

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

Михайло Сукач, д-р техн. наук, проф.

ЗАСТУПНИК РЕДАКТОРА

Олександр Безверхий, д-р ф.-м. наук, проф.

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ ЗА ВИПУСК

Дмитро Міщук, канд. техн. наук, доц.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Віктор Баженов, д-р техн. наук, проф.
Володимир Блінцов, д-р техн. наук, проф.
Андрій Бондаренко, д-р техн. наук, доц.
Олена Волошкіна, д-р техн. наук, проф.
Анатолій Гончар, чл.-кор. НАНУ,
 д-р техн. наук, ст. наук. співр.
Дмитро Гончаренко, д-р техн. наук, проф.
Віктор Грінченко, академік НАНУ,
 д-р техн. наук, проф.
Володимир Гришин, д-р техн. наук, проф.
Михайло Дубровський, д-р техн. наук, проф.
Степан Епоян, д-р техн. наук, проф.
Леонід Заміховський, д-р техн. наук, проф.
Олена Іванік, д-р геол. наук, проф.
Святослав Кравець, д-р техн. наук, проф.
Павло Кривенко, д-р техн. наук, проф.
Микола Кузьмінець, д-р техн. наук, доц.
Петро Куліков, д-р екон. наук, проф.
Олег Лимарченко, д-р техн. наук, проф.
Олександр Меньїлюк, д-р техн. наук, проф.
Олексій Митропольський, чл.-кор. НАНУ,
 д-р геол.-мінер. наук, проф.
Володимир Михайлов, д-р геол. наук, проф.
Володимир Надутий, д-р техн. наук, проф.
Іван Назаренко, д-р техн. наук, проф.
Віталій Плоский, д-р техн. наук, проф.
Сергій Половка, д-р геол. наук, проф.
Олександр Приходько, д-р ф.-м. наук, проф.
Ігор Ребезнюк, д-р техн. наук, проф.
Валерій Самойленко, д-р ф.-м. наук, проф.
Володимир Симоненко, д-р техн. наук, проф.
Володимир Снісаренко, д-р техн. наук, проф.
Андрій Тевяшев, д-р техн. наук, проф.
Олександр Трофимчук, чл.-кор. НАНУ,
 д-р техн. наук, проф.
Олександр Холопцев, д-р геогр. наук, проф.
Роман Шульц, д-р техн. наук, проф.
Валерій Яковенко, д-р техн. наук, проф.



**ВПЛИВ ВОДИ НА ДОВКІЛЛЯ
ТА ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ**

Природничі науки
 Математика та статистика
 Інформаційні технології
 Механічна та електрична інженерія
 Автоматизація та приладобудування
 Виробництво та технології
 Архітектура та будівництво

МІЖНАРОДНА РАДА

Goran Bryntse, Ass. prof., PhD, EREF (Sweden)
Vera Chzhen, Gimnasium of Oriental Languages (Korea)
Carsten Drebenstedt, Prof., dr hab., TU Bergakademie
 Freiberg (Germany)
Jan Gliński, Czl. rzecz. PAN, Prof., dr hab., OL PAN (Poland)
Maxim Gots, PhD, P.Eng, Skyjack Inc. (Canada)
Li Hong, Confucius Institute of T. Shevchenko KNU (China)
Krishna Kayastha, PhD, Hydro-Technical Commission (Nepal)
Yevhen Kharchenko, Prof., ScD, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
 w Olsztynie (Poland)
Dmytro Kokarev, Solar energy system Amkortek-Ukraine (Israel)
Eugeniusz Krasowski, Prof., dr hab. inż., Komisja Motoryzacji
 i Energetyki Rolnictwa OL PAN (Poland)
Vladyslav Kvjatkovskiy, LTD Krypton Ocean Group (Virginian Isl.)
Viktor Mashkov, Ass. prof., ScD, Univerzita J.E. Purkyne
 v Usti nad Labem (Czech Republic)
Mihail Nikitenko, Prof., ScD, BNTU (Belorussia)
Paolo Orsini, Intern. company IRD Engineering (Italy)
Lech Rowinski, Prof., dr hab. inż., Politechnika Gdanska (Poland)
Henryk Sobczuk, Prof., dr hab. inż., Przedstawicielstwo w Kijowie
 PAN (Poland)
Pjotr Suvorov, Development of Danube Navigation (Hungary)
Tetiana Yerak, Director Lions Business Group (Slovenia)
Vadym Weltishev, Prof., PhD, MGTU to N. Bauman (Russia)

Атестовано Державною атестаційною комісією України.
 Наказ МОН України № 515 від 16.05.2016 р.

Затверджено Вченою радою Київського національного
 університету будівництва і архітектури
 27 травня 2016 р. (протокол № 44)

Мови видання українська, російська, англійська

Для науковців, виробників, фахівців

Зміст

Привітання	3
	Природничі науки
Михайло Сукач	4
Друга міжнародна науково-практична конференція «Підводні технології, 2016» Second international scientifically-practical conference «Underwater technologies, 2016»	
Tetiana Kryvomaz	16
Assessment environmental safety for mangrove biome Оценка экологической безопасности для мангровых биомов	
	Інформаційні технології
Андрей Тевяшев, Ольга Матвиенко	26
Оценка потенциала ресурсо- и энергосбережения при управлении развитием и функционированием магистрального водовода Estimation of the potential of resource and energy saving in the management of development and functioning of water main	
	Механічна та електрична інженерія
Александр Галинский	38
Исследование технологии устройства горизонтального экрана на крупномасштабном стенде Research of technology of erection of horizontal screen on a large-scale stand	
	Автоматизація та приладобудування
Володимир Блінцов, Андрій Войтасик	50
Підводна роботизована технологія установки корисного вантажу на морське дно The robotized underwater technology for the installation of a useful cargo onto sea bottom	
	Виробництво та технології
Виктор Кухарь, Виталий Кузьминский, Ольга Овчинникова	60
Расширение возможностей сетчатых промышленных водяных фильтров Broaden options industrial grid water filters	
	Архітектура та будівництво
Gennadiy Haiko, Petro Zakharchenko	72
Perspectives of tunnel passages construction under the Dnieper Перспективи будівництва тунельних переходів Дніпра	
Микола Осетрін, Дворко Олексій	80
Модель оцінки ефективності роботи нерегульованих перетинів на вулично-дорожній мережі Києва Environmental criteria in a model assessment of the effectiveness of simple intersections on the road network of Kyiv	
Sergii Bilyk	89
Determination of critical load of elastic steel column based on experimental data Определение критической нагрузки упругих колонн по экспериментальным данным	
Інформація	97

Привітання

з нагоди річниці
міжнародного науково-виробничого журналу

ПІДВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВА ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

Готуючись до проведення Другої міжнародної науково-практичної конференції «Підводні технології, 2016», редакційна колегія однойменного журналу приймала авторські наукові роботи, що відповідають вимогам міжнародного фахового наукометричного видання. Зважаючи на інтерес дописувачів до тематики, пов'язаної із впливом води на довкілля та інноваційні технології, й попри гарантований вихід журналу двічі на рік, за останні 9 місяців зібрано вже чотири випуски. Із приємністю констатуємо, що заявки продовжують надходити.

Здобувачі наукових ступенів виявляють зацікавленість до публікацій в міжнародних виданнях, у тому числі англійською мовою, намагаючись донести результати своїх досліджень до якомога ширшого кола читачів. Підтримуючи високий рівень авторських матеріалів та якість редакційної обробки статей, наразі подано запити до дев'яти наукометричних баз.

За досить короткий час від дня заснування міжнародного науково-виробничого журналу «Підводні технології. Промислова та цивільна інженерія» нам вдалося:

- зібрати потужну редакційну колегію з провідних докторів і професорів відповідних галузей знань
- організувати роботу міжнародної ради фахівців із представників 12 країн світу
- створити гіперактивний сайт видання з неперервним наповненням та його підтриманням
- отримати Свідоцтво Міністерства юстиції України про державну реєстрацію КВ № 21541-11441Р від 21.08.2015;
- в лютому 2016 р. зареєструвати журнал в Національній бібліотеці імені Володимира Вернадського
- подати заявку до Міжнародної книжкової палати в Парижі й отримати 25.03.2016 реєстраційні номери ISSN 2415-8550 (Print) та ISSN 2415-8569 (Online)
- заручитись підтримкою Polska Akademia Nauk (Przedstawicielstwo w Kijowie), Національної академії наук України (Інститут механіки імені С.П. Тимошенко, Інститут геологічних наук, Інститут гідромеханіки, Інститут геотехнічної механіки імені М.С. Полякова, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору) та вищих навчальних закладів України (КНУ імені Тараса Шевченка (Київ), НГУ (Дніпропетровськ), НУК імені адмірала Макарова (Миколаїв), ХНУРЕ (Харків), НУВГП (Рівне), НЛТУ (Львів), ІФТУНГ (Івано-Франківськ), ОНМУ (Одеса); ОДАБА (Одеса))
- в день відкриття II МНПК «Підводні технології, 2016» (19.04.2016) отримати рішення експертної ради про внесення журналу до Переліку наукових фахових видань України (Наказ МОН України № 515 від 16.05.2016 р.),

**з чим, шановні читачі й автори, вітаємо вас
та запрошуємо у світ науки й публікацій!**

Друга міжнародна науково-практична конференція «Підводні технології, 2016»

Михайло Сукач

Київський національний університет будівництва і архітектури
Повітрофлотський просп, 31, Київ, Україна, 03037
msukach@ua.fm, orcid.org/0000-0003-0485-4073

Анотація. У великій залі Вченої ради КНУБА відбулася Друга міжнародна науково-практична конференція «Підводні технології, 2016», присвячена 100-річчю від дня народження члена-кореспондента АН України Ю.О. Ветрова. В її роботі взяли участь фахівці з дванадцяти країн світу. Проведено конкурси на кращу «Презентацію», «Інноваційний проект», «Публікацію». Матеріали переможців та учасників конференції рекомендовано до висвітлення в міжнародному науково-виробничому журналі «Підводні технології».

Ключові слова: науково-практична конференція, підводні технології, міжнародне співробітництво.

З 19 по 21 квітня в Київському національному університеті будівництва і архітектури відбулася Друга Міжнародна науково-практична конференція «Підводні технології, 2016». Вже традиційно її було присвячено **впливу води на довкілля та інноваційні технології** (Рис. 1). Розглядалися проблеми та задачі з таких галузей знань як Природничі науки, Архітектура і будівництво, Виробництво та технології, Автоматизація та приладобудування, Механічна та електрична інженерія, Інформаційні технології, Цивільна безпека.

За минулий рік значно розширився склад організаторів та співорганізаторів конференції, насамперед це Міністерство освіти і науки України, Київський національний

університет будівництва і архітектури, Польська Академія наук (Представництво в Києві), Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Державний вищий навчальний заклад Національний гірничий університет, Харківський національний університет радіоелектроніки Інститут гідромеханіки Національної академії наук України та Академія будівництва України. Форум відбувався за адресою: Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03037, зала Вченої ради КНУБА, ауд. 466.

До організаційного комітету увійшли ректор КНУБА д-р екон. наук професор Петро Куліков, заступник голови д-р техн. наук професор Михайло Сукач, Director Stacja Naukowa w Kijowie PAN (Poland) professor Henryk Sobczuk, Президент Академії будівництва України д-р техн. наук професор Іван Назаренко (Рис. 2).

Міжнародна рада складалася з представників 14 країн світу – Goran Bryntse, Ass. prof PhD, EREF(Sweden); Vera Chzhen, Gimnasium of Oriental Languages (Korea); Jan Glinski, Czl. rzecz. PAN, Prof. dr hab, Prezes OL PAN (Poland); Maxim Gots, PhD P.Eng, Eng. Manager Skyjack Inc. (Canada); Li Hong, Confucius Institute of Taras Shevchenko KNU (China); Krishna Kayastha, PhD, HydroTechnical Commission (Nepal); Yevhen Kharchenko, Prof. ScD, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie (Poland);



Рис. 1. Запрошення та робоча програма
Fig. 1. Invitation and executable code

Dmytro Kokarev, Solar Energy System Amkortek-Ukraine (Israel); Eugeniusz Krasowski, Prof. dr hab, Przewodn Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa OL PAN (Poland); Vladyslav Kvjatkovskiy, LTD Krypton Ocean Group (Virginian Isl.); Viktor Mashkov, Ass. prof. dr hab., Univerzita J.E. Purkyne v Usti nad Labem (Czech Republic); Mihail Nikitenko, Prof. ScD, BNTU (Belorussia); Paolo Orsini, Intern. Company IRD Engineering (Italy); Lech Rowinski, Prof. dr hab igz., Politechnika Gdanska (Poland); Pjotr Suvorov, Development of Danube Navigation (Hungary); Tetiana Yerak, Lions Business Group (Slovenia); Vadym Weltishev, Prof. PhD, MGTU to Nikolaj Bauman (Russia).

Зважаючи на багатонаціональний склад учасників конференції, робочими мовами обрано українську, російську, англійську і польську.

Науковий комітет II МНПК «Підводні технології, 2016» очолили д.т.н. професор Михайло Сукач; віце-голова, академік НАН України д.т.н. проф. Віктор Грінченко – директор Інституту гідромеханіки НАН України; vice-chairman, Prof. dr hab ing. Carsten Drebenstedt – Dean Technische Universitat Bergakademie Freiberg (Germany); віце-голова, д.т.н. проф. Володимир Блінцов – проректор з наукової роботи Національного університету кораблебудування імені академіка Макарова.

Членами наукового комітету конференції були д.т.н. проф. Віктор Баженов (Київ); д.ф.-м.н., проф. Олександр Безверхий (Київ); д.т.н. доцент Андрій Бондаренко (Дніпропетровськ); д.т.н. проф Олена Волошкіна (Київ); чл.-кор. НАНУ, д.т.н. ст.н.с. Анатолій Гончар (Київ); д.т.н. проф. Дмитро Гончаренко (Харків); к.т.н. ст.н.с. Євген Горбатенко (Київ); д.т.н. проф. Володимир



Рис. 2. Відкриття Другої міжнародної науково-практичної конференції «Підводні технології, 2016»

Fig. 2. Opening of the Second international scientifically-practical conference «Underwater technologies, 2016»

Гришин (Одеса); д.т.н. проф. Степан Епоян (Харків); д.т.н. проф. Леонід Заміховський (Івано-Франківськ); д.геол.н., проф. Олена Іванік (Київ); д.т.н. проф. Святослав Кравець (Рівне); д.т.н. проф. Павло Кривенко (Київ); д.т.н., проф. Микола Кузьмінець (Київ); д.т.н., проф. Олександр Менеїлюк (Одеса); д.т.н. проф. Володимир Надутий (Дніпропетровськ); к.т.н. проф. Леонід Пелевін (Київ); д.т.н. проф. Віталій Плос-

кий (Київ); д.геол.н. проф. Сергій Половка (Київ); д.т.н. проф. Ігор Ребезнюк (Львів); д.т.н. проф. Володимир Снісаренко (Київ); д.т.н. проф. Андрій Тевяшев (Харків); чл.-кор. НАНУ, д.т.н. проф. Олександр Трофімчук (Київ); д.т.н. проф. Роман Шульц (Київ); д.геогр.н. проф. Олександр Щипцов (Київ); д.т.н. проф. Валерій Яковенко (Київ).

Завдання міжнародної конференції – поглиблення інтеграції українських і закор-



Рис. 3. Міжнародна діяльність КНУБА

Fig. 3. International activity of KNUCA

донних фахівців та наукових шкіл з розробки теорії, обладнання та методів дослідження робочих процесів, створення нової підводної техніки, практичного застосування інноваційних енергоощадних та екологічно безпечних технологій в будівництві, пошукових та видобувних роботах, охорони навколишнього середовища та інших галузях виробничої діяльності.

Оголошено конкурс на кращу науково-практичну роботу серед фахівців і студентів за номінаціями: «Презентація», «Інноваційний проект», «Публікація». Згідно з конкурсною програмою протягом поточного року розглядалися оригінальні ідеї та пропозиції, нестандартні рішення і креативні проекти в галузі підводних технологій.

