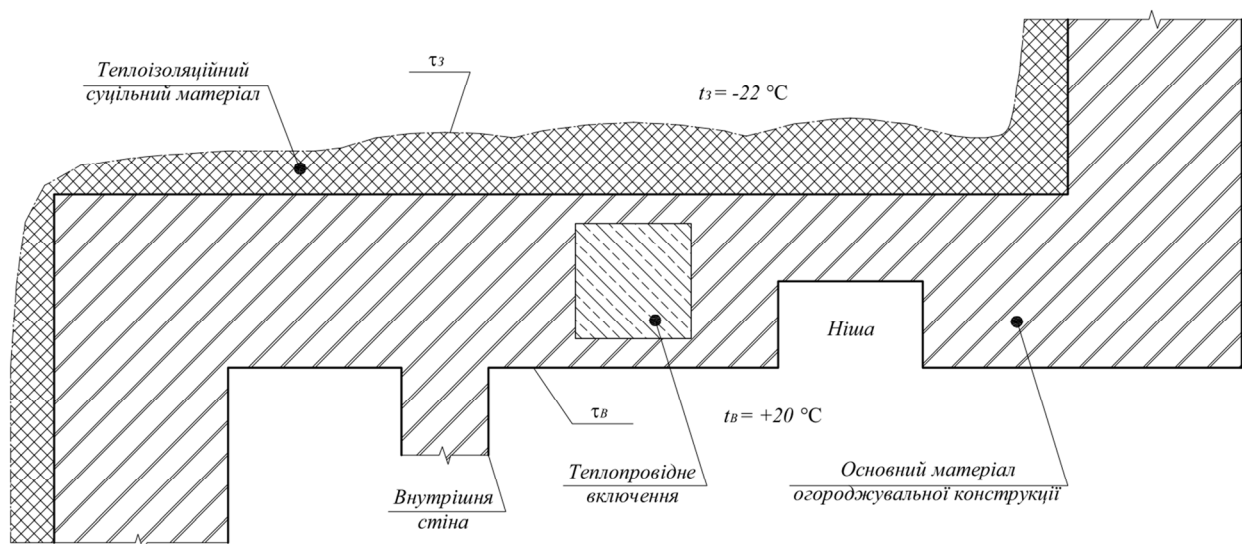


Рисунок 2 – Улаштування суцільного шару утеплювача (з напилувального пінополіуретану, наприклад)

Цілком допустимим є й влаштування пошарової теплової ізоляції з використанням полістирольних плит, наприклад (рис. 3). В такому випадку теплоізоляція носитиме більш дискретний характер та не дозволить досягти економії матеріалу

в повному обсязі у зв'язку з тим, що полістирольні плити випускаються лише у певних типорозмірах та з певною товщиною листа. Натомість, даний підхід не вимагає високої кваліфікації виконавців.

Висновки

Запропонований алгоритм визначення змінної товщини теплоізоляційного шару представляє інтерес не лише для громадських будинків, але й для будівель та споруд промислового або сільськогосподарського призначення. Особливий інтерес представляє його застосування з використанням технології напіння пінополіуретану. Доцільно застосовувати такий тип утеплення при проектуванні й улаштуванні систем вентиляційного фасаду.

Слід додати, що представлений алгоритм потребує подальшого розвитку й удосконалення,

оскільки вимагає визначення величин тепловтра на різних ділянках фасаду, що є досить складною і трудомісткою задачею.

Перспективним напрямком досліджень являється також розробка математичного апарату моделювання теплових полів без застосування громіздких чисельних методів розрахунків. Наприклад, застосування інтерполяційних формул для відтворення температурних полів в досліджуваній зоні могло б значно скоротити витрати часу при побудові ліній току, розрахунку тепловтра, а також при пошуку містків холоду в зовнішніх огорожувальних конструкціях.

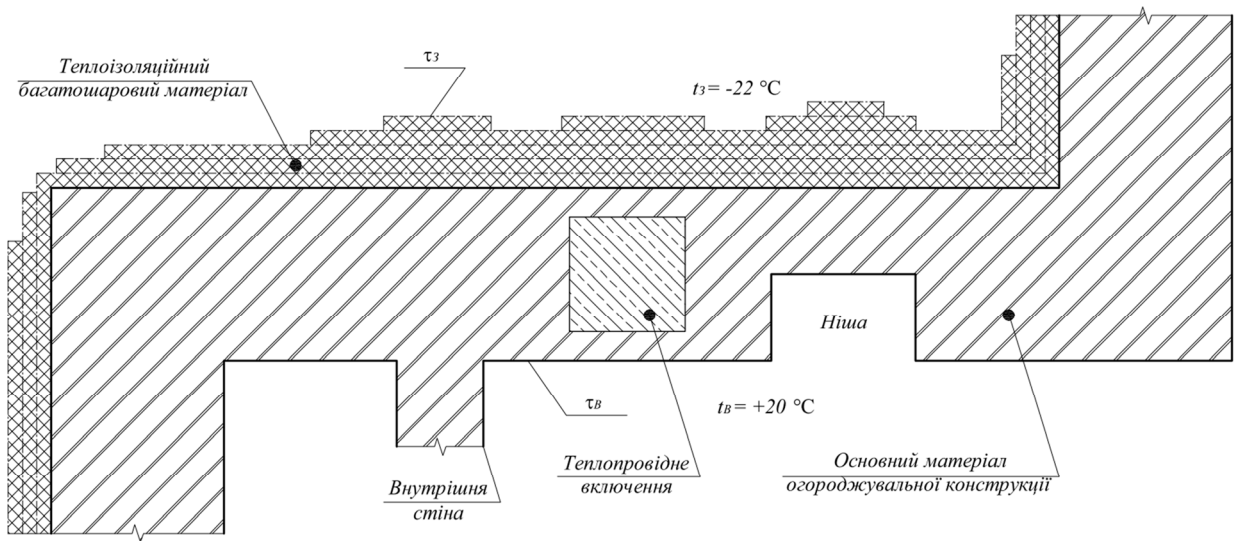


Рисунок 3 – Улаштування багатошарового утеплювача (з полістиролу, наприклад)

Література

1. ДБН В.2.6-31-2006 Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. – К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. – 73 с.
2. ДБН В.2.6-31-2016 Теплова ізоляція будівель. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва, та житлово-комунального господарства України, 2017. – 33 с.
3. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. Изд. 3-е, перераб. и доп. / К. Ф. Фокин. – М.: Стройиздат, 1973. – 287 с.
4. Богославский В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): Учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. / В. Н. Богославский – М.: Высшая школа, 1982. – 415 с.
5. Несис Е. И. Методы математической физики / Е. И. Несис. – М.: «Просвещение», 1977. – 199 с.
6. Пехович А. И. Расчёты теплового режима твёрдых тел. Изд. 2-е, перераб. и доп. / А. И. Пехович, В. М. Жидких. – Ленинград: «Энергия», 1976. – 352 с.
7. Самарский А. А. Введение в теорию разностных схем / А. А. Самарский. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1971. – 553 с.
8. Самарский А. А. Вычислительная теплопередача / А. А. Самарский, П. Н. Вабищевич. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 784 с.
9. Самарский А. А. Численные методы / А. А. Самарский, А. В. Гулин. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 432 с.
10. Wong H. Y. Handbook of Essential and Data on Heat Transfer for Engineers / H. Y. Wong. – London – New York: Longman Group, 1977. – 216 p.

Стаття надійшла в редакцію 01.04.2017

Рецензент: д.т.н., проф. О.В. Сергейчук, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Якусевич Сергей Григорьевич

Аспирант кафедры архитектурных конструкций КНУБА,

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

Плоский Виталий Алексеевич

Доктор технических наук, профессор,

заведующий кафедрой архитектурных конструкций КНУСА, ORCID: 0000-0002-2632-8085

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ЭФФЕКТИВНОГО УСТРОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ ОБОЛОЧКИ ДОМА

Аннотация. В работе поднимаются важные аспекты эффективного подбора толщины утеплителя зданий и сооружений. Системно проанализированы основные факторы, влияющие на выбор материала утеплителя, места его устройства и его толщины. Приведены принципиальные и наиболее употребляемые математические закономерности, позволяющие определять ключевые физические величины, характеризующие процессы переноса тепловой энергии через толщину конструкции и соответственные потери энергии. Предложен алгоритм рационального распределения материала для утепления в зависимости от теплопотерь внешних непрозрачных ограждающих конструкций с применением пенополиуретана и полистирола.