Під час проведення конференції учасникам надано можливість презентувати свої наукові досягнення, а також стендову площу для виставкових зразків, демонстрації творчої та суспільної діяльності (Рис. 3).

До учасників конференції надійшло вітання від ректора КНУБА Петра Кулікова

та проректора з наукових роботи і міжнародних зв'язків Віталія Плоского. З теплими словами про важливість співпраці між науковцями України й Польщі до присутніх звернувся директор Представництва в Києві Польської академії наук Prof. dr hab. Henryk Sobczuk, який побажав учасникам творчої наснаги та плідної роботи (Рис. 4).

Президент Академії будівництва України Іван Назаренко розповів про стан справ та перспективи будівельної освіти в сучасних умовах. Професор Михайло Сукач наголосив на важливості та перспективах трансферу інноваційних технологій, а також презентував програму розробки та освоєння корисних копалин Світового океану.

Проректор з наукової роботи Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова д.т.н., проф. Володимир Блінцов загострив увагу слухачів на сучасних завданнях розвитку підводної робототехніки в Україні та презентував розробки фахівців НУК, які вже застосовуються та



Рис. 4. Пленарні доповіді

Fig. 4. Plenary lectures

можуть бути корисними у перспективі. Надзвичайно важливим є питання сполучення між берегами великих річок та протяжних водойм. Про перспективи будівництва тунельних переходів через Дніпро розповів д.т.н. професор Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут» Геннадій Гайко.

Спорудження тунельних переходів через Дніпро – актуальне завдання для української геобудівельної галузі й транспортної інфраструктури. Береги Дніпра можуть бути з'єднані метротунелем, автомобільними тунелями (Генеральний план розвитку Києва передбачає будівництво трьох тунелів під Дніпром), підводним дюкером для транспортування стічних вод з правого берега до Бортницької станції аерації, а також тунельним переходом кільцевої автомагістралі навколо Києва. Це потребує системного підходу до інженерно-геологічних вишукувань, проектування й будівництва комплексу підводних тунелів Києва та Київського регіону. Оскільки ці питання для підводних підземних об'єктів в Україні вирішуватимуться вперше, необхідною складовою має стати науковий супровід цих масштабних проектів, причому науковий потенціал НТУУ «КПІ» та КНУБА можуть ефективно забезпечити цю складову.

Цікаві інноваційні проекти та перспективи підводної урбаністики на початку XXI століття представлено докторантом КНУБА Людмилою Рубан, яку із захопленням слухали як досвідчені фахівці, так і студентська молодь (Рис. 5).

На пленарному засіданні також виступили професор Олександр Безверхий і Вікторія Корнієнко (Інститут механіки НАН України) з інформацією про коливання буйково-заякорених систем загородження на хвилях. К.т.н. Юрій Стельмахов (Міжнародна неурядова гуманітарно-екологічна організація «Інтер-Чорнобиль») представив проект естакадної дороги «Капвей», а Dmytro Kokarev (Solar Energy System Amkortek-Ukraine, Israel) блискуче презентував інноваційні енергоощадні технології та обладнання для підігрівання води.

Декілька виступів заплановано у вигляді online-конференції, з використанням skype-зв'язку. Мовою оригіналу, це авторські роботи проф. Андрея Тевяшева та Ольги Матвиенко (Харьковський національний університет радіоелектроніки) «Об одном классе задач оптимального стохастического управления гибридными динамическими системами»; Владимира Бритик, Владимира Кобзев, Елены Гребенник (ХНУРЭ, Харьков) «Цифровая обработка изображений подводной среды с помощью специальных фильтров»; Volodymyr Kobziev, Mohamed AlKilani (NURE, Kharkov) «Using the e-gov systems to resolve water supply problems in Libya»; Олександра Кобзара (ДП УкрНДПцивілбуд, Київ) та Олега Примаченко (КНУБА) «Основи проектування територій у зонах можливого підтоплення та затоплення»; Миколи Гарницького (Міжгалузеве науково-технічне колективне підприємство «Лана», Київ) «Підвищення ефективності технічних систем шляхом використання енергії водних потоків». Нажаль, недостатня швидкість інтернет-зв'язку та малий трафік не дозволили у повній мірі задовольнити потребу доповідачів та цікавість слухачів конференції.

Роботу секційних засідань (Рис. 6) розпочали виступами гостей із Національного транспортного університету Олександра Гродецького, Олександра Гордійчука, Кия Данилейко, Марії Слизької «Туристичний підводний батискаф», «Підводна дослідна станція», «Підводний модульний транспортний тунель» (керівник – завідувач кафедри комп'ютерної, інженерної графіки та дизайну д.т.н. Микола Кузьмінець).

К.т.н. доцент Юлія Ульяновська (Університет митної справи та фінансів, Дніпропетровськ) та Андрій Дмитренко (ТОВ «ПРОІНФО») розповіли про «Використання штучних нейронних мереж в сучасних інформаційних технологіях прогнозування», Олександр Будя (КУТЕП, Київ) – про «Водно-інформаційні центри як засіб ефективної туристичної діяльності», а Sergii Bilyk (KNUCA) – про «Determination of critical



Рис. 5. Учасники конференції
Fig. 5. Participants of conference

load of elastic steel column based on experimental data».

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова представлено доповідями аспірантів та викладачів Олександра Клочкова, Андрія Войтасика і Андрія Сірівчука (науковий керівник д.т.н. проф. Володимир Блінцов) «Рівняння існування самохідної прив'язної підводної системи як оцінка можливості її створення», «Підводна роботизована технологія установки корисного вантажу на морське дно», «Розробка математичної моделі керування траєкторією руху підводного апарата».

Докторант Національного університету «Львівська політехніка» Олександр Блінцов разом з аспірантом Віктором Корицьким розглянули «Архітектурно-конструктивний тип самохідних прив'язних підводних апаратів з удосконаленою керованістю» та «Сучасні задачі керування самохідною прив'язною підводною технологічною платформою».

Низку доповідей представлено із Дніпропетровщини – ДВНЗ Національний гірничий університет (Андрій Бондаренко, Андрій Небатов) «Метод розрахунку конструктивних параметрів горизонтальних класифікаторів», «Дослідження механізму збудження коливань рухомого решета відсаджувальної машини»; ООО Океанмашенерго (Віктор Кухар, Віталій Кузьмінський, Ольга Овчиннікова) «Розширення можливостей сіткових промислових водяних фільтрів»; Інституту геотехнічної механіки імені Н.С. Полякова НАН України (Володимир Надутий, Валентина Челишкіна, Сергій Костира) «Аналіз комплексного зневоднення дрібних фракцій граніту».

Найбільш чисельна група доповідачів була з Київського національного університету будівництва і архітектури. Цікаві доповіді аспірантів та магістрантів архітектурного факультету Миколи Бреяна, Вероніки Головач, Василя Ходоса, Юлії Смоленка, які презентували свої розробки «Екополіси та водні інноваційні технології», а також «Екополіси на воді як вирішення екологічної проблеми сучасного міста».

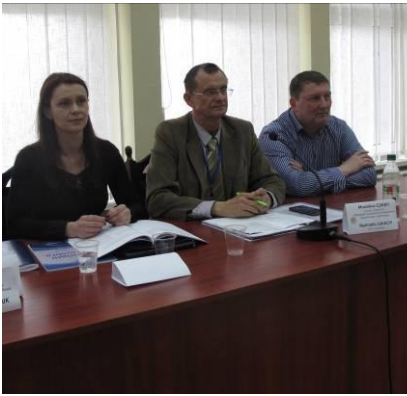
Не залишилися поза увагою аспіранти Олександра Бондар, Олексій Дворко, Олег Скорук (науковий керівник д.т.н проф. Микола Осетрін) з презентаціями «Містобудівний досвід реалізації кільцевого принципу організації руху транспорту на підходах до мостів», «Екологічні критерії в моделі оцінки ефективності простих перетинів на вулично-дорожній мережі м. Києва», «Міцність та тріщиностійкість сталевібробетонних плит, опертих по контуру при повторних навантаженнях».

Частину доповідей підготовлено з розрахунком на публікацію в чергових випусках журналу «Підводні технології». Це «Інженерний розрахунок фільтрації в підтопленому схилі» (автори Юлія Березницька, Леся Василенко, Олена Волошкіна); дуже цікавий матеріал про аналіз мангрової екосистеми з точки зору екологічної безпеки «Assessment environmental safety for mangrove biome» (докторант Tetiana Kryvomaz).

Аспіранти із Сумського державного університету Сергій Кулініч, Наталья Семенова подали на розгляд роботу «Оптимізація системи керування гідравлічними приводами з пропорційними розподільниками»; Krishna Kayastha (Hydro Technical Commission, Nepal) – «Development of bell type water well with wide gravel filter».

Напрямок конференції з механічної та електричної інженерії охоплено 14-ма доповідями представників кафедри будівельних машин та кафедри машин і обладнання технологічних процесів. Найбільш цікавими з них були: «Математичне моделювання взаємодії рушія розпушувального агрегату з поверхнею ґрунту в прибережних зонах водоймищ» (Леонід Пелевін, Євген Горбатюк, Володимир Волянчук, Дмитро Мішук), «Дослідження стійкості екскаватора, обладнаного стрілою маніпуляторного типу та кліщовим захватом» (Михайло Сукач, Анатолій Кравчук), «Землерийна техніка для роботи на водоймах малої глибини» (Олександр Марченко, Світлана Комоцька).

Тетяна Щербина надала інформацію про «Навантаження на вузли вібраційних машин при виконанні підводно-технічних робіт»; Юрій Абрашкевич, Григорій Мачи-



Керівники секцій



Марія Слизька



Богдан Болілій



Олександр Дьяченко



Вікторія Король



Богдан Мацюк



Володимир Мартинцев



Юрій Стельмахов



Світлана Комоцька, Дмитро Мішук



Олексій Дворко

Рис. 6. Секційні засідання
Fig. 6. Sectional meeting

шин, Олена Човнюк – про «Абразивні інструменти для обробки металевих і неметалевих матеріалів»; Анатолій Фомін, Олександр Костенюк, Олександр Тетерятнік, Владислав Корнєв – про «Ефективні конструкції різальних елементів ґрунторозроблювальних робочих органів»; Анатолій Фомін, Олександр Костенюк, Олександр Тетерятнік, Олексій Дячок – про «Розпушник активної дії».

Порадувала активність аспірантів та магістрантів Богдана Болілого, Олександра, Дьяченка, Андрія Заприводи, Вадима Залізняка, Вікторії Король, Богдана Мацюка, Володимира Мартинцева (науковий керівник д.т.н. проф. Іван Назаренко), які представили до уваги аудиторії результати своїх наукових досліджень: «Ущільнення пружно-в'язко-пластичних середовищ просторовими коливаннями машин», «Надійність робочих органів підйомних механізмів в умовах складного навантаження», «Моделювання процесів сепарації матеріалів у вібраційно-ударному полі руху робочого органу», «Моделювання процесів гідродинамічної кавітації рідинних середовищ».

Також були доповіді Максима Назаренко «Дослідження технології горизонтально-направленого буріння свердловин», Андрія Чичура «Моделювання процесів переміщення в'язко-пластичних середовищ робочими органами складної будови», Василя Ободенко «Критерії оцінки ефективності використання підйомних механізмів». Заслухано декілька презентацій, які з тих чи інших причин не були заявлені у Програмі, але бажання авторів й потреба донести інформацію до широкої аудиторії спонукала їх до спілкування й дискусій за проблематикою конференції.

Прийнято колегіальне рішення про ініціювання запиту до Київської міської державної адміністрації з пропозиціями щодо супроводження об'єктів підземного будівництва та розробки стратегічного плану освоєння підземного простору Києва (модератори Геннадій Гайко, Петро Захарченко), а також про використання відновлювальних альтернативних джерел електричної, теплової, сонячної й механічної енергії, ро-

зташованих як на руслі річки, так і на березі (модератор Микола Гарницький).

Отже, усі доповідачі, які безпосередньо приймали участь у роботі Другої міжнародної науково-практичної конференції «Підводні технології, 2016» отримали **Сертифікати**, що засвідчують особисту участь у форумі із зазначенням місця й дати апробації результатів наукової роботи.

Найбільш активних учасників заходу нагороджено **Подяками** наукового комітету конференції (Рис. 7). Так, за підтримку наукової молоді відзначено ректора КНУБА д.е.н., професора Петра Кулікова і проректора з наукової роботи Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова д.т.н. професора Володимира Блінцова.

За підтримку української науки та міжнародних зв'язків подяку отримали директор Представництва в Києві Польської академії наук Prof. Henryk Sobczuk та голова комісії з моторизації і енергетики Люблінського відділу Польської академії наук Prof. Eugeniusz Krasowski, якому нещодавно було присвоєно звання «Почесний доктор КНУБА» за значний внесок в розбудову наукових, освітянських та культурних зв'язків між Польською академією наук та Київським національним університетом будівництва і архітектури (рішення вченої ради від 25 березня 2016 р., протокол № 42).

За сприяння науковій діяльності та високий професіоналізм подяки вручено завідувачу кафедри будівельної механіки д.т.н. проф. Віктору Баженову і завідувачу відділу електропружності Інституту механіки імені С.П. Тимошенка НАН України д.ф.-м.н. проф. Олександром Безверхому.

Згідно з рішенням конкурсної комісії у 2015/16 рр., переможцями конкурсу визнано: за номінацією «Презентація» – представника ізраїльсько-української фірми «Amkortec-Ukraine» Dmytro Kokarev; за номінацією кращий «Інноваційний проект» – докторанта кафедри ландшафтної архітектури КНУБА к.арх. доцента Людмилу Рубан; за номінацією «Публікація» – докторанта кафедри охорони праці і навколишнього середовища КНУБА к.т.н. доцента



Рис. 7. Подяки II МНПК «Підводні технології, 2016»
Fig. 7. Gratitude's of II ISPC «Underwater technologies, 2016»



Людмила Рубан



Dmytro Kokarev

Рис. 8. Переможці конкурсів
Fig. 8. Winners of competitions

Тетяну Кривомаз, яким вручено відповідні **Дипломи** (Рис. 8).

У Другій міжнародній науково-практичній конференції «Підводні технології, 2016» були задіяні вищі навчальні заклади, академічні установи та виробничі організації та України:

- Академія будівництва України (Київ)

- ДВНЗ Національний гірничий університет (Дніпропетровськ)
- Державна адміністрація морського та річкового транспорту (Київ)
- ДП НДІ будівельного виробництва (Київ)
- Івано-Франківський технічний університет нафти і газу (Івано-Франківськ)

- Інститут геологічних наук Національної академії наук України (Київ)
 - Інститут геології Київського національного університету імені Тараса Шевченка (Київ)
 - Інститут геотехнічної механіки імені М.С. Полякова НАН України (Дніпропетровськ)
 - Інститут гідромеханіки Національної академії наук України (Київ)
 - Інститут механіки імені С.П. Тимошенка Національної академії наук України (Дніпропетровськ)
 - Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Київ)
 - Інститут технічної теплофізики НАН України (Київ)
 - Київський національний університет будівництва і архітектури (Київ)
 - Київський університет туризму, економіки та права (Київ)
 - Міжгалузеве науково-технічне колективне підприємство ЛАНА (Київ)
 - Науково-технічний центр панорамних акустичних систем НАН України (Київ)
 - Національний лісотехнічний університет України (Львів)
 - Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут» (Київ)
 - Національний транспортний університет (Київ)
 - Національний університет водного господарства та природокористування (Рівне)
 - Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (Миколаїв)
 - НДІ будівельно-дорожньої та інженерної техніки імені В.Л. Баладінського (Київ)
 - НДІ будівельних матеріалів імені В.Д. Глуховського (Київ)
 - Придніпровська державна академія будівництва та архітектури (Дніпропетровськ)
 - Одеська державна академія будівництва та архітектури (Одеса)
 - Одеський національний морський університет (Одеса)
 - ТОВ НДІ Підземного і спеціального будівництва (Київ)
 - Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини (Умань)
 - Харківський державний університет будівництва та архітектури (Харків)
 - Харківський інститут управління (Харків)
 - Харківський національний університет будівництва та архітектури (Харків)
 - Харківський національний університет радіоелектроніки (Харків)
- Безпосередньо або в якості асоційованих членів у конференції брали участь іноземні та міжнародні установи:
- Білоруський національний технічний університет (Білорусь)
 - ГОУ ВПО Московський державний технічний університет ім. М. Баумана (Росія)
 - Міжнародна неурядова гуманітарно-екологічна організація Інтер-Чорнобиль (Україна)
 - Confucius Institute of Taras Shevchenko KNU (China)
 - Development of Danube Navigation (Hungary)
 - European renewable energy federation (Sweden)
 - Hydro Technical Commission (Nepal)
 - International Company IRD Engineering (Italy)
 - Komisja Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa OL PAN (Poland)
 - Lions Business Group (Slovenia)
 - LTD Krypton Ocean Group (Virginian Isl.) Politechnika Gdanska (Poland)
 - Przedstawicielstwo w Kijowie PAN (Poland)
 - Skyjack is a Linamar Company (Canada)
 - Solar Energy System Amkortek-Ukraine (Israel)
 - Technische Universität Bergakademie Freiberg (Germany)
 - Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie (Poland)
 - Univerzita J.E. Purkyne v Usti nad Labem (Czech Republic)
- Підсумовуючи результати роботи, зазначимо, що до конференції було надіслано 58 доповідей від 88 авторів. З презентаціями та обговоренням прийняли участь 56 доповідачів, які отримали персональні Сертифікати. Частина доповідей здійснювалась в онлайн-режимі.