Ключевые слова: теплопередача; тепловой поток; теплопотери; температурные изополя; фактор формы ограждающей конструкции; тепловая изоляция

Yakusevych Serhii

Postgraduate student at the department of Architectural Structures of KNUCA,

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Ploskyi Vitalii

Doctor of Technical Science, Professor,

Head of the department of Architectural Structures of KNUCA, ORCID: 0000-0002-2632-8085

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

CERTAIN ASPECTS OF AN EFFECTIVE SETTING UP OF THERMAL INSULATION LAYER OF BUILDING

Abstract. In this work important aspects of the effective selection of insulation layer thickness of buildings and structures are raised. Systematically the main factors affecting the choice of insulation material, the location of its setting up and its thickness are analyzed. Principled and most used mathematical laws were shown, allowed to determine the key physical quantities, characterizing the processes of thermal energy transfer through the thickness of the structure as well as the energy loss. An algorithm for the rational distribution of material for thermal insulation depending on the heat loss of external opaque enclosing structures using polyurethane foam and polystyrene is proposed.

Keywords: heat transfer; heat flow; heat loss; temperature isopoles; factor of enclosing structure shape; thermal insulation

УДК 699.86

Басок Борис Іванович

Член кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор, завідувач відділу теплофізичних основ енергоощадних технологій Інституту технічної теплофізики НАН України, *ORCID: 0000-0002-8935-4248*
Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ

Давиденко Борис Вікторович

Доктор технічних наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник відділу теплофізичних основ енергоощадних технологій Інституту технічної теплофізики НАН України, *ORCID: 0000-0001-8738-7612*
Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ

Гончарук Світлана Михайлівна

Кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник відділу теплофізичних основ енергоощадних технологій Інституту технічної теплофізики НАН України, *ORCID: 0000-0002-5609-7337*
Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ

ДОСЯГНЕННЯ КЛАСУ ВИСОКОЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ

Анотація: В статті представлені концептуальні підходи щодо підвищення енергоефективності житлово-комунального сектору. Для визначення заходів щодо досягнення будівель класу високої енергетичної ефективності створено науково-технічну лабораторію, в якій здійснюється комплекс теплофізичних досліджень теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій.

Ключові слова: енергоефективність; енергозбереження; тепловтрати; будівля; теплоперенесення.

Постановка проблеми

Питання енергоефективності та енергозбереження в комунальному господарстві є одними з найважливіших для кожної країни. Вирішення проблеми енергоефективності в комунальній промисловості можливе шляхом спорудження енергоефективних, пасивних будівель та впровадження сучасних схем та систем теплозабезпечення з використанням альтернативних джерел енергії, оптимальних заходів з термомодернізації чи термомодернізації існуючого фонду будівель країни. Важливим етапом досліджень при цьому є встановлення основних концептуальних основ з досягнення будівель високого енергоефективного рівня.

Аналіз основних досліджень та публікацій

Питання забезпечення енергоефективності житлових будівель є стратегічним напрямом розвитку будівельної галузі в Україні та економіки в цілому. З кожним роком житловий фонд України збільшується, але переважну кількість будинків побудовано за старими технологіями, які є енергозатратними та потребують значних капіталовкладень для зменшення енерговитрат на їх експлуатацію. Щорічно житловий сектор споживає близько 10 млрд кВт·год електроенергії, 1,5 млн т вугілля. При цьому втрати теплової енергії впродовж року складають понад 13 млрд Гкал, що становить 11 % обсягів відпущеної теплової енергії [1]. Найбільші втрати теплової енергії, близько 30 % – у житловому фонді та до 25 % – у зовнішніх теплових мережах. Тепловтрати житлових будівель складають: через зовнішні стіни 30 – 40 %,

через вікна і балконні двері – 20 – 30 %, конструкції перекриття – 4 – 6 %, підвальні перекриття і цоколи – 3 – 5% і до 50 % при теплообміні в квартирах [2]. Тому, в першу чергу, для забезпечення енергоефективності житлового будівництва необхідно на етапі проектування закладати енергозберігаючі технології та нові методи енергозбереження.

Міжнародний досвід свідчить, що реформа житлово-комунального господарства (ЖКГ) - це тривалий процес, який може розтягнутися на десятиліття, тому вимагає забезпечення до неї високої довіри з боку суспільства. Приведення тарифів до ринкового рівня (як частина реформи) відбувається поступово. Наприклад, Угорщина почала тарифну реформу в середині 90-х минулого століття, але тарифи там продовжували субсидіювати до 2010-го року. Такий підхід дозволяє узгоджено реалізовувати всі елементи реформи, забезпечуючи економічні та соціальні передумови для її продовження [3]. Проведений аналіз закордонного досвіду реконструкції та модернізації житлових будівель в [4] показав, що загальна ефективність від прийнятих заходів значно підвищується при комплексній реконструкції, як об'єднаному багатоваріантному рішенню конкретних завдань ресурсо- та енергозбереження по кожній будівлі (в процесі перебудови, надбудови чи добудови, прибудови будівель) та в інженерних мережах.

У зв'язку з необхідністю економії енергії і теплоізоляції у країнах ЄС пішли шляхом розробки спеціальних директив, призначених для стандартизації в країнах-членах ЄС будівельних нормативів з підвищення енергоефективності будівель [5]. Згідно європейських норм енергетична класифікація будинків наступна:

1) Пасивний (A+): до 15 кВт·год./м²·рік;

- 2) Низькоенергетичний (А): 15 - 45 кВт·год./м²·рік;
 3) Енергоощадний (В): 45 - 80 кВт·год./м²·рік;
 4) Середньоенергоощадний (С): 80 -100 кВт·год./м²·рік;
 5) Середньоенергоємний (D): 100 - 150 кВт·год./м²·рік;
 6) Енергоємний (Е): 150 - 250 кВт·год./м²·рік;
 7) Високоенергоємний (F): понад 250 кВт·год./м²·рік

Енергоефективність будинку оцінюється величиною витрат теплоти на 1 м² площі будинку за опалювальний період або рік (кВт·год. / м²·рік) або витратами теплоти на нагрівання 1 м³ повітря об'єму будинку за опалювальний період (кВт·год. / м³·рік).

Більшість будівель існуючого житлового фонду України, згідно з цією енергетичною класифікацією, належить до енергоємного класу, в той час, як в європейських країнах енергоощадність будинків має високий клас А та А+.

В Україні, згідно зі стандартом ДБН В 2.6. – 31:2006 [6], існує класифікація енергоефективності будинків та розроблені методики для розрахунків питомих витрат. Але нормативні вимоги орієнтовані переважно на обмеження витрат на теплопостачання будівель і потребують приведення до європейських стандартів комфортного проживання та будівництва пасивних будівель.

Основна частина

Одним із основних принципів проектування та будівництва енергоефективних будівель є ефективне застосування енергоресурсів, що використовуються на енергопостачання будівлі. Це можливо шляхом прийняття економічно обґрунтованих та технічно можливих інноваційних рішень, що водночас є екологічно та соціально прийнятними. Методологія проектування енергоефективного будинку повинна ґрунтуватися на системному аналізі споруди як єдиної енергетичної системи [7].

Проектування енергоефективних будівель повинно виконуватися на основі достовірної інформації щодо теплотехнічних характеристиках енергозберігаючих зовнішніх огорожувальних конструкцій (ОК) і систем тепло-, водо-, електропостачання та вентиляції в реальних умовах їх тривалої експлуатації. Саме з цією основною метою в Інституті технічної теплофізики НАН України побудовано науково-технічну теплофізичну лабораторію з енергоефективності будівель, яка представляє собою експериментальний пасивний будинок (рис. 1) [8-10].