Рис. 9. Фото на згадку
Fig. 9. Photo is on mention

Переможцями конкурсів за відповідними номінаціями визнано 3-х учасників, а 6 добродіїв отримали подяки організаційного та наукового комітетів конференції. Представлені до розгляду редакційної колегії роботи рекомендовано до публікації в міжнародному науково-виробничому журналі «Підводні технології», випуски 03 та 04.

Підтверджено актуальність розглядуваних питань щодо впливу водного середовища на довкілля та розвиток інноваційних технологій, зокрема в галузях промислової та цивільної інженерії. Підтримано ініціативу якомога ширшого висвітлення проблем, наукових і практичних рішень на шпальтах нещодавно заснованого журналу (Рис. 9).

Налагоджено наукові й ділові контакти поміж учасниками конференції, намічено перспективи та шляхи подальшого співробітництва. Заплановано підготувати та провести наступний форум на початку 2017 р.

Отже, дякуємо всім за увагу та участь в міжнародному форумі, проведеному на теренах Київського національного університету будівництва і архітектури. Бажаємо міцного здоров'я, творчих успіхів та нових наукових досягнень!

**Second international scientifically-practical conference
«Underwater technologies, 2016»**

Mykhailo Sukach

Kyiv National University of Construction and Architecture

Povitroflotskyy prosp., 31, Kyiv, Ukraine, 03037, msukach@ua.fm, orcid.org/0000-0003-0485-4073

Summary. In the large hall of Scientific advice KNUBA took place the Second International research and practice conference «Underwater technologies, 2016», sanctified to the 100year from the birthday of member-correspondent Academy of sciences of Ukraine Ju.O. Vetrov. In her work specialists participated of twelve countries of the world. Competitions are conducted on the best «Presentation», «Innovative project», «Publication». Materials of winners and participants of conference are recommended to illumination in an international scientific and production magazine «Underwater technologies».

Key words: research and practice conference, submarine technologies, international cooperation.

Assessment environmental safety for mangrove biome

Tetiana Kryvomaz

Kyiv National University of Construction and Architecture
Povitroflotsky Prospect 31, Kyiv, Ukraine, 03037,
e-mail: ecol@i.ua, orcid.org/0000-0001-7426-8745

Summary. Mangrove ecosystem was analyzed from ecological safety point of view. The comparison anthropogenic impact on some mangrove biome in Brazil and Seychelles show that mangrove in Brazil affected by industrial and anthropogenic loading, whereas on Seychelles recreational disturbance and pollution are biggest problems for mangrove. Threats to mangrove ecosystem include: clearing, overharvesting, water reduce, overfishing, coral reefs destruction, pollution, climate change. Analyses of mangrove soil find big transformation ratio soil elements to mobile forms for Fe ($K_{s-mf} = 253,81$) and Cu (105,45), which is make this metal accessible for other living organisms and return to nutrient cycle. Mangrove systems support a range of species and provide a number of essentials for many different living organisms. The ability myxomycetes *Hemitrichia serpula* accumulate Ca ($K_a = 443,69$) and Zn (247,41) from environment was discover; Ni (60), Mn (16,04) and Pb (11,94) also show high level elements concentration in compare with their content in soil. Mangroves provide a wide range of goods and ecosystem services with great economic and environmental consequences. Risk for mangrove assess by exceeding the rate of the disappearance and reduces the capacity to function effectively as a viable ecosystem.

Key words: ecological safety, mangrove, anthropogenic load, risk assessment

INTRODUCTION

The ecological values of mangroves in most tropical countries have been qualitatively well documented and recognized. However, there is little quantitative scientific data to back this up, because most of the evidence is observational [9]. Mangrove is unique ecosystem therefore they are often the object of conserva-

tion programs, including national biodiversity action plans [14]. Problems of nature protection and environmental safety are closely related. “Environmental safety passports of species” (ESPS) appears universal platform for impersonal evaluating of risk with accounting the interests and tasks of environmental safety and nature protection [10]. ESPS accumulate veracious scientific information about individual species and evaluation of risk probability of real and potential threatens from this organism to environment, humans and other bioobjects [11]. The main purpose of the introduction of passports is to systematize scientific information for determination of effect of evaluated species on the environment, humans and other living organisms. In results analysis of information about organisms being evaluated could be possible to draw conclusions about impact risks to this species and danger effects of this species [12]. But ecosystems analyses may more effectively represent biological diversity as a whole than individual species. It include fundamental abiotic components that are only indirectly included in species assessments. Declines in ecosystem status may be more apparent than extinctions of individual species. For urgent evaluation ecosystem-level assessments may be less time consuming than species-by-species assessments. For balance this discrepancy the combination main information from ESPS can be used together with general information about ecosystem. The International Union for Conservation of Nature (IUCN) setting classification schemes international global standards for documenting extinction risk for species and ecosystems [4].

PURPOSE OF WORK

The objective of this study is to make preliminary risk assessment of mangrove biome using environmental safety passports of species and IUCN classification schemes with considering WWF evaluation. According with this purpose was planed to 1) analyze data about biotic components and abiotic factors of mangrove ecosystems; 2) assess of beneficial use the mangrove by human and their role in the nature; 3) determine potential threatens and risk for this ecosystems; 4) compare anthropogenic load on some mangrove biome in Brazil and Seychelles.

MATERIAL AND METHODS

Research of anthropogenic load on mangrove ecosystems was carried in September 2011 in Pernambuco Brazil and in Seychelles: on Mahé Island in October 2011, Praslin and Curieuse Islands during June and July 2015, La Digue Island in January 2016.

Risk assessment of anthropogenic load on mangrove ecosystems made for determination of quantitative or qualitative estimate of risk related to recognized threats. Quantitative risk assessment requires calculations of two components of risk:

$$R_i = L_i p(L_i), \quad (1)$$

$$R_{total} = \sum_i L_i p(L_i), \quad (2)$$

were R – risk, i – factors of risk, L – the magnitude of the potential loss, p – the probability that the loss will occur. For environmental safety loss is simply a verbal description of the outcome. In that case, the "risk" is expressed as:

$$R_i = p(L_i), \quad (3)$$

Risk assessment of bioobjects for environmental safety involved different dimensions, or plot axes, of a niche represent different biotic and abiotic variables. These factors may include descriptions features of the organism's,

habitat, trophic position, geographic range, etc. [20]

Coefficient for transformation soil elements to mobile forms of soil elements calculated by formula:

$$K_{s-mf} = C_s / C_{mf}, \quad (4)$$

where K_{s-mf} – ratio for transformation soil elements to mobile forms of mangrove soil elements, C_s – concentration element in soil, C_{mf} – concentration element in mobile forms of soil.

Coefficient of elements accumulation by myxomycetes fruiting body in mangrove calculated with formula:

$$K_a = C_m / C_s, \quad (5)$$

where K_a – ratio of elements accumulation, C_m – concentration element in myxomycetes fruiting body, C_s – concentration element in soil [12].

RESULT OF RESEARCH

Mangroves geographical distribution

Mangroves occur worldwide in the tropics and subtropics between latitudes 25° N and 25° S, but the largest percentage of mangroves is found between the 5° N and 5° S latitudes. The area of mangroves was 137760 km², spanning 118 countries and territories [1]. Approximately 75% of world's mangroves are found in just 15 countries. Asia has the largest amount (42%) of the world's mangroves, followed by Africa (21%), North/Central America (15%), Oceania (12%) and South America (11%) [7].

Mangroves forming components

Mangrove environments created by trees and shrubs species growing in coastal saline or brackish water. About 110 species are considered "mangroves", in the sense of being a tree that grows in such a saline swamp, though only a few are from the mangrove plant genus *Rhizophora* (Fig. 1). Of the recognized 110 mangrove species, only about 54 species in 20 genera from 16 families constitute the "true mangroves", species that occur almost exclu-

sively in mangrove habitats [7]. Major components of mangroves include 47 species belonging to 10 genus of 6 plant families: Acanthaceae, Arecaceae, Avicenniaceae, Combretaceae, Lythraceae, Rhizophoraceae. Black mangroves conclude 9 species of genus *Avicennia* and two – *Lumnitzera*. 11 species of genus *Laguncularia* called white mangrove. Red mangroves from family Rhizophoraceae include 8 species of genus *Rhizophora*, 6 – *Bruguiera*, 2 – *Ceriops* and *Kandelia*. Monotypic taxa *Nypa fruticans* Wurm is the only palm considered adapted to the mangrove biome. Mangrove apple present by 5 species of genus *Sonneratia* from family Lythraceae, also *Conocarpus erectus* L. (buttonwood) from family Combretaceae. Minor components of mangroves involved 15 genus from 14 families: 6 species from genus *Barringtonia*, 3 – from *Acrostichum*, *Heritiera*, 2 – from *Aegialitis*, *Aegiceras*, *Bravaisia*, *Camptostemon*, *Excoecaria*, *Pemphis*, *Xylocarpus* and by one species for genus *Acanthus*, *Fimbristylis*, *Osbornia*, *Pelliciera*, *Scyphiphora*. The most important feature all this plants that it can thrive in high temperatures and absorbs brackish water. Each species has its own solutions to these problems.

Characteristic of mangroves habitat

A habitat is made up of physical factors such as soil, moisture, range of temperature, and availability of light, etc. Analyses of impacts of abiotic factors from habitat to species vital activity show range of tolerance, optimum, minimum and maximum value of each factor. Mangrove plants require a number of physiological adaptations to overcome the problems of anoxia, high salinity and frequent tidal inundation. The saline conditions tolerated by various mangrove species range from brackish water, through pure seawater (30 to 40 ppt = parts per thousand), to water concentrated by evaporation to over twice the salinity of ocean seawater (up to 90 ppt) [18]. Mangroves exclude salt by having significantly impermeable roots which are highly impregnated with suberin, acting as an ultra-filtration mechanism to exclude sodium salts from the rest of the plant. They can also store salt in cell vacuoles and can secrete salts directly with salt glands at each leaf base.

Mangrove adapted to low oxygen prop above the water level with stilt roots and can then absorb air through pores in their bark (lenticels). They also make specialised root-like structures which stick up out of the soil



Fig. 1. Red mangrove *Rhizophora mangle* L. on island Mahe (Seyshelles)

like straws for breathing (manyneumatophores) which are also covered in lenticels. The roots also contain wide aerenchyma to facilitate transport within the plants.

Because of the limited fresh water available in salty intertidal soils, mangroves limit the amount of water they lose through their leaves. They can restrict the opening of their stomata and also vary the orientation of their leaves to avoid the harsh midday sun and so reduce evaporation from the leaves.

As a result of their intricately entangled above-ground root systems, mangrove communities protect shorelines during storm events by absorbing wave energy and reducing the velocity of water passing through the root barrier. In addition, mangroves protect intertidal sediment along coastlines from eroding away in harsh weather year round [19].

Biotic factors of mangrove ecosystem

Mangroves provide a number of essentials for many different living organisms, including food and shelter for a diverse animal community, living both below and above sea level.

Fungi, bacteria and termites can decay mangrove forests into peat deposits [22]. Termites are an important action on the organic matter is crucial to the chemical stabilization of mangrove peats and decaying for peat for-

mation [22]. In mangrove sediments were collected the fungal strains with the great potentiality to degrade diesel oil, without developing antagonistic activity. These fungi accumulated significantly higher biomass, produced extracellular enzymes and liberated larger volumes of CO₂ [2].

Mangrove crabs (Fig. 2) munch on the mangrove leaves, adding nutrients to the mangal muds for other bottom feeders. Negative crabs influence present as predation to plant seedlings [19]. The unique ecosystem found in the intricate mesh of mangrove roots offers a quiet marine region for young organisms [3]. Algae, barnacles, oysters, sponges, and bryozoans live in areas where roots are permanently submerged. They all require a hard surface for anchoring while they filter feed. Mangroves provide important nurseries for many sandy and muddy-bottom demersal and surface feeding species, shrimps and mud lobsters use the muddy bottoms as their habitat, including commercial fish and crustaceans, also juvenile coral reef fish [7]. Mangroves supply the existence and health of coral reefs which are dependent on the buffering capacity of these shoreward ecosystems, support the oligotrophic conditions needed by coral reefs to limit overgrowth by algae.



Fig. 2. Mangrove root Latreille crab *Goniopsis cruentata*

Table 1. Content of elements in soil and in *Hemitrichia serpula* plasmodiocarp in Seychelles mangrove

Elements	Concentration in soil, mg/g	Concentration in <i>Hemitrichia serpula</i> , mg/g	Accumulation ratio
Al	10895,91	1478,4	0,14
Ca	352,3	156312,9	443,69
Cd	0,024	0,11	4,58
Cu	4,64	15,41	3,32
Fe	956,88	5400	5,64
Mg	2555,17	2376	0,93
Mn	6,77	108,62	16,04
Ni	0,08	4,8	60
Pb	1,14	13,61	11,94
Si	513,65	1169,54	2,28
Zn	1,08	267,2	247,41

Mangrove systems support a range of wild-life species including crocodiles, birds, tigers, deer, monkeys and honey bees [13]. Many animals find shelter either in the roots or branches of mangroves. It serve as rookeries, or nesting areas. Many migratory species depend on mangroves for part of their seasonal migrations.

Some common myxomycetes species live in this ecosystem and playing important role in nutrient cycle. They have ability elements transformation and absorption. For some myxomycetes species the feature heavy toxic metal accumulation discovered (Tab. 1).

In our research discover ability myxomycetes *Hemitrichia serpula* (Scop.) Rostaf. (Fig.3) accumulate some elements from environmental. The highest value of coefficient accumulation by fruiting body (plasmodiocarp) this myxomycetes was for Ca (443,69) and Zn (247,41). Some other elements also show high ratio concentration in compare with their content in soil: for Ni $K_a = 60$, Mn – 16,04, Pb – 11,94. Thus new bioaccumulation organism was discovering in mangrove ecosystem.

Role in nutrient cycle

The mangrove biome characterized by fine sediments often with high organic content collect in areas protected from high-energy wave action. They contain a complex salt filtration system and complex root system.

Mangrove forests are an important part of the cycling and storage of carbon in tropical coastal ecosystems. Many scientists believe that mangroves are far more efficient at trapping carbon than tropical and temperate forests. They have a staggering ability to se-



Fig. 3. Myxomycetes *Hemitrichia serpula* (Scop.) Rostaf.

quester carbon from the atmosphere, and serve as both a source and repository for nutrients and sediments for other inshore marine habitats, such as seagrass beds and coral reefs. Mangroves have slightly different chemical compositions so the carbon content varies between the species as well between the different tissues of the plant e.g. leaf and roots. This plant becomes peat in good geochemical, sedimentary and tectonic conditions [22].

Anaerobic bacteria liberate nitrogen gas, soluble iron, inorganic phosphates, sulfides and methane, which make the soil much less nutritious. Aerial roots allow mangroves to absorb gases directly from the atmosphere, and other nutrients such as iron, from the inhospitable soil. Mangroves store gases directly inside the roots, processing them even when the roots are submerged during high tide [18].

The fine, anoxic sediments under mangroves act as sinks for a variety of heavy (trace) metals which colloidal particles in the sediments have scavenged from the water. Mangrove removal disturbs these underlying sediments, often creating problems of trace metal contamination of seawater and biota.

Table 2. Compare of elements in soil and in its mobile forms in Seychelles mangrove

Elements	Concentration in soil, mg/g	Concentration in mobile forms of soil, mg/g	Transformation ratio
Al	10895,91	–	–
Ca	352,3	30,47	11,56
Cd	0,024	0,038	0,63
Cu	4,64	0,044	105,45
Fe	956,88	3,77	253,81
Mg	2555,17	617,7	4,14
Mn	6,77	3,87	1,75
Ni	0,08	0,22	0,36
Pb	1,14	0,48	2,38
Si	513,65	–	–
Zn	1,08	1,08	1
Soil pH = 8,76			

Such organic pollutants such as polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), organochlorine pesticides dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT), hexachlorobenzene (HCB), polychlorinated biphenyls (PCB) can be accumulated in mangrove sediments [8].

Our research finds big transformation ratio soil elements to mobile forms of soil for Fe ($K_{s-mf} = 253,81$) and Cu (105,45). Accordingly component of soil in mangrove make this metal accessible for other living organisms, including Fe and Cu to nutrient cycle (Tab. 2).

Beneficial use

Mangrove ecosystems represent natural capital capable of producing a wide range of goods and services for coastal environments and communities and society as a whole. Mangroves provide at least US\$1.6 billion each year in ecosystem services [4]. The loss of mangroves will have devastating economic and environmental consequences. These ecosystems are not only a vital component in efforts to fight climate change, but they also protect some of the world's most vulnerable people from extreme weather and provide them with a source of food and income. Some of these outputs, such as timber, are freely exchanged in formal markets. They serve as a nursery for fish and other species that support coastal livelihoods. Up to 75% of the game fish and 90% of the commercial species in some regions are dependent on mangroves for part of their life cycles and on nutrients exported from the mangroves to other ecosystems [6].

Mangroves are vital to coastal communities as they protect them from damage caused by tsunami waves, erosion and storms. Maintaining a healthy mangrove forest sustains natural protection and is less expensive than seawalls and similar erosion control structures, which can increase erosion in front of the structure and at adjacent properties due to coastal currents. It appears that as the sea-level is slowly rising, mangroves are a better alternative to protecting coastlines from eroding than other can made structures, such as seawalls [14, 21].

The tsunami has provided an opportunity to illustrate that healthy mangroves serve as a

natural barrier against massive waves – protecting infrastructure developments and saving lives. The IUCN compared the death toll from two villages in Sri Lanka that were hit by the devastating tsunami giant waves. Two people died in the settlement with dense mangrove and scrub forest, while up to 6000 people died in the village without similar vegetation [5]. It proves that mangroves provide a natural wall, which is necessary in high impact natural disasters areas such as this one.

Mangrove root systems slow water flow, facilitating the deposition of sediment. Toxins and nutrients can be bound to sediment particles or within the molecular lattice of clay particles and are removed during sediment deposition. Compared with the expense of constructing a wastewater treatment plant, mangroves are commonly selected as receiving areas of effluent. Increasingly the notion of specifically constructed mangrove wetlands is being adopted and used for treatment of aquaculture and sewage effluents [5].

Threats assesment

The chief threats to mangrove habitat come from: conversion and landuse change and the indirect effects of sediments and chemicals in runoff from catchments degraded by clearing of upland vegetation and intensive agriculture. Many mangroves become degraded through the upstream building of dams, roads and irrigation channels. As new cities are developed, mangrove forests around the world have felt a great impact not only on their ecosystems health, but also their wave-attenuating capacity [22]. Threats to mangrove ecosystem and their habitats include: clearing, overharvesting, water reduce, overfishing, coral reefs destruction, pollution, climate change.

Clearing: Mangrove forests have often been seen as unproductive and smelly, and so cleared to make room for agricultural land, human settlements and infrastructure (such as harbours), and industrial areas. Clearing for tourist developments, shrimp aquaculture, and salt farms has also taken place. This clearing is a major factor behind mangrove loss around the world [17].

Overharvesting: Mangrove trees are used for firewood, construction wood, wood chip and pulp production, charcoal production, and animal fodder. While harvesting has taken place for centuries, in some parts of the world it is no longer sustainable, threatening the future of the forests [17].

Water reduce: Dams and irrigation reduce the amount of water reaching mangrove forests, changing the salinity level of water in the forest. If salinity becomes too high, the mangroves cannot survive. Freshwater diversions can also lead to mangroves drying out. In addition, increased erosion due to land deforestation can massively increase the amount of sediment in rivers. This can overcome the mangrove forest's filtering ability, leading to the forest being smothered [17].

Overfishing: The global overfishing crisis facing the world's oceans has effects far beyond the directly overfished population. The ecological balance of food chains and mangrove fish communities can also be altered [17].

Destruction of coral reefs: Coral reefs provide the first barrier against currents and strong waves. When they are destroyed, the stronger-than-normal waves and currents reaching the coast can undermine the fine sediment in which the mangroves grow. This can prevent seedlings from taking root and wash away nutrients essential for mangrove ecosystems [17].

Pollution: Fertilizers, pesticides, and other toxic man-made chemicals carried by river systems from sources upstream can kill animals living in mangrove forests, while oil pollution can smother mangrove roots and suffocate the trees. Mangroves maintain coastal water quality by abiotic and biotic retention, removal, pollutants, and particulate matter from land-based sources, filtering these materials from water [17].

Climate change: Mangrove forests require stable sea levels for long-term survival. They are therefore extremely sensitive to current rising sea levels caused by global warming and climate change. The Global Mean Sea Level has risen 4 to 8 inches over the past century,

almost twice the average rate of 80 years prior [16].

Other factors mangroves have an influence on, include coastal profile, water depth and bottom configuration. The mangrove population has felt both direct and indirect effects due to coastal engineering and human development, resulting in a devastating decline in population. This decline has led to a negative chain of effects in other ecosystems that are dependent on mangrove forest for survival.

Risks evaluation

Mangroves respond to deteriorating conditions with dieback and loss of habitat. Degradation of mangrove habitat by the direct loss or alteration of trees reduces its capacity to function effectively as a viable ecosystem. This in turn endangers the species that depend upon the healthy mangrove ecosystems. More than 35% of the world's mangroves have been destroyed, exceeding the rate of the disappearance of tropical rainforests [17]. The Atlantic and Pacific coasts of Central America, where as many as 40 percent of mangrove species are considered threatened, are particularly affected. The figure is as high as 50% in countries such as India, the Philippines, and Vietnam, while in the Americas. In India and Southeast Asia, where 80% all mangrove area

has been lost over the past 60 years [4]. The potential loss of these species is a symptom of widespread destruction and exploitation of mangrove forests. More than one in six mangrove species worldwide are in danger of extinction due to coastal development and other factors, including climate change, logging and agriculture. 11 out of 70 mangrove species (16%) which were assessed will be placed on the IUCN Red List [4]. Countries with very large areas of mangroves have a significant number of protected areas notably Australia (180), Indonesia (64) and Brazil (63).

About 7% of the area occupied by mangrove swamps and forests is located in Brazil, extending along most of its coast [7] and concentrated (70%) between the states of Pará and Maranhão [15]. Despite of active conservation an action, some Brazilian mangroves destroy by industry and have negative pressure of anthropogenic loading, especially when it allocated near favela. In Seychelles industry are not active, but recreational disturbance is very strong, so the biggest impact for mangrove is pollution (Fig. 4). The main problem of the island and costal is a real threat of flooding due to global climate change. Thus general main risks for all mangrove ecosystems are destruction, pollution and climate change.



Fig. 4. Anthropogenic rubbish in mangrove

CONCLUSIONS

1. The most strong nature abiotic factors affecting mangrove biome are high salinity, frequent tidal inundation and anoxia, concerning mangrove developed physiological adaptations for overcome the problems.

2. Analyses of mangrove soil find big transformation ratio soil elements to mobile forms for Fe ($K_{s-mf} = 253,81$) and Cu (105,45), which is make this metal accessible for other living organisms and return to nutrient cycle.

3. Mangroves provide a number of essentials for many different living organisms such as crabs, fish, coral, algae, lobsters, oysters, barnacles, shrimps, sponges, bryozoans and also bacteria, fungi, termites, myxomycetes; mangrove systems support a range of wild-life species including crocodiles, birds, tigers, deer, monkeys and honey bees.

4. The ability myxomycetes *Hemitrichia serpula* accumulate Ca ($K_a = 443,69$) and Zn (247,41) from environment was discover; Ni (60), Mn (16,04) and Pb (11,94) also show high level elements concentration in compare with their content in soil.

5. Mangroves provide a wide range of goods and ecosystem services with great economic consequences such as a source of food (fish, crustaceans, etc.) and income outputs (timber); protection from damage caused by tsunami waves, erosion and storms; treatment of aquaculture and sewage effluents from toxins and nutrients of wastewater by bound particles or within the molecular lattice of clay particles and sediment deposition; vital component in efforts fight climate change

6. Threats to mangrove ecosystem include: clearing, overharvesting, water reduce, overfishing, coral reefs destruction, pollution, climate change; risk for mangrove determine by exceeding the rate of the disappearance and reduces the capacity to function effectively as a viable ecosystem.

7. The comparison anthropogenic impact on some mangrove biome in Brazil and Seychelles show that mangrove in Brazil affected by industrial and anthropogenic loading, whereas on Seychelles recreational disturbance and pollution are biggest problems for mangrove.

REFERENCES

1. **Alongi D.M., 2009.** Paradigm shifts in mangrove biology. In: Coastal Wetlands: an integrated ecosystem approach. Amsterdam, Elsevier Science, 615-640.
2. **Ameen F., Moslem M., Hadi S., Al-Sabri A.E., 2016.** Biodegradation of diesel fuel hydrocarbons by mangrove fungi from Red Sea Coast of Saudi Arabia. Saudi J. Biol. Sci. 23(2), 211-218.
3. **Bos A.R., Gumanao G.S., van Katwijk M.M., Mueller B.; Saceda M.M., Tejada, R.P., 2011.** Ontogenetic habitat shift, population growth, and burrowing behavior of the Indo-Pacific beach star *Archaster typicus* (Echinodermata: Asteroidea). Marine Biology, 158, 639-648.
4. **Chadwick N., Malentaqui P.Y., 2010.** Mangrove forests in worldwide decline. www.iucn.org.
5. **Dahdouh-Guebas F., Jayatissa L.P., Di Nitto D., Bosire J.O., Lo Seen D., Koedam N., 2005.** How effective were mangroves as a defence against the recent tsunami. Current Biology, 15 (14), 1337-1338.
6. **Danielsen F., Sorensen M.K., Olwig M.F., Selvam V., Parish F., Burgess N.D., Hiraiishi T., Karunagaran V.M., Rasmussen M.S., Hansen L.B., Quarto A., Suryadiputra N., 2005.** The Asian tsunami: a protective role for coastal vegetation. Science, 310-643.
7. **Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L.L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Masek, J. and Duke, N., 2011.** Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. Global Ecology and Biogeography, 20(1), 154-159.
8. **Kaiser D., Schulz-Bull D.E., Waniek J.J., 2016.** Profiles and inventories of organic pollutants in sediments from the central Beibu Gulf and its coastal mangroves. Chemosphere, 153, 39-47.
9. **Kryvomaz T., 2014** Evaluation of model objects for developing of Environmental safety passports of species. Ecologichna bezpeka ta prirodokoristuvannya, 16, 32-39 (in Ukrainian).
10. **Kryvomaz T., 2015.** Certification of species in the management of environmental safety. Scientific Herald of Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, 1(11), 149-154 (in Ukrainian).
11. **Kryvomaz T., Voloshkina O., 2014.** The Risk Assessment of Threats from Biological Objects

- in Environmental Safety. Motrol: kom. Mot. Energ. Roln., OL PAN, Vol.16-8, 137-144.
12. **Kryvomaz T., Voloshkina O., 2015.** Methodical approaches to forming Environmental safety passports of species. Visnyk of Vinnytsia Polytechnical Institute, 4, 36-45 (in Ukrainian).
 13. **Massel S.R., Furukawa K., Brinkman R.M., 1999.** Surface wave propagation in mangrove forests. Fluid Dynamics Research, 24(4), 219-249.
 14. **Mazda Y., Kobashi D., Okada S., 2005.** Tidal-Scale Hydrodynamics within Mangrove Swamps. Wetlands Ecology and Management, 13(6), 647-655.
 15. **Menezes M.P.M., Berger U., Mehlig U.L.F., 2008.** Mangrove vegetation in Amazonia: a review of studies from the coast of Pará and Maranhão States, north Brazil. Acta Amazonica, 38(3), 403-420.
 16. **O'Neill T., 2007.** Curse of the Black Gold: Hope and betrayal in the Niger Delta. National Geographic. 211(2), 88-117.
 17. **Oswell A., 2016.** Mangrove forests are one of the world's most threatened tropical ecosystems. WWF, <http://wwf.panda.org>.
 18. **Popp M., Polania J., Weiper M., 1993.** Physiological adaptations to different salinity levels in mangrove. Towards the rational use of high salinity tolerant plants, 27, 217-224.
 19. **Skov M.W., Hartnoll R.G., 2002.** Paradoxical selective feeding on a low-nutrient diet: why do mangrove crabs eat leaves? Oecologia, 131(1), 1-7.
 20. **Szabo D.T., Loccisano A.E., 2012.** POPs and Human Health Risk Assessment. Dioxins and Persistent Organic Pollutants, 3rd Edition, John Wiley & Sons.
 21. **Ustinova I., 2015.** Theoretical principles of wave urbanistics. Underwater technologies, Vol.01, 33-42.
 22. **Vane C.H., Kim A.W., Moss-Hayes V., Snape C.E., Castro Diaz M., Khan N.S., Engelhart S.E., Horton B.P., 2013.** Degradation of mangrove tissues by arboreal termites (*Nasutitermes acajutlae*) and their role in the mangrove C cycle (Puerto Rico): Chemical characterization and organic matter provenance using bulk $\delta^{13}C$, C/N, alkaline CuO oxidation-GC/MS, and solid-state ^{13}C NMR. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 14 (8), 3176-3191.

Оценка экологической безопасности для мангровых биомов

Татьяна Кривомаз

Киевский национальный университет
строительства и архитектуры
Воздухофлотский просп, 31, Киев,
Украина, 03037, ecol@i.ua
orcid.org/0000-0001-7426-8745

Аннотация. Проанализированы мангровые экосистемы с точки зрения экологической безопасности. Сравнение антропогенного воздействия на мангровые биомы в Бразилии и на Сейшельских островах показало, что в Бразилии на некоторые мангровые сообщества влияют промышленные и антропогенные нагрузки, в то время как на Сейшелах самыми большим проблемами мангровых лесов являются рекреационный прессинг и загрязнение. В целом наибольшими угрозами для мангровых экосистем являются вырубка, антропогенный прессинг, изменение водного режима, чрезмерный вылов рыбы, разрушение коралловых рифов, загрязнение окружающей среды, изменение климата. Анализ мангровой почвы выявил высокие значения коэффициентов трансформации подвижных форм почвенных элементов для Fe ($K_{s-mf} = 253,81$) и Cu (105,45), поэтому эти металлы доступны для других живых организмов и могут вернуться в круговорот веществ.

Мангровые системы поддерживают целый ряд видов и обеспечивают благоприятные условия для жизнедеятельности многих различных живых организмов. Обнаружена способность миксомицета *Hemitrichia serpula* аккумулировать Ca ($K_a = 443,69$) и Zn (247,41) из окружающей среды; кроме того, для Ni (60), Mn (16,04) и Pb (11,94) выявлены высокие значения концентраций по сравнению с их содержанием в почве. Мангровые леса обеспечивают широкий спектр экосистемных услуг с большими экономическими и экологическими последствиями. Риск для мангровых биомов оценивается в превышении скорости исчезновения и снижении способности эффективно функционировать под воздействием техногенной нагрузки.