Основні положення щодо створення експериментального пасивного будинку ІТТФ НАН України - наступні:

- а) будинок створюється, як науково-технічна та технологічна теплофізична лабораторія;
 б) ланцюжок послідовної реалізації проекту, з урахуванням перспективного розвитку: будинок високої енергоефективності (75 кВт·год./м² в рік) – пасивний будинок (15 кВт·год./м² в рік) – будинок 0-теплової енергії – будинок 0-теплової та 0-електричної

енергії – Smart-Grid-0-Energy будинок («розумний будинок»);

в) в будинку планується використовувати відновлювальну екологічно чисту енергію доквілля і перспективні технології автоматизації та інформатизації;

г) будинок будується, як будинок полегшеного типу без втрат міцності (полегшені стіни; полегшені плити перекриття).

Головною метою досліджень є визначення енергетично, економічно та екологічно оптимального комплексу заходів для оптимізації енергоспоживання будівлі до рівня будинку високоенергоефективного типу.

Основною перевагою цієї споруди серед будівель пасивного типу, побудованих в Україні, є створення розгалуженої автоматизованої вимірювальної системи, яка оснащена теплотічильниками, лічильниками електроенергії, датчиками температури, теплового потоку, вологості і відповідними вимірювально-контрольними пристроями, комп'ютерною системою збору, обробки і візуалізації даних. Також впроваджені різні сучасні системи, що використовують альтернативні і поновлювані джерела енергії (енергія сонячного прямого і розсіяного випромінювання, енергія вітру, енергія спалювання твердого біопалива для резервного або аварійного теплопостачання, теплова енергія природного ґрунту, повітря, води з водозабірної свердловині, утилізація теплової енергії димових газів і т.д.). Вимірювальні датчики розміщуються в будівельних конструкціях, в системах теплопостачання та вентиляції, в навколишньому ґрунті, повітрі та приміщеннях (безперервні вимірювання полів температур, теплових потоків, вологості, тиску, витрати повітря, витрати води витрати теплової енергії, зовнішніх кліматичних параметрів).

Для вибору системи теплопостачання енергоефективних будівель важливо знайти оптимальне значення опору теплопередачі ОК. Як відомо, витрати теплової енергії на опалення споруди на пряму залежать від її тепловтрат. Тому створення високоенергоефективної теплоізоляційної ОК будівлі є одним із основних завдань енергоефективного будівництва. В даний час на ринку матеріалів для будівництва ОК високої теплоізоляційної спроможності, що використовуються в енергоефективних будівлях, існує досить багато пропозицій, що відрізняються між собою якісними і цінними показниками. Розробка енергоефективних теплоізоляційних тримісних конструкцій стін та раціональний вибір додаткового матеріалу для утеплення можливі шляхом порівняльного аналізу різних варіантів компонок багатошарових ОК стін енергоефективного будинку.

На основі проведених досліджень з підвищення теплоізоляційної спроможності енергоефективних будівель можна рекомендувати перелік практичних технічних та організаційних заходів з підвищення енергоефективності будівель:



Рисунок 1 - Експериментальний пасивний будинок (м. Київ, вул. Булаховського, 2)

1. Термомодернізацію слід розпочинати із заміни старих вікон на енергоефективні світлопрозорі конструкції (оптимально - із двома низькоемісійними і-покриттями та 5-камерним профілем рам).

2. Додатково використовувати спеціальний теплоізоляційний короб (товщиною профілю до 6 см) в віконній проїмі і в нього монтувати енергоефективну віконну конструкцію.

3. Використовувати подвійні вікна з пасивним тепловим повітряним захистом.

4. Перевагу слід надавати клейовим (скріпленим) фасадам.

5. Обов'язково організувати теплоізоляцію даху і горища.

6. Максимально уникати містків холоду в фасадних системах термомодернізації.

7. Проводити утеплення зовні.

8. Організувати вітчизняне виробництво теплоізоляційних плит товщиною 12 та 15 см.

9. Налагодити виробництво клейових сумішей, пристосованих до використання в умовах помірнотеплих температур.

10. Реалізувати клейові фасади, що передбачають можливість утворення вільноконвективних циркулюючих і пульсуючих повітряних потоків, як аналогів теплової повітряної завіси, або мікрорентильованих клейових фасадів системи утеплення.

11. Розробка і виробництво вітчизняних клейових будівельних сумішей із високою паропроникністю.

12. Створення вентиляційних отворів для виведення перезволоженого повітря на зовні із систем термоізоляції.

13. Реалізувати пасивний тепловий захист зовнішніх стін, наприклад, через ґрунтові теплообмінники.

14. Реалізувати контрольовану рекуперативну примусову повітряну вентиляцію.

15. Заглиблювати цокольний поверх будівлі в ґрунтовий масив із внутрішньою теплоізоляцією підлоги підвалу і зовнішньою теплоізоляцією його фундаментних стін.

При проектування будівлі враховувати розу і значення швидкості вітрів в опалюваний період та інтенсивність сонячного прямого та розсіяного випромінювання.

Висновки

Створений в ІТТФ НАН України експериментальний енергоефективний будинок забезпечує тестування та дослідження технічних рішень, спрямованих на підвищення енергоефективності будівель, а також теплозахисних характеристик будівельних матеріалів і енергозберігаючих конструкцій.

Література

1. Комеліна О.В. Сучасні проблеми забезпечення енергоефективності житлового будівництва України / О.В. Комеліна, С.А. Щербініна // Проблеми економіки. - №3. - 2014. - сС 108-114.
2. Сердюк В.Р. Енергозбереження в будівництві. Вимоги сьогодення / В.Р. Сердюк, С.Ю. Францишина // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - 2009. - №4. - С.17-21.
3. Акімова І. Четыре условия успешной реформы ЖКХ / И. Акімова // «Зеркало недели. Украина» №42, 2016.

4. Сунак П.О. Аналіз заходів реконструкції житлового фонду закордонном / П.О. Сунак, Ю.А. Мельник, О.В. Мельник та ін. // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. зб. –К: КНУБА, 2014. – Вип. 54. – С. 397-410.
5. Сердюк В. Р. Сучасні підходи зменшення енергоспоживання індивідуальних житлових будинків [Електронний ресурс] / В. Р. Сердюк, А. А. Гріщенко // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції "Інноваційні технології в будівництві-2016", м. Вінниця, 5-7 листопада 2016 р. - Електрон. текст. дані. - Вінниця : ВНТУ, 2016. - Режим доступу : <http://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2016/paper/view/1590>.
6. ДБН В 2.6-31:2006 Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. Чинний з 01.04.2007. – Київ: Мінбуд України, 2006. – 68 с. (зі змінами 2013 року)
7. Табуничиков Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табуничиков, М.М. Бродач–М.: АВОК-ПРЕСС, 2002.– 194 с.
8. Basok B. Creating of experimental passive house in the institute of engineering thermophysics / B. Basok, M. Novitska, A. Nedbailo, M. Khibina, S. Goncharuk // Proceedings of 8-th International Green Energy Conference. – Monograph. – NAU, June 17-19, 2013. –P. 234-238.
9. Basok B.I. The polyvalent heat supply system for passive-type experimental building (area of 300 m²) based on renewable and alternative energy sources / B.I. Basok, I.K. Bozhko, T.G. Belyaeva, S.M. Goncharuk, O.M. Nedbailo, M.P. Novitska, M.A. Khybyna // Science and Innovation. – 2014. – V. 10., No. 6. – P. 31-46.
10. Гончарук С.М. Створення експериментального енергоефективного будинку пасивного типу «нуль енергії» / С.М. Гончарук, М.Ф. Калініна, І.К. Божко, Л.М. Кужель, О.М. Лисенко // Промышленная теплотехника. – 2014. – Т. 36, № 3. – С. 88-95.