Ключевые слова: экологическая безопасность, мангровые экосистемы, техногенная нагрузка, оценка риска.

Оценка потенциала ресурсо- и энергосбережения при управлении развитием и функционированием магистрального водовода

Андрей Тевяшев, Ольга Матвиенко

Kharkiv National University of Radio Electronics
prosp. Nauki, 14, Kharkiv, Ukraine, 61166
tad45@mail.ru, orcid.org/0000-0002-2846-7089

Аннотация. Рассмотрена проблема оценивания потенциала ресурсо- и энергосбережения при подготовке инвестиционных проектов модернизации технологического оборудования и перехода от традиционного управления режимами работы магистральных водоводов к оптимальному стохастическому управлению для трёхзонных тарифов на электроэнергию. Предложен новый метод получения несмещённых, эффективных и практически реализуемых оценок потенциала ресурсо- и энергосбережения в магистральных водоводах. Метод основан на использовании результатов компьютерного моделирования решения задачи оптимального стохастического управления режимами работы магистральных водоводов. Все множество вариантов модернизации сведено к изменению графа сети, граничных условий (прогнозов водопотребления и уровней воды в резервуарах), параметров математических моделей насосных агрегатов и участков трубопровода.

Приведены результаты оценок потенциала ресурсо- и энергосбережения для множества различных вариантов модернизации технологического оборудования одного из крупных магистральных водоводов Украины, обеспечивающим водой город с населением свыше 1,5 млн. чел. Полученные оценки потенциала энерго- и ресурсосбережения для конкретного магистрального водовода позволяют сделать его инвестиционно привлекательным.

Ключевые слова: магистральный водовод, оценка потенциала ресурсосбережения, оптимальное стохастическое управление, регулируемый привод, насосная станция.

ВВЕДЕНИЕ

Магистральный водовод (МВ) сложная техническая система, предназначенная для транспорта воды на большие расстояния от источника водоснабжения до крупных населённых пунктов (потребителей), в состав которой входят многоцеховые насосные станции (НС), многониточные магистральные трубопроводы, резервуары чистой воды (РЧВ) [1].

Проектирование и строительство МВ Украины производилось в 1950 – 1980 гг. При этом параметры оборудования рассчитывались для режима максимального водопотребления, с перспективой его дальнейшего роста.

В настоящее время в связи с ростом тарифов на воду и всё более широкому использованию потребителями средств учёта воды во всём мире сложилась устойчивая тенденция к снижению объёмов водопотребления. Такая же тенденция существует и в Украине. На Рис. 1 представлен график фактических и прогнозируемых среднесуточных объёмов подачи воды в город с населением свыше 1,5 млн. жителей.

Устойчивая тенденция снижения водопотребления привела к тому, что в реально эксплуатируемых МВ образовались значительные ресурсы их неиспользуемой производительности, а именно: насосные агрегаты (НА), установленные на НС, были

рассчитаны на значительно большую производительность, в настоящее время вынуждены работать с прикрытыми регулирующими задвижками (РЗ) со значительными материальными и энергетическими потерями [2 – 5]. Это, в свою очередь, явилось одной из причин непрерывного роста удельного расхода электроэнергии ($\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$), и как следствие, роста тарифов на воду.

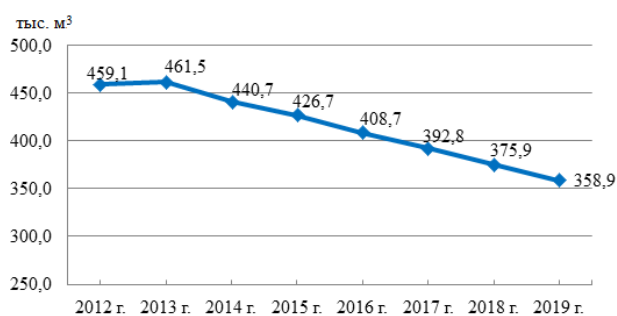


Рис. 1. График фактических и прогнозируемых среднесуточных объемов подачи холодной воды МВ

Fig. 1. The schedule of actual and projected average daily volume of the cold water supply of water main

Решение этой проблемы приводит к необходимости поиска инвестиционных проектов по модернизации технологического оборудования МВ, приведению его в соответствие с достаточно необходимым уровнем запаса ресурса (по мощности, производительности, надёжности) и переходу от традиционных систем управления к современным системам оптимального стохастического управления, более адекватно соответствующих изменениям окружающей среды МВ, его структуры и параметров [6 – 8].

В работе рассматривается системный подход к оценке потенциала ресурсо- и энергосбережения для крупного МВ, находящегося в эксплуатации, за счёт использования комплекса мероприятий по приведению в соответствие параметров технологического оборудования фактическим режимам его работы [9 – 12].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью данной работы является разработка метода получения системы интегральных оценок потенциала ресурсо и энергосбережения при проведении комплекса мероприятий по модернизации и реконструкции МВ и переходе от традиционных систем управления режимами работы МВ к современным системам оптимального стохастического управления для трёхзонного тарифа на электроэнергию. Отличительными особенностями получаемых оценок является их потенциальная несмещённость, эффективность и практическая реализуемость в рамках инвестиционных проектов.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МАГИСТРАЛЬНЫХ ВОДОВОДОВ

Одним из наиболее эффективных методов повышения качества и эффективности работы МВ является совершенствование системы оперативно-диспетчерского управления режимами работы МВ на основе использования более адекватных математических моделей [13 – 16], учитывающих как стохастический характер процессов потребления воды, так и статистические свойства параметров модели на заданном интервале управления $[0, T]$. Для разработки более адекватных математических моделей режимов работы МВ и эффективного учёта специфических особенностей МВ как объекта управления МВ рассматривается как стохастический объект, функционирующий в стохастической среде. Для МВ такими специфическими особенностями является наличие в них РЧВ достаточно большого объёма.

Стохастический характер среды проявляется в том, что процессы потребления воды носят ярко выраженный случайный характер. Стохастический характер объекта управления проявляется в том, что параметры технологического оборудования МВ априорно неизвестны, а оцениваются по

експериментальним даним виборок кінцевої довжини, і являються випадковими величинами. Тому при розв'язанні задач оптимізації режимів роботи МВ необхідно використовувати стохастическу модель квазістационарних режимів роботи МВ. Совершенствование системи оперативного диспетчерського управління режимами роботи МВ заключається в переході від складившоїся к настоящему времени системи централизованного управління режимами роботи МВ к современной децентрализованной системе оптимального стохастического управления для трёхзонного тарифа на електроенергію.

ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО СТОХАСТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ МАГИСТРАЛЬНОГО ВОДОВОДА

Задача оптимального стохастического управления режимами работы МВ реализует стратегию максимально возможного использования всего объёма РЧВ и трёхзонного тарифа на електроенергію. Суть стратегии заключається в том, что подача воды в РЧВ из МВ должна быть минимальной на интервале времени с максимальным тарифом и максимальной на интервале времени с минимальным тарифом [17].

Исходными данными для задачи являются: структура МВ, представленная в виде ориентированного графа, входами и выходами которой являются РЧВ; параметры многониточных трубопроводов, многоцевых НС и РЧВ; интервал управления $[0, T]$ (одни сутки), который разбивается на 24 подынтервала, соответствующих каждому часу периода управления $k = 0, \dots, 23$. На каждом k -ом подынтервале времени известны прогнозы притоков воды в резервуары на входах МВ, попутных отборов и отборов из РЧВ на выходе МВ в виде условных математических ожиданий $\bar{q}_{i0}(l) = M(q_{il}(\omega))$ и их дисперсий $\sigma_{q_{i0}}^2(l) = D(q_{il}(\omega))$, вычисляемых в момент

времени $k = 0$ с упреждением $l = 1, 2, \dots, 23$; измеренные значения уровней воды в каждом z -ом резервуаре $H_{zk}(\tilde{\omega})$; фактическое количество включённых НА.

Целевая функция задачи оптимального стохастического управления режимами работы МВ [17, 18] представляется в виде математического ожидания суммарной стоимости електроенергии, затрачиваемой всеми работающими НА на интервале управления $[0, T]$:

$$M_{\omega} \sum_{k=0}^{23} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} N_{ijk}(q_{ik}(\omega)) \cdot r_k \rightarrow \min_{u(k) \in \Omega}, \quad (1)$$

где $N_{ijk}(q_{ik}(\omega))$ – случайная величина, характеризующая мощность, затрачиваемую j -м НА i -й НС на k -ом интервале времени; r_k – значение трёхзонного тарифа на електроенергію на k -ом интервале времени; n – количество НС; m_i – количество работающих НА на i -ой НС; $u(k)$ – вектор управления, определяющий математическое ожидание общего количества работающих НА, положения регулирующих задвижек (РЗ) и оборотов привода каждого работающего НА на k -ом интервале времени.

Область ограничений Ω определяется стохастической моделью квазистационарных режимов работы МВ:

$$M_{\omega} \left(h_{rk}(q_{rk}(\omega)) + \sum_{i \in L} b_{1ri} h_{NAik}(q_{ik}(\omega)) + \sum_{i \in R} b_{1ri} h_{RZik}(q_{ik}(\omega)) + \sum_{i \in M} b_{1ri} h_{ik}(q_{ik}(\omega)) \right) = 0, \quad (r = v, \dots, v + \eta_2 - 1; \quad k = 0, \dots, 23), \quad (2)$$

$$M_{\omega} \left(h_{NSjk}(\omega) - H_{zk}(\omega) - h_{NAjrk}(q_{rk}(\omega)) + h_{RZjrk}(q_{rk}(\omega)) + \sum_{i \in M} b_{1ri} (h_{ik}(q_{ik}(\omega)) + h_i^{(g)}) \right) = 0, \quad (j = 1, \dots, n; \quad r = 1, \dots, m; \quad z = 1, \dots, Z). \quad (3)$$

$$q_{ik}(\omega) = M_{\omega} \left(\sum_{r=v}^{v+\eta_2-1} b_{1ri} q_{rk}(\omega) + \sum_{r=v+\eta_2}^e b_{1ri} q_{rk}(\omega) \right),$$

$$(i=1, \dots, v-1), \quad (4)$$

$$q_{ik}(\omega) > 0, \quad i \in L. \quad (5)$$

$$h_{ik}(q_{ik}(\omega)) = \text{sgn} q_{ik}(\omega) S_i(\omega) q_{ik}^2(\omega), \quad i \in M, \quad (6)$$

$$h_{NAik}(q_{ik}(\omega)) = a_{0i}(\omega) + a_{1i}(\omega) q_{ik}(\omega) + a_{2i}(\omega) q_{ik}^2(\omega), \quad i \in L, \quad (7)$$

$$\eta_{NAik}(q_{ik}(\omega)) = d_{0i}(\omega) + d_{1i}(\omega) q_{ik}(\omega) + d_{2i}(\omega) q_{ik}^2(\omega), \quad i \in L, \quad (8)$$

$$N_{NAik}(q_{ik}(\omega)) = \frac{9,81 \cdot h_{NAik}(q_{ik}(\omega)) \cdot q_{ik}(\omega)}{0,9 \cdot \eta_{NAik}(q_{ik}(\omega))},$$

$$i \in L, \quad (9)$$

$$h_{RZik}(q_{ik}(\omega)) = \frac{q_{ik}(\omega) C_i(\omega)}{E_{ik}^2}, \quad i \in R, \quad (10)$$

и динамическими моделями резервуаров

$$H_{zk}(\omega) = H_{zk-1}(\omega) + c_{zk}(q_{zvhk}(\omega) - q_{zvhk}(\omega)),$$

$$(z=1, \dots, Z) \quad (11)$$

с вероятностными ограничениями на фазовые переменные:

$$P(H_{zk}(\omega) \leq H_z^{\max}) \geq \alpha,$$

$$P(H_{zk}(\omega) \geq H_z^{\min}) \geq \alpha, \quad \alpha \approx 0,97, \quad (12)$$

и экстремальными значениями ограничений на фазовые переменные для фиксированных моментов времени $k=6$ и $k=23$:

$$M_{\omega}\{H_{z6}(\omega)\} \rightarrow \min_{q_{zvhk} \in \Omega}, \quad (k=0, \dots, 6), \quad (13)$$

$$M_{\omega}\{H_{z23}(\omega)\} \rightarrow \max_{q_{zvhk} \in \Omega}, \quad (k=0, \dots, 23), \quad (14)$$

где $H_{zk}(\omega)$ – уровень воды в z -ом резервуаре на заданном k -ом интервале времени, H_z^{\min} , H_z^{\max} – минимально и максимально допустимый уровень воды в каждом z -ом резервуаре.

Случайные величины характеризуют: $q_{ik}(\omega)$ – расход воды на i -м участке трубопровода на k -ом интервале времени; $h_{ik}(q_{ik}(\omega))$ – потеря напора на i -м участке

трубопроводана k -ом интервале времени; $h_{NSjk}(\omega)$ – напор на выходе НС, $h_{NAik}(q_{ik}(\omega))$ – напор i -го НА. $S_i(\omega)$ – оценка гидравлического сопротивления i -го участка трубопровода ($i \in M$); $h_{RZik}(q_{ik}(\omega))$ – оценка падения напора на i -ой РЗ; $\eta_{NAik}(q_{ik}(\omega))$ – оценка КПД i -го НА; $a_{0i}(\omega), a_{1i}(\omega), a_{2i}(\omega), d_{0i}(\omega), d_{1i}(\omega), d_{2i}(\omega)$ – оценки параметров НА ($i \in L$); $C_i(\omega)$ – оценка параметров РЗ ($i \in R$); E_{ik} – степень открытия РЗ ($E \in (0,1]$); $h_i^{(g)}$ – геодезическая отметка i -го участка трубопровода ($i \in M$); b_{1ri} – элемент цикломатической матрицы; $q_{zvh}(\omega), q_{zvih}(\omega)$ – расход воды на входе и выходе резервуара; $M_{\omega}\{\cdot\}$ – математическое ожидание случайной величины $\{\cdot\}$.

Для разрешимости задачи (1) – (14) система уравнений (2) – (14) дополняется граничными условиями в виде прогнозов расходов всех потребителей системы $q_{ik}(l)$ (попутных и конечных), вычисленных в виде условных математических ожиданий в момент времени $k=0$, с упреждением $l=1, 2, \dots, 23$, а также начальными условиями при $k=0$ в виде оценок математических ожиданий уровней воды в каждом z -ом резервуаре – H_{z0} .

В работе [17] приведен приближённый метод решения рассматриваемой задачи, путём перехода от стохастической задачи (1) – (14) к её детерминированному эквиваленту [19, 20], решение которого осуществляется модифицированным методом ветвей и границ.

МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ОЦЕНОК ПОТЕНЦИАЛА РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ РАЗВИТИЕМ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕМ МАГИСТРАЛЬНОГО ВОДОВОДА

Для получения практически реализуемых несмещённых и эффективных оценок потенциала ресурсо- и энергосбережения в работе предложен новый метод, основан-

ний на сравнении фактически затрачиваемой мощности и стоимости электроэнергии при существующей системе управления с прогнозируемыми затратами мощности и стоимости электроэнергии при оптимальном стохастическом управлении режимами работы МВ [21, 22]. При этом для любого конкретного варианта модернизации МВ оказывается достаточным внести изменения в граф сети, граничные условия (прогнозы водопотребления), в параметры математических моделей НА и участков трубопровода, связанных с рассматриваемым вариантом модернизации.

Получение системы интегральных оценок потенциала ресурсо- и энергосбережения МВ производилось на основании сравнения результатов решения задачи оптимального стохастического управления режимами работы МВ для различных вариантов модернизации с существующим (базовым) вариантом управления. Система интегральных оценок потенциала ресурсо- и энергосбережения получена для различных вариантов модернизации технологического оборудования и управления режимами работы МВ:

1) переход от существующей системы управления к современной системе оптимального стохастического управления ре-

жимами работы МВ для трёхзонного тарифа без изменения структуры МВ и параметров технологического оборудования МВ;

2) для НА на НС МВ, производительность и мощность которых превышает достаточно необходимую, производится:

- обрезка рабочих колёс НА;
- снижение оборотов привода НА путём замены электродвигателей НА;
- установка частотно регулируемого привода на НА.