Стаття надійшла до редколегії 07.04.2017

Басок Борис Иванович

Член корреспондент НАН України, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом теплофизических основ энергосберегающих технологий Института технической теплофизики НАН Украины, ORCID: 0000-0002-8935-4248
Институт технической теплофизики НАН Украины, Киев

Давыденко Борис Викторович

Доктор технических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник отдела теплофизических основ энергосберегающих технологий Института технической теплофизики НАН Украины, ORCID: 0000-0001-8738-7612
Институт технической теплофизики НАН Украины, Киев

Гончарук Светлана Михайловна

Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела теплофизических основ энергосберегающих технологий Института технической теплофизики НАН Украины, ORCID: 0000-0002-5609-7337
Институт технической теплофизики НАН Украины, Киев

ДОСТИЖЕНИЕ КЛАССА ВЫСОКОЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ

Аннотация: В статье представлены концептуальные подходы по повышению энергоэффективности жилищно-коммунального сектора. Для определения мероприятий по достижению зданий класса высокой энергетической эффективности создано научно-техническую лабораторию, в которой осуществляется комплекс теплофизических исследований теплотехнических характеристик ограждающих конструкций.

Ключевые слова: энергоэффективность; энергосбережение; теплопотери; здание; теплоперенос.

Basok Boris

Corresponding Member of NAS of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Thermophysical Basics of Energy-Saving Technologies of the Institute of Engineering Thermophysics of the NA S of Ukraine, ORCID 0000-0002-8935-4248
Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine, Kyiv

Davydenko Boris

Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Chief Researcher of the Department of Thermophysical Basics of Energy-Saving Technologies of the Institute of Engineering Thermophysics of the NA S of Ukraine, ORCID 0000-0001-8738-7612
Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine, Kyiv

Goncharuk Svetlana

Ph.D., Leading Researcher of the Department of Thermophysical Basics of Energy-Saving Technologies of the Institute of Engineering Thermophysics of the NA S of Ukraine, ORCID: 0000-0002-5609-7337
Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine, Kyiv

ACHIEVING A CLASS OF HIGH ENERGY EFFICIENCY BUILDINGS

Abstract: The article presents conceptual approaches to increase the energy efficiency of the housing and communal sector. To determine the measures to achieve buildings of high energy efficiency class, a scientific and technical laboratory has been created in which a complex of thermophysical studies of thermal engineering characteristics of enclosing structures is carried out.

Keywords: energy efficiency; energy saving; heat loss; building; heat transfer

Hanna Borucińska –Bieñkowska

Faculty of Building, Architecture and Environmental Engineering, Department of Architecture and Urban Planning, University of Zielona Gora, Poland

SOCIAL AND ECONOMIC URBANIZATION PROCESSES IN COMMUNES IN A METROPOLITAN AREA AND DEVELOPMENT OF ENERGY EFFICIENT TECHNOLOGIES. CASE STUDY: POZNAŃ METROPOLLITAN AREA

***Abstract.** The article discusses selected social and economic changes taking place in communes of a metropolitan area following a political transformation period in Poland, Central and Eastern Europe. Dynamic urbanization of communes of Polish metropolitan areas was one of numerous results of socio-economic transformation of the country after 1989. The process played an important part in shaping both functional-spatial systems and awareness of self-governmental authorities and local communities in terms of the values of development of integrated systems of technical infrastructure. Rapid changes taking place during the first years of the social and economic transformation caused a few negative functional-spatial phenomena in the communes bordering the central city. The analysis covered processes taking place in communes of the Poznań county (Wielkopolskie province), which constitute a considerable part of the Poznań Metropolitan Area (Polish POM). Monitoring processes which promote increased electricity demand (of both social and economic nature, including migration and increase in the number of economic operators in years 2000-2010 and 2010-2016) taking place in areas of communes within the impact area of the central city may enable self-governments to implement sustainable development rules and facilitate both controlled urbanization of communes of Polish metropolitan areas and correct sustainable development of technical infrastructure.*

***Keywords:** urbanization; metropolitan area; central city; revitalization*

Introduction

The development of Polish metropolitan areas intensified after the political transformation period in 1989. Social and economic transformation commenced rapid urbanization of the communes adjacent to the central city. The phenomenon was caused by various aspects, one of which was economic. The development of technical infrastructure, convenient public transport services and labour supply gave rise to transformations of communes neighbouring the central city.

The demise of large-scale State-Owned Farms (Polish PGR) and collective farms seriously affected the transformation of agricultural production environment into housing areas or business activation areas. The transformation process intensified along with human migration from the central city into the communes within the impact zone of the central city, and it considerably affected further urbanization of rural areas.

The interest in the communes adjacent to the central city and the issues of degraded areas were two among other reasons that justified introduction of changes in the spatial planning and management act¹

and creation of the revitalization act². It should be highlighted that pro-development actions (including revitalization) require reference to numerous programming documents at local, regional, national and European levels.

A series of studies on the European metropolitan area was carried out in an ESPON (European Spatial Planning Observation Network) research programme. In the four-level MEGA (Metropolitan European Growth Area) scale, Poznań, along with Kraków, Łódź, the Upper Silesian Conurbation, Szczecin, Tricity and Wrocław fell into the fourth level category [after: G.Gorzela, M. Smętkowski *Metropolia i jej region w gospodarce informacyjnej*, University of Warsaw, Warsaw, 2005].

The article presents results of an analysis of selected socio-economic issues concerning 17 communes of the county of Poznań. They are: 2 urban communes, 8 urban-rural communes and 7 rural communes, all of which are situated within the impact zone of the central city of Poznań.

¹ Currently in force: the Act of 27 March, 2003 on Spatial Planning and Management (Journal of Laws 2003, no 80, item 717 as amended).

² Currently in force: the Act of 9 October, 2015 (Journal of Laws 2015, item 1777).



Key:


-  borders of countries
-  central city (Poznań Metropolitan Area)
-  cities of european Pentagon (London, Hamburg, Munchen, Milan, Paris)
-  capitals of European countries

Figure 1. Capitals of European countries, european Pentagon, Poznań Metropolitan Area
 Source: author's study based on data from: G. Gorzelak, M. Smętkowski, *Metropolia i jej region w gospodarce informacyjnej*, University of Warsaw, Warsaw 2005.

2. Human migration

Social resources of communes of the metropolitan area constitute its greatest value. Investigation of human migration processes renders it possible to establish tendencies and directions of the socio-economic changes, and they influence functional-spatial transformation of communes. It should be highlighted that urbanization of rural communes bordering the

central city has affected the shape and size of the Poznań Metropolitan Area (Polish POM). The borders of POM do not overlap with borders of counties of the Wielkopolskie province; therefore, the article analyzes the communes which are within the impact zone of the central city and which constitute the county of Poznań

The dynamics and extent of the above-mentioned processes reflect tendencies of the ongoing transformations. In years 2000-2010, 26,640 people left

the central city, which constituted 4,6% of the population of Poznań in 2000. In contrast, in years 2010-2015, the number totalled 13,266, i.e. 2,4 % of the population of Poznań in 2010. If we take it into consideration that the former figures span 10 years (2000-2010) and the latter span 5 years (2010-2015), it can be concluded that although the migration pace is on the decline, it is a continuous process and that depopulation of the central city is in progress. People living in the adjacent communes form a new social and economic quality. New residential areas are being created while the old ones are evolving, and as new businesses start up, the economic zone develops, which generates new jobs, ensures more money for the

commune's needs, and activates local trade and service market thus boosting electricity demand. Well-educated

staff employed in the new businesses affect the development of local communities, and are both a provider and recipient of services, including sports and recreation. The wide spectrum of influence affected transformation of technical infrastructure of the communes.

Self-governmental authorities and local communities take decisions to create and direct the ongoing changes onto the sphere of sustainable development. They also need to live up to the increased electricity demand; new technologies and the development of information society render it possible to apply integrated efficient technologies in architecture and building construction as early at the spatial planning and management stage.