3) Изменение структуры МВ.

В качестве примера получения системы интегральных оценок потенциала ресурсо и энергосбережения при управлении развитием и функционированием МВ рассмотрим МВ, структура которого представлена на Рис. 2.

Рассматриваемый МВ включает в себя три насосные станции первого подъёма (НС11, НС12, НС13), три НС второго подъёма (НС21, НС22, НС23) и НС третьего подъёма. НС второго подъёма НС21 и НС22 подают воду на НС третьего подъёма, а НС третьего подъёма и НС23 подают воду в РЧВ5 и в сеть города.

Для решения задачи оптимального стохастического управления режимами работы

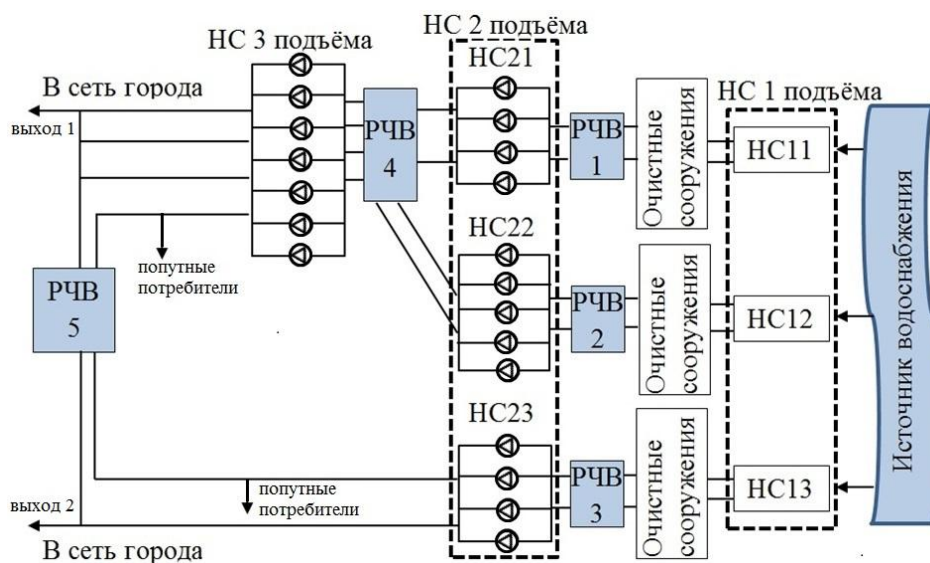


Рис. 2. Структура магистрального водовода
Fig. 2. The structure of the water main

МВ рассматривались НС второго и третьего подъёмов и РЧВ4, и РЧВ5.

НС второго подъёма НС21 и НС23 оснащены четырьмя однотипными, параллельно подключёнными НА с одинаковыми характеристиками, НС22 и НС третьего подъёма оснащены пятью и семью однотипными НА соответственно с различными характеристиками. В нулевой момент времени $k = 0$ для математическое ожидание уровней воды в РЧВ4 $H_{1,0} = 2$ м; в РЧВ5 $H_{2,0} = 1,45$ м. Допустимые диапазоны изменения уровней воды в РЧВ4 [2...4,9], в РЧВ5 [1,45...4,9]. Фактические параметры технологического оборудования МВ приведены в Табл. 1.

Таблица 1. Фактические параметры технологического оборудования МВ

Table 1. The actual parameters of technological equipment of water main

НС	Тип НА	q , м ³ /ч	h , м	N , кВт	nI , мин ⁻¹	d , мм	Кол-во НА
НС21	20НДС	3420	71	960	1000	765	4
НС22	24 НДС	6500	79	1600	750	1040	5
НС23	22 НДС	4799	90	1000	1250	825	4
НС3	24 НДС	6500	79	1600	750	990-1040	6

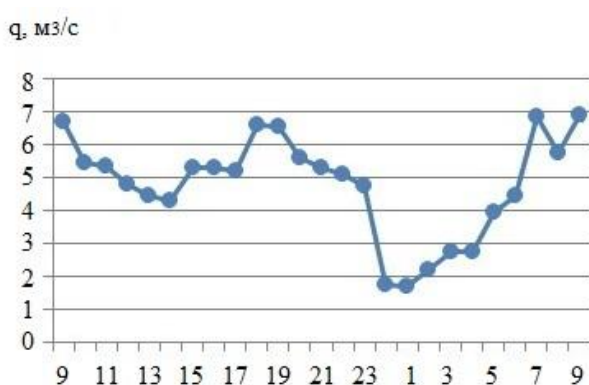


Рис. 3. Типовой почасовой график суточного прогноза потребления воды из РЧВ5

Fig. 3. Typical hourly chart of the daily water consumption forecast of CWR 5 (clean-water reservoir)

На Рис. 3 приведен типовой почасовой график суточного прогноза потребления воды из РЧВ5.

В Табл. 2 приведены 10 вариантов модернизации технологического оборудования МВ.

На Рис. 4 приводится изменённая структура МВ.

Таблица 2. Варианты модернизации технологического оборудования МВ

Table 2. Options for upgrading technological equipment of water main

Варианты	Произведенные изменения
Базовый	Существующий на данное время
1	Оптимальное стохастическое управление
2	Обрезка колёс НА на НС21 ($d^*=612$ мм) и НС22 ($d^*=792$ мм)
3	Обрезка колёс НА на НС21 ($d^*=612$ мм) и НС22 ($d^*=792$ мм), регулируемый привод на НС23 ($nI^*=700$ мин ⁻¹) и два регулируемых привода на НС3 ($nI^*=650$ мин ⁻¹), изменение структуры МВ
4	Обрезка колёс НА на НС21 ($d^*=612$ мм), НС22 ($d^*=792$ мм), НС23 ($d^*=660$ мм), три регулируемых привода на НС3 ($nI^*=650$ мин ⁻¹), изменение структуры МВ
5	Замена двигателей на НС21 ($nI^*=750$ мин ⁻¹)
6	Обрезка колёс НА на НС22 ($d^*=792$ мм)
7	Обрезка колёс НА на НС22 ($d^*=792$ мм), замена двигателей на НС21 ($nI^*=750$ мин ⁻¹)
8	Обрезка колёс НА на НС23 ($d^*=660$ мм), изменение структуры МВ
9	Замена двигателей на НС21 ($nI^*=750$ мин ⁻¹), обрезка колёс НА на НС22 ($d^*=792$ мм), НС23 ($d^*=660$ мм), изменение структуры МВ
10	Замена двигателей на НС21 ($nI^*=750$ мин ⁻¹), обрезка колёс НА на НС22 ($d^*=792$ мм), НС23 ($d^*=660$ мм), НС3 ($d^*=792$ мм), изменение структуры МВ

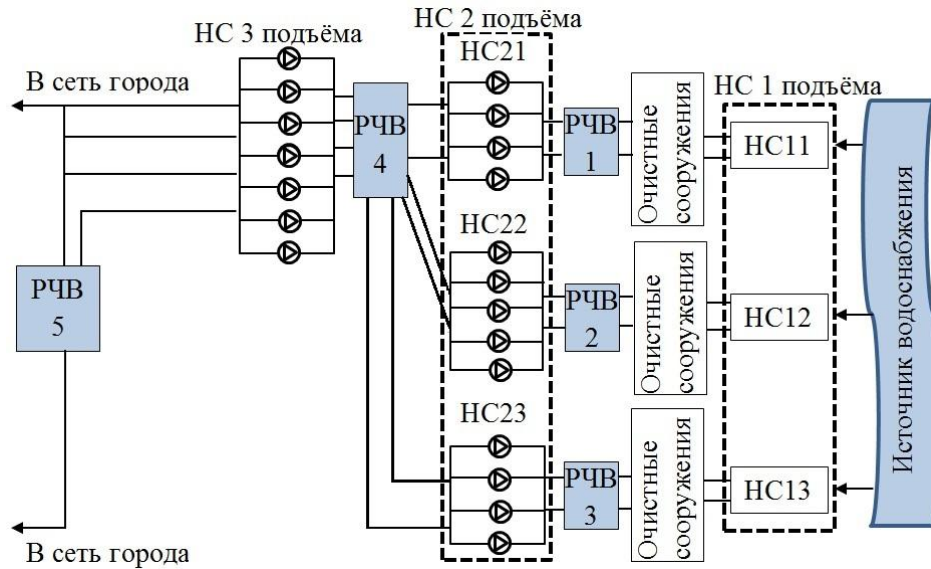


Рис. 4. Изменённая структура магистрального водовода
Fig. 4. The modified structure of the water main

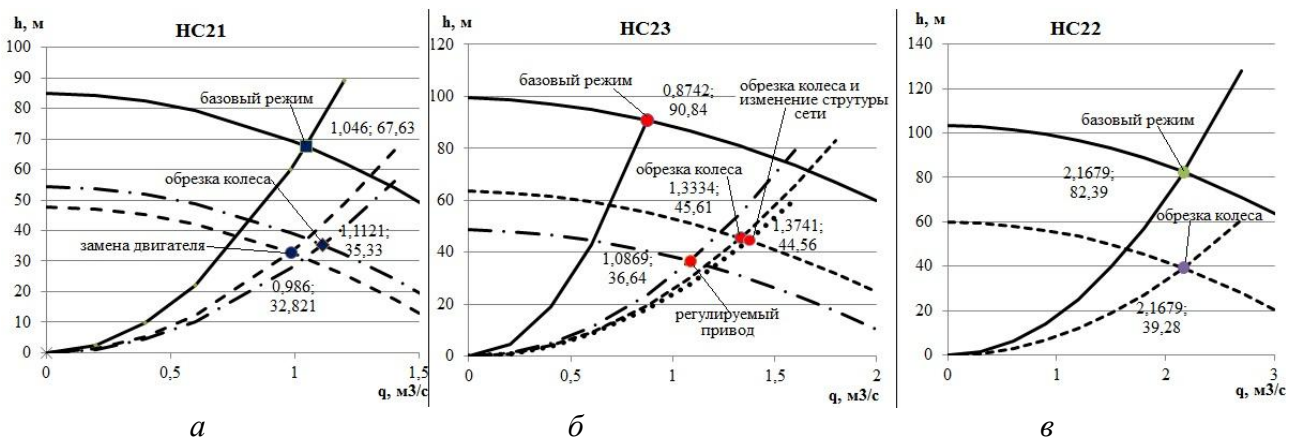


Рис. 5. Напорные характеристики насосных агрегатов и МВ для различных вариантов модернизации: *a* – НА типа 20 НДС, *б* – НА типа 22 НДС, *в* – НА типа 24 НДС

Fig. 5. Pressure characteristics of pump units and the water main for upgrade options: *a* – PU type 20NDS, *в* – PU type 22NDS, *в* – PU type 24NDS

На Рис. 5 приводятся математические ожидания напорных характеристик НА и МВ и оценки математического ожидания положения рабочих точек НА для различных вариантов модернизации. На Рис. 6 приведены проранжированные оценки математического ожидания мощности и стоимости затрат на электроэнергию за сутки для различных вариантов модернизации.

На Рис. 6 видно, что наиболее перспективным вариантом модернизации является вариант 3 (обрезка колёс НА на НС21 ($d^* = 612$ мм) и НС22 ($d^* = 792$ мм), регулируемый привод на НС23, изменение структуры МВ; оптимальное управление). На Рис. 7 приведены результаты оценок потенциала ресурса и энергосбережения для множества различных вариантов модернизации.

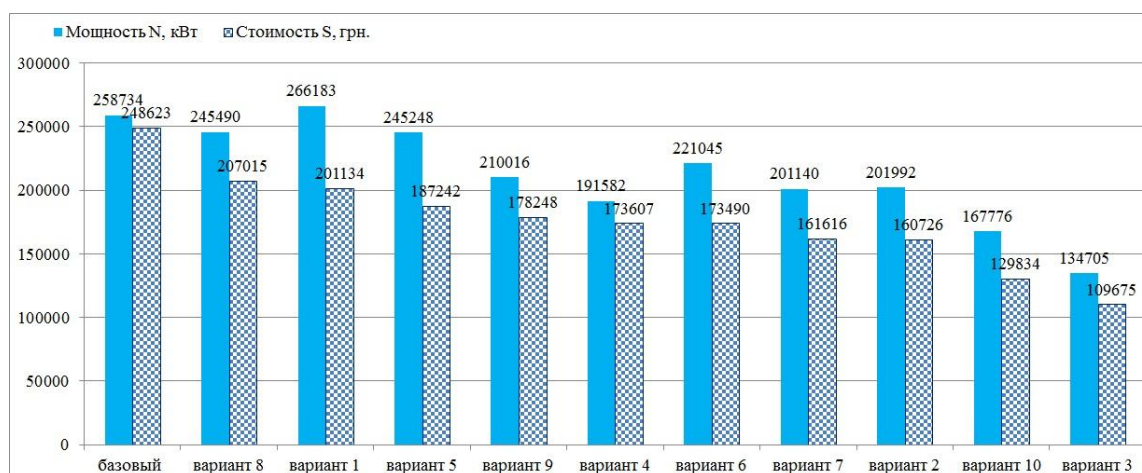


Рис. 6. Оценки математического ожидания мощности и стоимости затрат на электроэнергию за сутки для различных вариантов модернизации

Fig. 6. Estimates for the expectation of power and the cost of energy costs per day for a variety of upgrade options

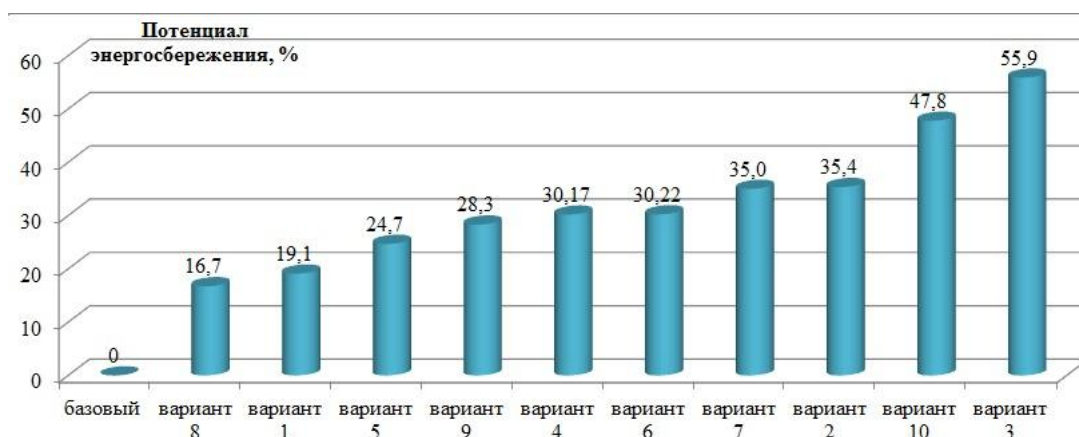


Рис. 7. Оценки потенциала ресурса и энергосбережения для множества различных вариантов модернизации

Fig. 7. Estimates of resource and energy saving potential for a variety of upgrade options

Для базового режима работы МВ с оптимальным управлением и варианта 3 приведены количество работающих НА (Табл. 3) и уровни воды в РЧВ4, РЧВ5 (Рис. 8, Рис. 9).

Таким образом, из всех рассмотренных вариантов вариант модернизации МВ (вариант 3) обладает максимальными потенциалами энергосбережения в 124 029 кВт, и максимальными потенциалами ресурсосбережения 138 948 грн. в течение суток. В относительных единицах к базовому режиму

эти потенциалы составляют соответственно 47,9% и 55,9%.