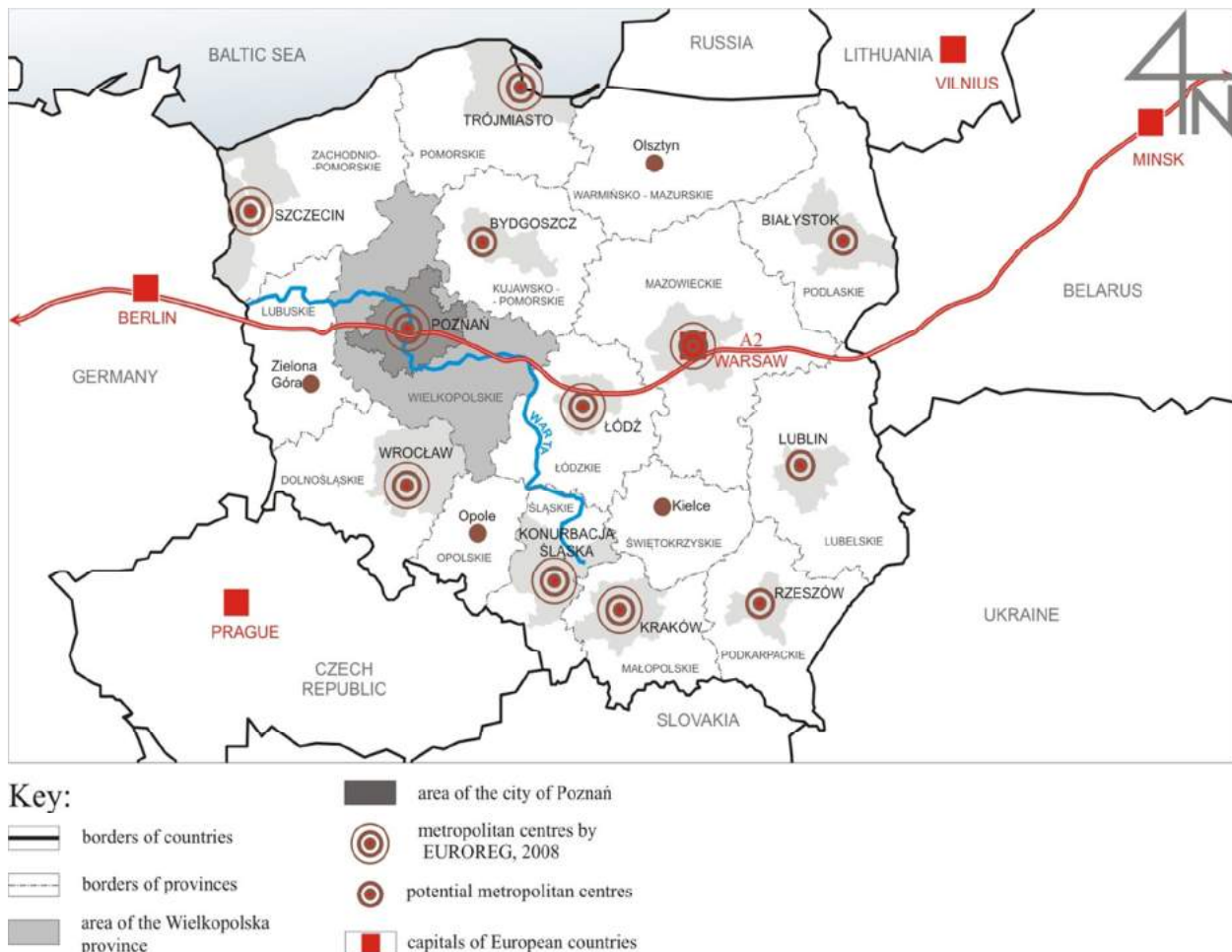


Figure 2. Polish cities forming metropolitan areas

Source: author's study based on data from: *Terytorialne zróżnicowanie sytuacji społeczno-gospodarczej w województwie wielkopolskim w latach 1990 -2003*. Statistical Office in Poznań, Poznań 2005, *Obszary meropolitalne w Polsce problemy rozwojowe i delimitacja*. EUROREG, Warszawa, May 2008.

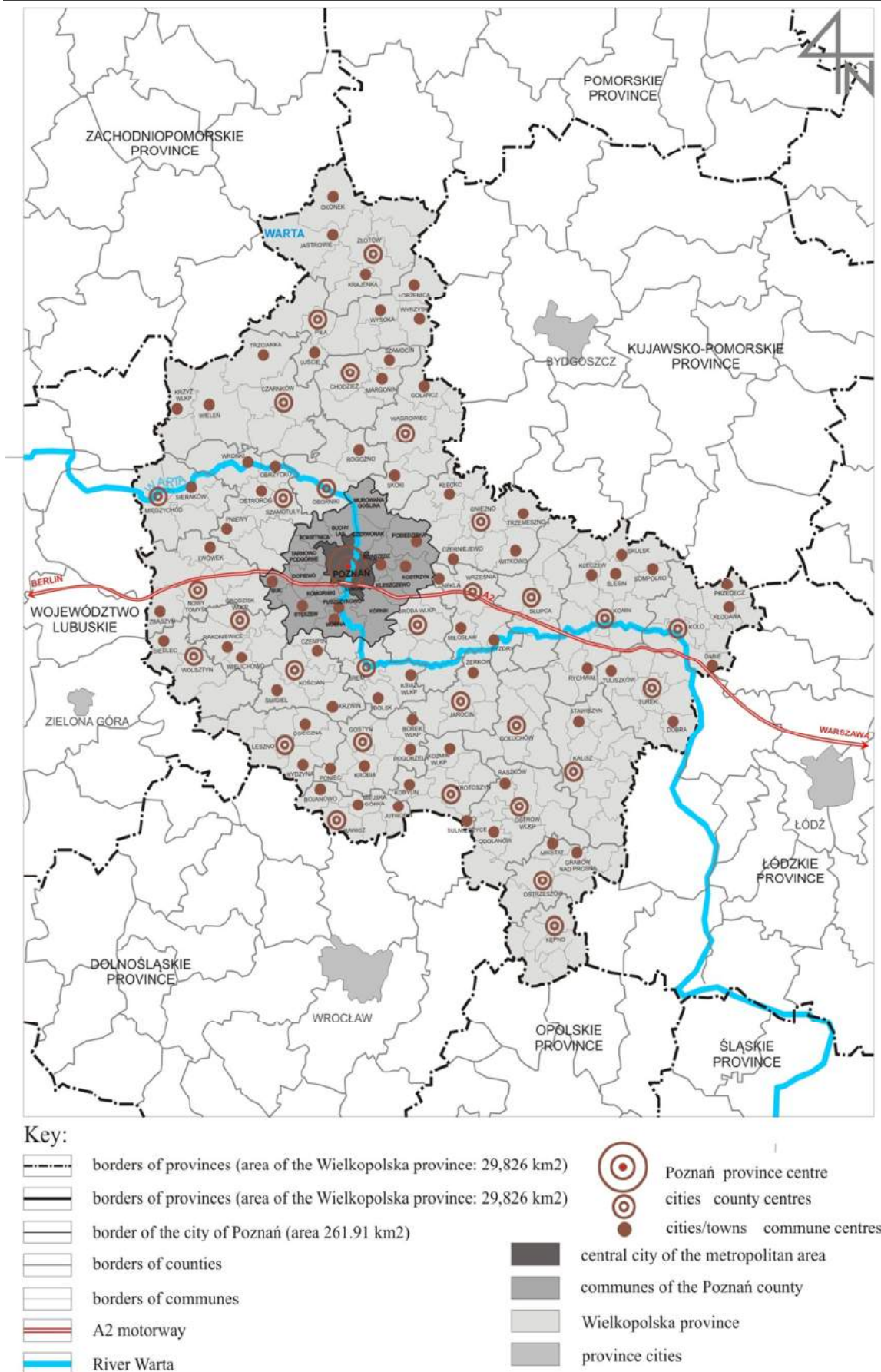


Figure 3. Communes of the county of Poznań in the administrative system of the Wielkopolska province
 Source: author's study based on data from: *WOJEWÓDZTWO WIELKOPOLSKIE Podregiony, Powiaty, Gminy*, Statistical Office in Poznań, Poznań 2011.

Table 1. - Population in communes of the county of Poznań in years 2000-2010
urban communes – U, rural communes – R, urban-rural communes – U-R

No.	Commune	Type of commune	2000	2010	Balance	%
1	City of Poznań	U	582,254	555,614	-26,640	-4,6
COUNTY OF POZNAŃ						
2	Suchy Las	R	10,129	14,822	4,693	46,3
3	Czerwonak	R	21,522	25,995	4,473	20,8
4	Swarzędz	U-R	36,513	44,521	8,008	21,9
5	Kleszczewo	R	4,689	6,166	1,477	31,5
6	Kórnik	U-R	14,955	20,973	6,018	40,2
7	Kostrzyn	U-R	15,139	17,067	1,928	12,7
8	Puszczykowo	U	8,983	9,734	751	8,4
9	Luboń	U	23,589	29,762	6,173	26,2
10	Mosina	U-R	23,570	27,778	4,208	17,9
11	Stęszew	U-R	13,414	14,453	1,039	7,7
12	Komorniki	R	11,677	19,732	8,055	69,0
13	Dopiewo	R	10,702	18,290	7,588	70,9
14	Buk	U-R	11,622	12,215	593	5,1
15	Tarnowo Podgórne	R	16,140	21,677	5,537	34,3
16	Rokietnica	R	7,729	12,528	4,799	62,1
17	Murowana Goślina	U-R	15,107	16,417	1,310	8,7
18	Pobiedziska	U-R	15,038	18,115	3,077	20,5
	Total		842,772	885,859	43,087	5,1

Source: author's study. Data from publications: *Województwo Wielkopolskie. Podregiony, Powiaty, Gminy 2001*. Statistical Office in Poznań, Poznań, 2001, *Województwo Wielkopolskie. Podregiony, Powiaty, Gminy 2011*. Statistical Office in Poznań, Poznań, 2011.

Table 2. - Population in communes of the county of Poznań in years 2010 – 2015
urban communes – U, rural communes – R, urban-rural communes – U-R

No.	Commune	Type of commune	2010	2015	Balance	%
1	City of Poznań	U	555,614	542,348	-13,266	-2,4
COUNTY OF POZNAŃ						
2	Suchy Las	R	14,822	16,510	1,688	11,4
3	Czerwonak	R	25,995	27,094	1,099	4,2
4	Swarzędz	U-R	44,521	47,947	3,426	7,7
5	Kleszczewo	R	6,166	7,500	1,334	21,6
6	Kórnik	U-R	20,973	24,774	3,801	18,1
7	Kostrzyn	U-R	17,067	17,741	674	3,9
8	Puszczykowo	U	9,734	9,753	19	0,2
9	Luboń	U	29,762	31,067	1,305	4,4
10	Mosina	U-R	27,778	31,088	3,310	11,9
11	Stęszew	U-R	14,453	14,910	457	3,2
12	Komorniki	R	19,732	25,572	5,840	29,6

Table 2.

No.	Commune	Type of commune	2010	2015	Balance	%
13	Dopiewo	R	18,290	23,453	5,163	28,2
14	Buk	U-R	12,215	12,389	174	1,4
15	Tarnowo Podgórne	R	21,677	24,694	3,017	13,9
16	Rokietnica	R	12,528	15,679	3,151	25,2
17	Murowana Goślina	U-R	15,107	16,760	1,653	10,9
18	Pobiedziska	U-R	15,038	19,106	4,068	27,1
	Total		881,472	908,385	26,913	3,1

Source: author's study. Data from publications: *Województwo Wielkopolskie. Podregiony, Powiaty, Gminy 2011*. Statistical Office in Poznań, Poznań, 2011, *Województwo Wielkopolskie. Podregiony, Powiaty, Gminy 2016*. Statistical Office in Poznań, Poznań, 2016.

Business activity

The growing number of residents of the communes adjacent to the central city has boosted development of numerous business areas, and to meet the growing need for changes, local self-governments introduced far reaching functional-spatial modifications. The current strategic and spatial planning documents (a study of conditions and directions of spatial management and a study of local spatial management plan respectively)

include provisions which render it possible to develop farmland into residential areas or areas of business activation. The changes allow numerous business entities to be situated in the communes within the impact zone of the central city (Tables 3 and 4). Provisions obliging investors to apply integrated efficient energy systems and pro-ecological technologies should be introduced as early as at the stage of planning solutions.

Table 3. - *National economy entities in communes of the county of Poznan in years 2000-2010 in the national business registers: KRUPGN-REGON (2000) and REGON (2010) urban communes – U, rural communes – R, urban-rural communes – U-R*

No.	Commune	Type of commune	2000	2010	Balance	%
1	City of Poznań	U	80,53	98,092	17,566	21.8
COUNTY OF POZNAN						
2	Suchy Las	R	1,543	2,932	1,389	90.0
3	Czerwonak	R	1,990	3,143	1,153	57.9
4	Swarzędz	U-R	1,108	6,684	5,576	503.2
5	Kleszczewo	R	240	611	371	154.6
6	Kórnik	U-R	1,525	3,019	1,494	98.0
7	Kostrzyn	U-R	1,186	1,755	569	48.0
8	Puszczykowo	U	1,262	1,825	563	44.6
9	Luboń	U	2,970	4,229	1,259	42.4
10	Mosina	U-R	2,508	3,561	1,053	42.0
11	Stęszew	U-R	1,108	1,630	522	47.1
12	Komorniki	R	1,339	3,090	1,751	130.8
13	Dopiewo	R	938	2,586	1,648	175.7
14	Buk	U-R	1,123	1,630	507	45.1
15	Tarnowo Podgórne	R	2,453	4,172	1,719	70,1
16	Rokietnica	R	770	1,698	928	120.5

Table 3.

No.	Commune	Type of commune	2000	2010	Balance	%
17	Murowana Goślina	U-R	1,588	2,314	726	45.7
18	Pobiedziska	U-R	1,408	2,251	843	59.9
	Total		105,585	145,222	39,637	37,5

Source: author's study. Data from publications: *Województwo Wielkopolskie. Podregiony, Powiaty, Gminy 2001.* Statistical Office in Poznań, Poznań, 2001. *Województwo Wielkopolskie. Podregiony, Powiaty, Gminy 2011.* Statistical Office in Poznań, Poznań, 2011.

Table 4. - National economy entities in communes of the county of Poznan in years 2010-2015 in the national business registers REGON
urban communes – U, rural communes – R, urban-rural communes – U-R

No.	County	Type of commune	2010	2015	Balance	%
1	City of Poznań	U	98,092	108,821	10,729	10,9
	COUNTY OF POZNAŃ					
2	Suchy Las	R	2,932	3,608	676	23,1
3	Czerwonak	R	3,143	3,346	203	6,5
4	Swarzędz	U-R	6,684	7,327	643	9,6
5	Kleszczewo	R	611	914	303	49,6
6	Kórnik	U-R	3,019	3,736	717	23,7
7	Kostrzyn	U-R	1,755	2,001	246	14,0
8	Puszczykowo	U	1,825	1,947	122	6,7
9	Luboń	U	4,229	4,752	523	12,4
10	Mosina	U-R	3,561	4,178	617	17,3
11	Stęszew	U-R	1,630	1,802	172	10,6
12	Komorniki	R	3,090	4,412	1,322	42,8
13	Dopiewo	R	2,586	3,810	1,224	47,3
14	Buk	U-R	1,630	1,738	108	6,6
15	Tarnowo Podgórne	R	4,172	5,193	1,021	24,5
16	Rokietnica	R	1,698	2,359	661	38,9
17	Murowana Goślina	U-R	2,314	2,303	-11	-0,5
18	Pobiedziska	U-R	2,251	2,491	240	10,7
	Total		145,222	164,738	19,516	13,4

Source: author's study. Data from publications: *Województwo Wielkopolskie. Podregiony, Powiaty, Gminy 2011.* Statistical Office in Poznań, Poznań, 2011. *Województwo Wielkopolskie. Podregiony, Powiaty, Gminy 2015.* Statistical Office in Poznań, Poznań, 2016.