ВЫВОДЫ

1. Предложенный метод получения оценок потенциала ресурса- и энергосбережения на основании результатов компьютерного моделирования режимов работы МВ при достаточно большом объеме моделирования различных вариантов модернизации структуры и

Таблица 3. Количество работающих насосных агрегатов для базового (б) режима работы магистрального водовода и варианта 3 (в3)

Table 3. Number of operating pumps for the base (б) the mode of operation of water main and option 3 (в3)

Часы	НС21		НС22		НС23		НС3	
	б	в3	б	в3	б	в3	б	в3
24	4	4	5	5	4	1	3	1
1	4	4	5	5	4	1	3	2
2	4	4	5	5	4	1	2	2
3	4	4	5	5	4	1	2	2
4	4	4	5	5	4	1	2	2
5	4	4	5	5	1	1	2	2
6	4	4	5	5	1	1	2	2
7	1	2	1	2	1	1	1	2
8	1	2	1	2	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	2	1	2	1	1	1	1
12	1	2	1	2	1	1	1	1
13	1	2	1	2	1	1	1	1
14	1	2	1	2	1	1	1	1
15	1	2	1	2	1	1	2	2
16	1	1	1	2	1	1	2	2
17	1	1	1	2	1	1	2	2
18	1	1	1	2	1	1	2	2
19	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	2	1

параметров МВ при различных граничных условиях теоретически позволяет получить не смещённые, эффективные и практически реализуемые оценки потенциала ресурсо- и энергосбережения, которые могут служить надёжной основой для разработки и реализации инвестиционных проектов в системах водоснабжения.

2. Полученная зависимость оценок потенциала энерго- и ресурсосбережения от вида и объёма модернизации МВ позволяет построить оптимальную, с точки зрения располагаемых инвестиций и сроков их окупаемости, стратегию проведения работ по реконструкции и развитию МВ.



Рис. 8. Изменение оценки математического ожидания уровня воды в CWR4

Fig. 8. The change of the estimate of the mathematical expectation of water level in CWR4

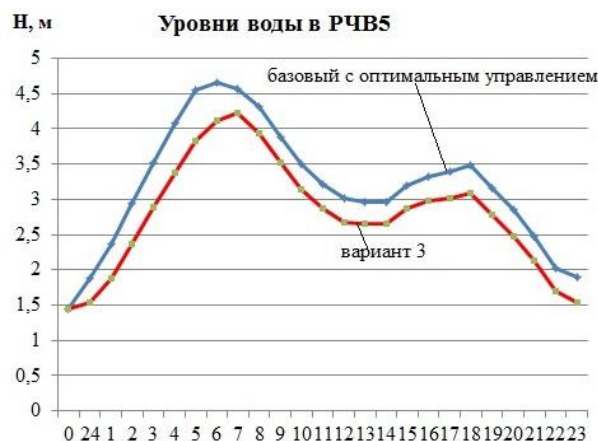


Рис. 9. Изменение оценки математического ожидания уровня воды в CWR5

Fig. 9. The change of the estimate of the mathematical expectation of water level in CWR5

3. Полученные оценки потенциала энерго- и ресурсосбережения для конкретного МВ позволяют сделать его инвестиционно привлекательным.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Абрамов Н. Н., 1974.** Водоснабжение. Москва. Стройиздат, 481.
2. **Burgschweiger J., Gnadig B., Steinbach M. C. 2009.** Nonlinear Programming Techniques for Operative Planning in Large Drinking Wa-

- ter Networks. The Open Applied Mathematics Journal, 3, 14-28.
3. **Burgschweiger J., Gnadig B., Steinbach M. C. 2009.** Optimization Models for Operative Planning in Drinking Water Networks. Optimization and Engineering, Vol. 10, 1, 43-73.
 4. **Lipták B., 2009.** Pumping Station Optimization. Control Promoting Excellence in Process Automation, 12-19.
 5. **Pulido-Calvo I., Gutiérrez-Estrada J. C., 2011.** Selection and Operation of Pumping Stations of Water Distribution Systems. Environmental Research Journal, Nova Science Publishers, 1-20.
 6. **Ruuskanen A., 2007.** Optimization of Energy-Consumption in Wastewater Pumping. Lappeenranta University of Technology Department of Energy- and Environmental Technology, 99.
 7. **Карелин В.Я., Минаев А. В., 1986.** Насосы и насосные станции. Москва, Стройиздат, 320.
 8. **Лезнов Б.С., 2006.** Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздушных установках. Москва, Энергоатомиздат, 358.
 9. **Лобачёв П.В., 1983.** Насосы и насосные станции. Москва, Стройиздат, 191.
 10. **Тевяшев А.Д., Матвиенко О.И., 2014.** Об одной стратегии оперативного планирования режимов работы насосной станции. Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 3, 4-9.
 11. **Тевяшев А.Д., Шулик П.В., 2002.** Оценка параметров математических моделей элементов насосных станций в реальном времени. АСУ и приборы автоматики, 1, 28-37.
 12. **Тевяшев А.Д., Матвиенко О.И., Никитенко Г. В., 2014.** Стохастическая модель и метод оперативного планирования режимов работы насосных станций. Вода. Экология. Общество. Харьков, Матер. IV междунар. уч.-техн. конф. ХНУГ им. Бекетова, 61-64.
 13. **Steinbach M.C., 2001.** Tree-Sparse Convex Programs. Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin, ZIB-Report, 22.
 14. **Steinbach M.C., 2001.** General Information-Constrained in Stochastic Programs. Berlin, ZIB, 5.
 15. **Teviashev A.D., Matvienko O. I., 2014.** About One Approach to Solve the Problem of Management of the Development and Operation of Centralized Water-Supply Systems. Econtechmod, An International Quarterly Journal, Vol. 3, 61-76.
 16. **Tevyashev A., Matviyenko O., 2015.** About One Problem of Optimal Stochastic Control of the Modes of Operation of Water Mains. Econtechmod, An International Quarterly Journal, Vol. 4, Issue 3, 3-12.
 17. **Тевяшев А.Д., Матвиенко О.И., 2015.** Математическая модель и метод оптимального стохастического управления режимами работы магистрального водовода. Восточно-Европейский журнал передовых технологий, № 6/4(78), 45-53.
 18. **Тевяшев А.Д., Матвиенко О. И., 2014.** Стохастическая модель и метод зонирования водопроводных сетей. Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 1(67), 17-24.
 19. **Евдокимов, А.Г., Тевяшев А.Д., 1980.** Оперативное управление потокораспределением в инженерных сетях. Харьков, Вища школа, 144.
 20. **Бертсекас Д., Шрив С., 1985.** Стохастическое оптимальное управление. Москва, Наука, 280.
 21. **Тевяшев А.Д., Матвиенко О. И., Никитенко Г. В. 2014.** Оценка потенциала энерго и ресурсосбережения в системах централизованного водоснабжения. Науковий вісник будівництва, 3(77), 144-150.
 22. **Чупин Р.В. Мелехов Е. С., 2011.** Развитие теории и практики моделирования и оптимизации систем водоснабжения и водоотведения. Иркутск, Изд-во ИрГТУ, 323.
 23. **Гавриленко В., Лимарченко О., Ковальчук О., 2015.** Вплив сил Кориоліса на динаміку трубопровода з рідиною при різних способах закріплення. Підводні технології. Вип. 02, 66-71.
 24. **Zhuravska N., Malkin E. 2015.** Energy-saving technologies with the use of water treat the magnetic fields. Підводні технології. Вип. 02, 79-83.

REFERENCES

1. **Abramov N., 1974.** Water Supply. Stroyizdat, Moscow, 481 (in Russian).
2. **Burgschweiger J., Gnadig B., Steinbach M. C., 2009.** Nonlinear Programming Techniques for Operative Planning in Large Drinking Water Networks. The Open Applied Mathematics Journal, 3, 14-28.
3. **Burgschweiger J., Gnadig B., Steinbach M.C., 2009.** Optimization Models for Operative Planning in Drinking Water Networks. Optimization and Engineering. Vol. 10, 1, 43-73.

4. **Lipták B., 2009.** Pumping Station Optimization. Control Promoting Excellence in Process Automation, 12-19.
5. **Pulido-Calvo I. Gutiérrez-Estrada J.C., 2011.** Selection and Operation of Pumping Stations of Water Distribution Systems. Environmental Research Journal, Nova Science Publishers, 1-20.
6. **Ruuskanen A., 2007.** Optimization of Energy Consumption in Wastewater Pumping. Lappeenranta University of Technology Department of Energy- and Environmental Technology, 99.
7. **Karelin V.Y., Minayev A.V., 1986.** Pumps and Pumping Stations. Moscow, Stroyizdat, 320 (in Russian).
8. **Leznov B.C., 2006.** Energy Saving and Adjustable Drive for Pump and Blower Installations. Moscow, Energoatomizdat, 358 (in Russian).
9. **Lobachev P.V., 1983.** Pumps and Pumping Stations. Moscow, Stroyizdat, 191 (in Russian).
10. **Teviashev A.D., Matvienko O.I., 2014.** One Strategy of Operational Planning Mode Pumping Station. East European Journal of Enterprise Technologies, 3, 4-9 (in Russian).
11. **Teviashev A.D., Shulik P.V., 2002.** Estimation of Parameters of Mathematical Models of the Elements of Pumping Stations in Real Time. ACS and Automation Devices. Kharkov, UnivKhTURE, 28-37 (in Russian).
12. **Teviashev A.D., Matviyenko O.I., Nikitenko G.V., 2014.** Stochastic Model and Method of Operational Planning Modes Pumping Stations. Water. Ecology. Society. Kharkov, Proceedings of the IV International Scientific Technical Conference, UnivKhNUG, 61-64 (in Russian).
13. **Steinbach M.C., 2001.** Tree-Sparse Convex-Programs. Konrad-Zuse-Zentrum für Informations technik Berlin, ZIB-Report, 22.
14. **Steinbach M.C., 2001.** General Information Constraints in Stochastic Programs. Berlin, ZIB, 5.
15. **Teviashev A.D., Matvienko O.I., 2014.** About One Approach to Solve the Problem of Management of the Development and Operation of Centralized Water-Supply Systems. Econtechmod. An International Quarterly Journal, Vol. 3, 61-76.
16. **Tevyashev A., Matviyenko O., 2015.** About One Problem of Optimal Stochastic Control of the Modes of Operation of Water Mains. Econtechmod. An International Quarterly Journal, Vol. 4, Issue 3, 312.
17. **Tevyashev A.D., Matviyenko O.I., 2015.** Mathematical Model and Method of Stochastic Optimal Control Modes of Water Main. East European Journal of Enterprise Technologies, 6/4 (78), 45-53 (in Russian).
18. **Teviashev A.D., Matviyenko O.I., 2014.** Stochastic Model and Method of Zoning Water Networks. Kharkov, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (67), 17-24 (in Russian).
19. **Evdokimov A.G., Teviashev A.D., 1980.** Operational Management of Load Flow in Engineering Networks. Kharkiv, High School, 144.
20. **Bertsekas D., Shreve S., 1985.** Stochastic Optimal Control. The Discrete Time Case. Moscow, Nauka, 280 (in Russian).
21. **Tevyashev A.D., Matviyenko O.I., Nikitenko G.V., 2014.** Estimation of Potential Energy and Resources in the Centralized Water Supply Systems. Naukoviy Visnik Budivnitstva, 3 (77), 144-150 (in Russian).
22. **Chupin R.V., Melehov E.S., 2011.** The Theory and Practice of Modeling and Optimization of Water and Wastewater. Irkutsk, Publisher Irkutsk State Technical University, 323 (in Russian).
23. **Gavrylenko V., Lymarchenko O., Kovalechuk O., 2015.** The influence of Coriolis forces on the dynamics of pipe with fluid Under different ways of fixing. Underwater technology, Vol.02, 66-71 (in Russian).
24. **Zhuravska N., Malkin E. 2015.** Energy-saving technologies with the use of water treat the magnetic fields. Underwater technology, Vol.02, 79-83.

Estimation of the potential of resource and energy saving in the management of development and functioning of water main

Andrey Tevyashev, Olga Matviyenko

Kharkiv National University of Radio Electronics
prosp. Nauki, 14, Kharkiv, Ukraine, 61166
tad45@mail.ru, orcid.org/0000-0002-2846-7089

Summary. The problem of estimating of the potential of resource and energy saving while the preparation of the investment projects of the modernization of the technological equipment and the transition from the traditional modes of operation of the water mains to the optimal stochastic control for three-band tariffs for the electricity is examined in this work. A new method to obtain unbiased, ef-

fective and practically implemented estimates of the potential of resource and energy saving in the water mains has been proposed. The method is based on the use of the results of computer based simulation of the solving of the problem of optimal stochastic control of the modes of operation of the water main. The whole variety of options of the modernization of the water main is narrowed down to the change of the net graph, boundary conditions (predictions of water consumption and levels of water in the reservoirs), the parameters of mathematical models of the pump units and sections of the pipeline.

The results of the estimates of the potential of resource and energy saving for a variety of different options of the modernization of the technological equipment of one of the largest water mains in Ukraine, providing water to the city with a population over 1,5 million people are given. The obtained estimates of the potential of resource and energy saving for the specific water main allow to make it investment-attractive.

Key words: water main, estimation of potential resource, optimal stochastic control, steering-wheel drive, the pumping station.

Исследование технологии устройства горизонтального экрана на крупномасштабном стенде

Александр Галинский

Государственное предприятие Научно-исследовательский институт строительного производства
Червонозоряный проспект, 51, Киев, Украина, 03110
agaln@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3648-4572

Аннотация. Рассмотрена задача устройства горизонтального противofильтрационного экрана (ГПЭ) под сооружением с целью защиты грунтов от загрязнения техногенными стоками. Проведены экспериментальные исследования по определению тягового усилия перемещения режущего ножа в песке. Установлено влияние технологических факторов – вертикального давления, давления подачи и плотности раствора – на тяговое усилие, необходимое для создания экрана. На основе полученных зависимостей даны рекомендации по конструированию рабочего органа для устройства ГПЭ.

Ключевые слова: технология, эксперимент, горизонтальный экран, тяговое усилие.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Проблема защиты грунтов и грунтовых вод от загрязнения токсичными стоками, локализация распространения токсичных веществ и радионуклидов как по площади, так и на значительные глубины является актуальной и сегодня [16]. Локализация загрязненных грунтов и стоков достаточно надежно решается применением совершенных противofильтрационных завес, возводимых способом «стена в грунте». Однако эффективность такой вертикальной завесы значительно снижается в случае отсутствия на практически достигаемой глубине водоупорного слоя грунта, в который должна быть заглублена завеса. При отсутствии водоупора проблему можно решить, применяя но-

вую технологию устройства горизонтального экрана под существующими сооружениями. Для создания новой технологии необходимо решить важную задачу определения усилий перемещения рабочего органа при создании горизонтальной полости в грунте в замкнутом пространстве под воздействием вертикальной нагрузки.

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Предварительные исследования, проведенные в НИИ строительного производства, показали возможность создания горизонтального противofильтрационного экрана для локализации загрязнений и необходимость определения влияния различных факторов на процесс образования горизонтальной полости под действием вертикального давления и устройства в ней экрана.

Анализ работ Ю.А. Ветрова, В.Л. Баладинского, А.Н. Зеленина, В.И. Баловнева, М.К. Сукача показал направления исследования влияния формы рабочего органа и свойств грунта на процесс образования горизонтальной полости для устройства противofильтрационного экрана в замкнутом пространстве под сооружением.

Одной из задач создания технологии устройства горизонтального противofильтрационного экрана под сооружением является определение усилий перемещения ра-

бочего органа при образования экрана на базе известных зависимостей с использованием теоретических методов и экспериментальных исследований на крупномасштабных моделях.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

На основании исследований на крупномасштабном стенде установить эмпирические зависимости усилий перемещения рабочего органа в сыпучей среде от вертикального давления, давления подачи раствора, плотности раствора и свойств среды, а также получить значения коэффициентов, учитывающих свойства среды и форму рабочего органа при создании горизонтального экрана.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Научно-исследовательским институтом строительного производства предлагается новая технология устройства горизонтального противодиффузионного экрана (ГПЭ) [1] для защиты грунтов и грунтовых вод от загрязнения, которая базируется на технологии устройства горизонтальных скважин методом горизонтально-направленного бурения (ГНБ).