The extent and quality of the ongoing changes in the development of the economic sector directly influences functional-spatial development of communes adjacent to the central city. The dynamic increase in the number of business entities is proof of high social activation. The range of this process in years 2000-2010, which saw an increase in the number of business entities by 37,5%, and years 2010-2015, when the increase amounted to 11,6%, shows that the trend continues. The increase in the number of business entities occurred both

in the central city (despite the negative balance of population) and in the communes of the county of Poznań. Likewise, human migration processes and the growing number of business entities reflect the continuous tendencies of transformations in those Polish cities which, along with the adjacent communes, form metropolitan areas.

Conclusion

Tendencies of transformations of Polish metropolitan areas and dynamic development of technical infrastructure are affected by social and economic processes. The dynamics of these phenomena can be easily observed in communes within the impact zone of the central city, whose expansion caused many adjacent communes to lose their original agricultural character. Farmland was transformed into residential areas or areas of business activation. The functional-spatial changes contributed to modernization, build and development of technical infrastructure, and they improved economic conditions of local communities. Development of technical infrastructure and public transport network boosted and strengthened metropolitanization processes. The example of the analyzed selected issues concerning transformations of those

Poznań county communes (which are part of the Poznań Metropolitan Area) renders it possible to conclude that the transformation is a dynamic process and it gives rise to further urbanization of the communes within the impact zone of the central city.

The pace and extent of the ongoing socio-economic and functional-spatial processes require continuous monitoring and analysis of the processes concerning development of technical infrastructure and energy management. This is possible through application of integrated energy efficient technologies in architecture and building construction, which should involve not only local self-governments of the communes which constitute a metropolitan area long with the central city, but also scientific communities.

References

1. Borucińska-Bieñkowska H., *Wpływ transformacji społeczno-gospodarczej aglomeracji na kierunki rozwoju gmin*, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra 2013.
2. Borucińska-Bieñkowska H., *Proces urbanizacji terenów wiejskich gmin powiatu poznańskiego*, Politechnika Śląska, Gliwice 2016.
3. Gorzelak G., Smętkowski M., *Metropolia i jej region w gospodarce informacyjnej*, Uniwersytet Warszawski, Warszawa 2005.
4. Gorzelak G., *Polska lokalna 2007*, Uniwersytet Warszawski, Centrum Europejskich Studiów Regionalnych i Lokalnych, Wydawnictwo Naukowe SCHOLAR, Warszawa 2008.
5. Smętkowski M., *Nowe relacje między metropolią i regionem w gospodarce informacyjnej*, *Studia Regionalne i Lokalne*, nr 4, Warszawa 2001.
6. *Strategia rozwoju województwa wielkopolskiego do 2020 roku*, Zarząd Województwa Wielkopolskiego, Poznań 2005.
7. *Terytorialne Zróżnicowanie Sytuacji Społeczno - Gospodarczej w Województwie Wielkopolskim w latach 1999-2003*, Urząd Statystyczny w Poznaniu, Poznań 2005.
8. *Ustawa z 27.03.2003 o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym*. Dz.U. Nr 80, poz.717.
9. *Województwo Wielkopolskie. Podregiony, Powiaty, Gminy 2011*. Urząd Statystyczny w Poznaniu, Poznań 2011.
10. *Województwo Wielkopolskie. Podregiony, Powiaty, Gminy 2015*. Urząd Statystyczny w Poznaniu, Poznań 2015.

Стаття надійшла в редакцію 17.03.2017

Рецензент: д.т.н., проф. В.О. Плоский, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Hanna Borucińska –Bieñkowska

Faculty of Building, Architecture and Environmental Engineering, Department of Architecture and Urban Planning, University of Zielona Gora, Poland

ZWIĄZKI SPOŁECZNYCH I EKONOMICZNYCH PROCESÓW URBANIZACJI GMIN OBSZARU METROPOLITALNEGO Z ROZWOJEM TECHNOLOGII ENERGETYCZNYCH. STUDIUM PRZYPADKU: POZNAŃSKIM OBSZAR METROPOLITALNY

Streszczenie. Artykuł omawia wybrane zagadnienia społeczne i ekonomiczne zachodzące w gminach obszaru metropolitalnego po transformacji ustrojowej w Centralno-wschodniej Europie w Polsce. Dynamiczna urbanizacja gmin polskich obszarów metropolitalnych była jednym z efektów transformacji społeczno-gospodarczej kraju po roku 1989. Odegrała także znaczącą rolę w kształtowaniu zarówno układów funkcjonalno-przestrzennych jak i świadomości władz samorządowych oraz lokalnych społeczności dotyczącej wartości zasobów kultury materialnej minionych lat w tym także założeń urbanistycznych. Gwałtowność zmian zachodzących w pierwszych latach transformacji społecznej i ekonomicznej spowodowało między innymi także pewne negatywne zjawiska funkcjonalno-przestrzenne na terenach gmin graniczących z miastem centralnym. Analizowano procesy zachodzące w gminach powiatu poznańskiego (województwo wielkopolskie), które stanowią istotną część Poznańskiego Obszaru Metropolitalnego (POM). Monitorowanie procesów zarówno społecznych, w tym migracji ludności jak i ekonomicznych – wzrostu liczby podmiotów gospodarczych (lata 2000-2010 oraz lata 2010-2014), zachodzących na terenach gmin będących w strefie oddziaływania miasta centralnego może wpłynąć na prowadzenie przez władze samorządowe prawidłowej polityki równoważenia rozwoju i przyczynić się kontrolowanej urbanizacji gmin polskich obszarów metropolitalnych.

Key words: *urbanizacja; obszar metropolitalny; miasto centralne; rewitalizacja;*

ЗМІСТ

Аль-Ахммаді Саер Аднан ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОМОДЕРНІЗАЦІЇ БУДІВЕЛЬ ІСТОРИЧНИХ АРЕАЛІВ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТИВ, ЗАНЕСЕНИХ ДО СПИСКУ ІСТОРИЧНИХ МІСТ УКРАЇНИ (НА ПРИКЛАДІ МІСТА ЧЕРНІВЦІ)	5
Андропова О. В. КЛАСИФІКАЦІЯ БУДИНКІВ І СПОРУД ЗА ВИМОГАМИ ДО НОРМ ІНСОЛЯЦІЇ	11
Андропова О. В., Рубан О. В., Бончик В. Ю. АНАЛІЗ ЗОВНІШНІХ СОНЦЕЗАХИСНИХ ПРИСТРОЇВ НА ПРИКЛАДІ АРХІТЕКТУРНО-ПРОСТОРОВІ МЕТАЛЕВІ СІТКИ	17
Басок Б. І., Лисенко О. М., Олійник Л. В., Луїна А.О. ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОСПОЖИВАННЯ БУДІВЕЛЬ	27
Басок Б. І., Недбайло О. М. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СФЕРИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТИВ УКРАЇНИ	31
Бончик В. Ю., Кащенко Т. О., Селиванов О. І. ОБ'ЄКТИ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ ЯК СКЛАДОВА АРХІТЕКТУРНО – ПРЕДМЕТНОГО СЕРЕДОВИЩА	38
Гегун Г. В., Кошева В. О. АКТУАЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ У БУДІВЕЛЬНОМУ СЕКТОРІ В УМОВАХ УКРАЇНИ	43
Гегун Г. В., Лесько І. М. ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ СУМІЩЕНОГО ПОКРИТТЯ КОМБІНОВАНОГО ТИПУ БАГАТОКВАРТИРНОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ	49
Гламаздин П. М., Габа К. О., Давиденко Є. П., Вітковський В. С. «ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН В ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ ВОДИ ДЛЯ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ	53
Гумен О. М., Довгалюк В. Б., Мілейковський В.О. ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОФІЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ ТА КОНЦЕНТРАЦІЇ ДОМШОК ПРИМЕЖОВОГО ШАРУ МІЖ СУПУТНИМИ АБО ЗУСТРІЧНИМИ ПОТОКАМИ	58
Дудар І. Н., Яворовська О. В. РОЗРОБКА ЕКОЛОГІЧНОЇ КАРТИ РОЗТАШУВАННЯ ПРИВАТНИХ ПУНКТИВ ПРИЙОМУ ВТОРСИРОВИНИ У МІСТІ ВІННИЦЯ	64
Егорченков В. А. ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ В ЗДАНИЯХ ПУТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ УСЛОВИЙ ОСВЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТА РАЗЛИЧЕНИЯ ПРОСТОЙ ФОРМЫ.....	69
Желих В. М., Савченко О. О., Горбаченко Л. П., Штець В. М. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ГРУНТОВОГО ТЕПЛООБМІННИКА ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ	75

Задоянний О. В., Євдокименко Ю. М. ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ПОВІТРООБМІНУ В ПРИМІЩЕННІ	80
Задоянний О. В., Євдокименко Ю. М. МЕТОДОЛОГІЧНІ ПИТАННЯ ЗАДОВОЛЕННЯ ОСНОВНОЇ ВИМОГИ "ЕКОНОМІЯ ЕНЕРГІЇ"	84
Климчук М. М. ІНФОРМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯМ ПІДПРИЄМСТВА НА ОСНОВІ КОГЕРЕНТНО-КОГЕЗІЙНОЇ МОДЕЛІ	89
Козак Ю. В. ШЛЯХИ ЕКОНОМНОГО ПРОЕКТУВАННЯ АКУСТИКИ ЗАЛІВ ЗА РАХУНОК МАКСИМАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ВІДБИТОЇ ЕНЕРГІЇ ЗВУКІВ	98
Колієнко В. А., Колієнко А. Г. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ВИТРАТ ТЕПЛОТИ НА ПОТРЕБИ ОПАЛЕННЯ І ВЕНТИЛЯЦІЇ	103
Колодько А. О., Самченко Д. М., Кочетов Г. М. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА ПЕРЕРОБКА ПРОМИСЛОВИХ СТИЧНИХ ВОД	110
Кріпак І. С., Приймак О. В. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ТА ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ У ЕНЕРГЕТИЧНОМУ ВІКНІ	115
Крот О. П. ДО АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБЕРТОВИХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ СПАЛЮВАННЯ МУНІЦИПАЛЬНИХ ВІДХОДІВ	119
Крупа М. М., Приймак О. В., Коваленко Н. О. ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ВОДУ І ВОДЯНІ РОЗЧИНИ І ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ...	124
Кулінко Є. О., Кузицький І. Т., Погосов О. Г. ТЕПЛОВІ НАСОСИ ЯК ДЖЕРЕЛА НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ	132
Лабай В. Й., Гарасим Д. І., Генсецький М. П. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СИСТЕМІ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ЧИСТОГО ПРИМІЩЕННЯ ЗА ЕКСЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ	137
Лисак О. В. ДИНАМІЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ АКУМУЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ ТЕПЛО- ТА ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ ПРИМІЩЕНЬ	142
Малий О. В., Кащенко Т. О. АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНИХ ВИМОГ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ДИТЯЧИХ ЗАКЛАДІВ ОЗДОРОВЛЕННЯ ТА ВІДПОЧИНКУ	150
Мартынов В. Л., Икхалеа Едесири Бриджет. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ ОБОЛОЧКИ ЗДАНИЙ ЗАДАНОГО КЛАСА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТИ В УЧЕБНО-ЖИЛЫХ УНИВЕРСИТЕТСКИХ КОМПЛЕКСАХ (КАМПУСАХ)	155

Масюк Г. Ю., Приймак О. В. УТОЧНЕННЯ КУТА НАХИЛУ ПЛОЩІ ПОВЕРХНІ СОНЯЧНОГО ТЕПЛОВОГО КОЛЕКТОРА З УРАХУВАННЯМ ПРОГНОЗНИХ КЛІМАТИЧНИХ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВ РОБОТИ СИСТЕМИ	160
Микитась М. В., Плоский В. О. СТАЛІЙ РОЗВИТОК МІСТ: СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ, МІЖНАРОДНИЙ ТА УКРАЇНСЬКИЙ ДОСВІД.....	168
Морозов Д. М., Юречко В. З., Гнєздовський О. В. СКІНЧЕННОЕЛЕМЕНТНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПОРИСТОГО МАТЕРІАЛУ ЗАСОБАМИ РҮТНОН	174
Недбайло О. М., Божко І. К. АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО БУДИНКУ	179
Оленіна О. Ю. СИСТЕМИ ЗІ ЗМІННОЮ ВИТРАТОЮ ПОВІТРЯ (VAV-СИСТЕМИ) – МАКСИМАЛЬНА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ	183
Петраш В. Д., Полунін Ю. М. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛОНАСОСНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ОБЕРТОВИХ ПЕЧЕЙ	189
Підгорний О. Л. МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТОРСОВИХ ПОВЕРХОНЬ В ЯКОСТІ ВІДБИВАЧІВ СОНЯЧНИХ ПРОМЕНІВ (ПРОДОВЖЕННЯ)	194
Редько А. А., Павловская А. А., Давиденко А. В., Павловский С. В. ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ СЖИГАНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА В ВИХРЕВОЙ ГОРЕЛКЕ КОТЛА ДЕ-10/14	198
Рубан Л. І. ОБ'ЄКТИ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ВОДНИХ ТЕРИТОРІЙ (СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ НА ПОЧАТКУ 21 СТОЛІТТЯ)	205
Сергейчук О. В. ІСТОРІЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ НОРМ З ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ В УКРАЇНІ	211
Скочко В. І. АЛГОРИТМ РОЗВАНТАЖЕННЯ ОКРЕМИХ ОПОР СТРИЖНЕВИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ШАРНІРНИМ ВУЗЛОВИМ СПОЛУЧЕННЯМ	222
Скочко Л. О. ОСОБЛИВОСТІ ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ БАГАТОЯРУСНИХ ПІДПІРНИХ СТІН З ВРАХУВАННЯМ ЗМІНИ КОНФІГУРАЦІЇ ЇХ ОКРЕМИХ ЯРУСІВ	227
Тарадай А. М., Ланцберг Н. Г., Бугай В. С., Фомич С. В. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОДХОДА К ОПЛАТЕ ЗА УСЛУГИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ТЕРМОМОДЕРНИЗАЦИИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ	232

Томашевський А. В., Люльченко Є. В.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПОШУКУ ОПТИМАЛЬНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ СТРУКТУРИ
ГЕОДЕЗИЧНОГО КУПОЛА НА ЕТАПІ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ 238

Шамрина Г. В., Хохрякова Д. А., Тимофеев Н. В.

КОМПЛЕКТНАЯ СИСТЕМА КНАУФ НА ОСНОВЕ ЦЕМЕНТНЫХ ПЛИТ AQUAPANEL®
OUTDOOR И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ В УКРАИНЕ 243

Шаповал С. П.

ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ЗА РАХУНОК КОМБІНОВАНОГО
ТЕПЛОВІКНА 250

Шепітчак В. Б., Желих В. М., Редько А. О.

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФРАЧЕРВОНИХ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ ПРИ ЇХ ЗАСТОСУВАННІ У
ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕННЯХ 254

Якусевич С. Г., Плоский В. О.

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ЕФЕКТИВНОГО ВЛАШТУВАННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОЇ ОБОЛОНКИ
БУДИНКУ 259

Басок Б. І., Давиденко Б. В., Гончарук С. М.

ДОСЯГНЕННЯ КЛАСУ ВИСОКОЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ 267

Borucińska –Bieńkowska H.

SOCIAL AND ECONOMIC URBANIZATION PROCESSES IN COMMUNES IN A METROPOLITAN
AREA AND DEVELOPMENT OF ENERGY EFFICIENT TECHNOLOGIES. CASE STUDY:
POZNAŃ METROPOLLITAN AREA 271