Основными процессами технологии являются бурение направляющих горизонтальных скважин, затягивание в скважины разделительных элементов из полимерных труб, разработка грунта между скважинами с разделительными элементами грунторазрабатывающим рабочим органом и заполнение образовавшейся горизонтальной полости противодиффузионным материалом (ПФМ) (Рис. 1).

При всем многообразии процессов, подлежащих изучению, основной задачей является изучение процесса образования горизонтальной полости в грунте под воздействием вертикального давления и определение сопротивлений перемещению рабочего органа в грунте, необходимых для обоснованного выбора технологического оборудования для образования полости, основным пара-

метром которого является тяговое усилие.

На сегодня существует большое число исследований процесса поверхностного (отвального) резания грунта ножом и разработаны достаточно хорошие математические модели. Наиболее распространенными моделями такого процесса являются модель Ю.А. Ветрова [2, 3] – процесс резания при малых скоростях, уточненная модель В.Л. Баладинского [4] – для скоростей больше 20 м/с, модели, разработанные А.Н. Зелениным, В.И. Баловневым и др [5 – 7].

Процесс безотвального резания в замкнутой среде методом протягивания грунторазрабатывающего рабочего органа (ножа) имеет существенные отличия и требует учета других параметров и использования других моделей. Задачи такого типа рассматриваются в разделе механики взаимодействия твердого тела с деформируемой средой (в данном случае песчаным грунтом). Наиболее изученными являются вопросы взаимодействия твердых тел с классическими моделями сред (несжимаемой вязкой жидкостью, упругой средой). Значительно меньше работ посвящено неклассическим средам, в частности линейным вязко-упругим средам [17]. Фактически не исследованы задачи движения твердых тел в сжимаемой вязкой жидкости.

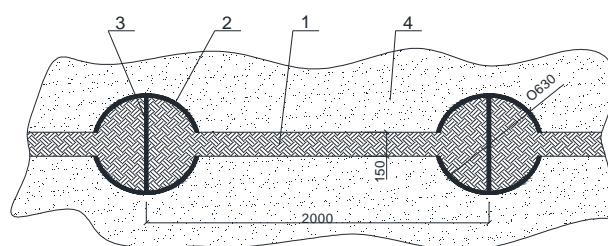


Рис.1. Фрагмент ГПЭ:

1 – горизонтальная полость, заполненная противодиффузионным материалом; 2 – горизонтальная скважина с разделительным элементом; 3 – перегородка разделительного элемента; 4 – окружающий грунт

Fig.1. Fragment of the HIS:

1 – is a horizontal cavity filled with impermeable material; 2 – horizontal well with a separation element; 3 – partition of the separating element; 4 – the surrounding soil

В силу сложности задачи проникновения тела в среде основная роль отводится экспериментально-теоретическим методам. Согласно существующим исследованиям для рассматриваемой задачи существенными будут следующие характеристики рабочего органа: геометрические параметры, к которым относятся не только размеры рабочего органа, а и его форма, которая влияет на характер процессов взаимодействия со средой и на процессы, возникающие в самой среде под его воздействием; масса; материал, определяющий коэффициент трения; скорость перемещения рабочего органа.

Для реализации рассматриваемой технологии рабочий орган представляется в виде двух частей: режущей части – ножа и задней части – стабилизатора. На практике наиболее часто используют две формы режущей части – клиновидную и закругленную (сферическую, эллиптическую или имеющую выпуклую поверхность второго порядка).

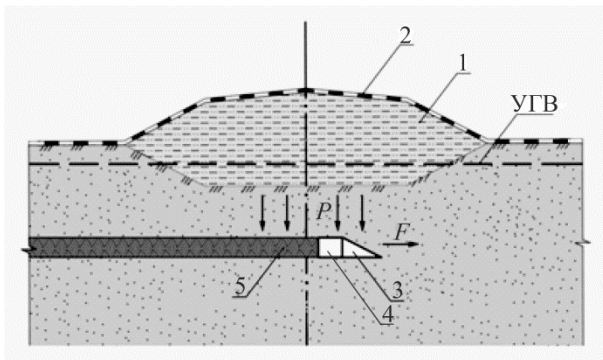


Рис. 2. Схема сил, действующих на рабочий орган: P – вертикальное давление; F – усилие перемещения рабочего органа (ножа); 1 – хранилище отходов; 2 – надземная гидроизоляция; 3 – нож рабочего органа; 4 – стабилизатор рабочего органа; 5 – ГПЭ

Fig. 2. Diagram of the forces acting on the working body: P – the vertical pressure; F – the movement force of the working body (knife); 1 – waste storage; 2 – above-ground waterproofing; 3 – the knife of the working body; 4 – the stabilizer of the working body; 5 – HIS

В процессе устройства экрана при движении рабочего органа на него будут действовать силы (Рис. 2), воздействие которых будет компенсироваться направляющими, задающими прямолинейное направление. Однако для обеспечения стабильного движения нож необходимо сбалансировать таким образом, чтобы центр масс находился ближе к режущей кромке.

Процесс прокладывания горизонтального экрана можно представить как совокупность двух основных процессов: прокладывание пути передней режущей частью рабочего органа и прокладывание (укладка) экрана.

Возможность реализации предлагаемой технологии в основном определяется реализуемостью первого процесса – возможностью перемещения рабочего органа в среде.

Процесс проникновения рабочего органа в грунт условно можно разделить на три отдельные задачи расчета усилий сопротивления: для режущей ножевой части, для стабилизирующей части и для боковых стен ножевой части.

Общее усилие находится суммированием полученных значений усилий для каждой отдельной части. Однако, как показывают эксперименты М.К. Сукача [8 – 10], основные усилия связаны с перемещением режущей части ножа. Для решения задачи определяются следующие исходные данные: физико-механические характеристики грунта (угол внутреннего трения, сцепление, плотность, угол трения грунта по металлу), параметры ножевой части (угол заострения клина, толщина клина, ширина клина, длина ножевой части и боковых стен), траектория движения.

Прочность сыпучего тела (сопротивление разрушению) в основном определяется его сопротивлением сдвигу или срезу. Сопротивление сыпучего тела растяжению связано с его сопротивлением сдвигу, а сопротивление сжатию зависит от прочности частиц и от тех давлений, которые возникают в местах контакта и могут достигать больших значений [11].

Вышеупомянутые исследования показывают, что для построения математической модели процесса устройства ГПЭ в сыпучей песчаной среде необходимо применять экспериментально-теоретический метод исследования, так как значения физико-механических характеристик сыпучей среды, входящие в расчетные формулы, наиболее точно могут быть определены экспериментальным путем.

Из анализа работ по механике сплошной среды для эмпирического подхода можно предположить, что сила сопротивления среды F определяется в виде суммы трех сил

$$F = F_1 + F_2 + F_3, \quad (1)$$

где F_1 – сила динамического сопротивления, вызванная инерцией частиц среды, принимается пропорциональной квадрату скорости проникания тела в среду; F_2 – сила вязкости среды, возникающая за счет преодоления трения между частицами среды; F_3 – сила статического сопротивления, которая оказывает существенное влияние и величина которой не зависит от скорости движения тела [12].

Таким образом, силу сопротивления среды можно представить в виде уравнения

$$F = AV^2 + BV + C, \quad (2)$$

где A, B, C – положительные константы, зависящие от свойств среды и формы движущегося в ней тела; V – скорость перемещения рабочего органа.

С учетом того, что скорость перемещение рабочего органа в грунте при устройстве горизонтального экрана мала

(10...12 м/час) и того, что при таких скоростях преобладают упругие деформации, в работах [13, 14] для расчета необходимых усилий была предложена следующая упрощенная формула, позволяющая учитывать процессы, протекающие в системе «твердое тело – сыпучая среда»:

$$N = (B\rho_{po}V^2 + P_{верт}), \quad (3)$$

где $N=F/S$ – удельное усилие перемещения рабочего органа в песчаной среде, Па; S – площадь миделя; B – коэффициент, учитывающий свойства среды и форму рабочего органа; ρ_{po} – плотность материала рабочего органа, кг/м³, $P_{верт}$ – вертикальное давление, Па.

Для изучения возможности образования горизонтального экрана в песчаном грунте в условиях воздействия вертикальной нагрузки, получения эмпирическим путем значений удельного сопротивления N и коэффициента B была проведена серия экспериментов [13, 14] на специальной приставке к серийному сдвиговому прибору ПСГ-2М для рабочих органов с клиновидной и радиальной формой режущего ножа.

Экспериментами установлено, что рабочий орган в виде ножа с радиальной заточкой легче стабилизируется и является оптимальным для образования полости, особенно при увеличении плотности песчаной среды. Поэтому нож такой формы был выбран для дальнейших исследований.

Обработка результатов эксперимента методами математической статистики позволила получить эмпирические зависимости удельного сопротивления перемещению рабочего органа N органа от вертикального

Таблица 1. Уравнения регрессии удельного сопротивления перемещению рабочего органа от вертикального давления

Table 1. Regression equations of specific resistance to movement the working body of the vertical pressure

Степень уплотнения Id	Угол заточки ножа 11°	Угол заточки ножа 25°	Радиальная заточка ножа
0,24	$y = 34,613x - 0,071$	$y = 25,025x + 0.524$	$y = 35,403x - 0,236$
0,52	$y = 49,408x + 0.275$	$y = 33,897x + 0.548$	$y = 57,129x - 0,852$
0,8	$y = 52,344x + 1,548$	$y = 47,957x + 0.609$	$y = 32,6 \cdot \ln(x + 0,138) + 51,17$

давления и степени уплотнения песка для рабочих органов с клиновидной и радиальной формой режущего ножа (Табл. 1), а с учетом формулы (3) – значения коэффициента B .

Исследования показали, что зона уплотнения ограничена малыми размерами грузового отсека приставки (340×100×110мм) и, вероятно, значительно превосходит его размеры, из чего следует, что процесс уплотнения песка, протекающий при проведении экспериментов, отличается от реальных условий, в которых среда представляется как бесконечный объем. Поэтому значения коэффициента B , учитывающего влияние среды и форму рабочего органа и, соответственно удельного усилия перемещению рабочего органа N в песчаной среде требуют уточнения на стенде значительно большего размера.

Для моделирования технологии устройства ГПЭ с учетом влияния различных факторов был создан крупномасштабный стенд, позволяющий в условиях, приближенных к реальным, практически отработать основные процессы по созданию ГПЭ.

Основными элементами стенда для моделирования технологии устройства ГПЭ являются бункер для грунта (песка); прижимная крышка с прорезиненным днищем (пневмопригруз) для моделирования избыточного вертикального давления на грунт нагнетанием в нее компрессором воздуха; трубы, моделирующие горизонтальные скважины с ограничителями; гидравлическая система подачи ПФМ; привод перемещения рабочего органа; рабочий орган с радиальной формой режущего элемента; полые тяги для соединения рабочих органов с приводом (Рис. 3)

С учетом того, что на приставке было отмечена неэффективность подачи ПФМ в горизонтальную полость со стороны ее устья, для стенда были созданы рабочие органы в виде ножа с радиальной заточкой и с форсунками для подачи ПФМ непосредственно за рабочий орган по мере его перемещения.

Эксперименты, проведенные на крупномасштабном стенде, можно разделить на две серии:

- 1-я – эксперименты без прокладывания ГПЭ, которые проводились с целью определения на стенде тягового усилия перемещения рабочего органа в песке «насухо» без прокладывания экрана и уточнения значения коэффициента B ;

- 2-я – эксперименты с прокладыванием ГПЭ для определения влияния технологических факторов на процесс образования экрана, на величину тягового усилия и удельного сопротивления перемещению рабочего органа в песке при образовании ГПЭ на качество экрана.

В первой серии определение удельного усилия перемещению рабочего органа N в песчаной среде и, соответственно значения коэффициента B , учитывающего влияние среды и форму рабочего органа, проводилось при протягивании рабочего органа в бункере стенда, заполненного предварительно уплотненным песком. Степень уплотнения песка – 0,8, что соответствовало в среднем плотности 1,65г/см³. Вертикальное давление на рабочий орган, создаваемое

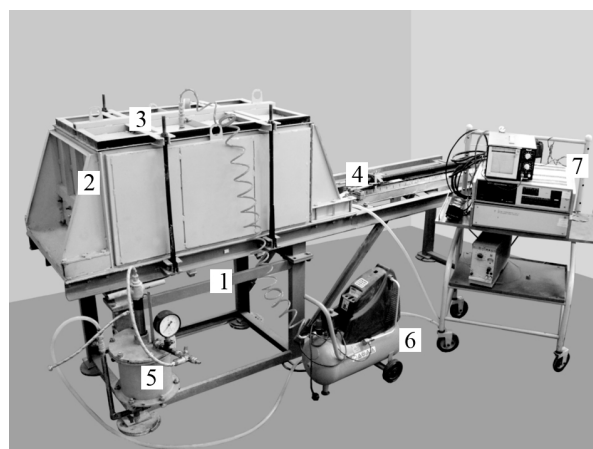


Рис. 3. Стенд для моделирования технологии устройства горизонтального экрана:
1 – основание стенда; 2 – бункер; 3 – прижимная крышка; 4 – каретка привода перемещения рабочего органа; 5 – гидравлическая система подачи ПФМ; 6 – компрессор; 7 – измерительная система

Fig. 3. Stand for simulation technology of horizontal screen construction:
1 – base of the stand; 2 – bunker; 3 – clamping cover; 4 – carriage of the movement of the working body; 5 – hydraulic system for IM feed; 6 – compressor; 7 – metering system

Таблица 2. Результаты определения тягового усилия $F_{\text{сух}}$ и удельного сопротивления перемещению рабочего органа $N_{\text{сух}}$ в песке без образования экрана
Table 2. Results of determination of traction $F_{\text{сух}}$ and specific resistance to movement of the working body $N_{\text{сух}}$ in the sand without the screen formation

Р _{верт} = 0,4 * 9,81 * 10 ⁴ Па										
										Среднее
F _{сух} , Н	1368,25	1385,55	1411,20	1439,87	1461,50	1490,21	1521,36	1540,48	1570,89	1465,48
N _{сух} * 10 ⁴ , Па	47,57	48,18	49,07	50,07	50,82	51,82	52,90	53,56	54,62	50,96
Р _{верт} = 0,8 * 9,81 * 10 ⁴ Па										
										Среднее
F _{сух} , Н	1898,18	1980,14	2070,33	2192,00	2322,55	2407,20	2487,12	2629,33	2686,24	2297,01
N _{сух} * 10 ⁴ , Па	66,00	68,85	71,99	76,22	80,76	83,70	86,48	91,42	93,40	79,87

песком и пневмопригрузом, составляло 0,4 и 0,8 кг/см². Усилия, необходимые для перемещения рабочего органа, измерялись динамометром ДОРМ-3-0,5 и тензометрической измерительной системой СИИТ-3. Результаты первой серии экспериментов сведены в Табл. 2.

Значение B определялось с учетом выражения (3) по формуле

$$B = \frac{N_{\text{сух}} - P_{\text{верт}}}{\gamma_{\text{по}} v^2} \quad (4)$$

Для определения $B_{\text{ст}}$ по результатам экспериментов на стенде использовались данные Табл. 3, а для определения значения $B_{\text{пр}}$ по результатам экспериментов на приставке использовалось уравнение регрессии для ножа с радиальной формой заточки (Табл.1):

$$y(x) = 32,62 * \ln(x + 0,138) + 51,17, \quad (5)$$

где $y - N_{\text{сух}}$, $x - P_{\text{верт}}$.

Результаты определения B приведены в Табл. 3, анализ которой показывает корреляционную связь результатов, полученных на приставке к сдвиговому прибору и стенде: изменение вертикального давления с 0,4 до 0,8 кг/см² больше чем в 1,5 раза в обоих случаях увеличивает удельное сопротивление

перемещению рабочего органа и, соответственно коэффициент B .

Также установлено, что значения удельного сопротивления перемещению рабочего органа и, соответственно коэффициента B , учитывающего влияние среды и форму рабочего органа, в экспериментах на стенде практически в 6 раз меньше тех же показателей, полученных на приставке. Это объясняется тем, что в экспериментах на приставке зона уплотнения песка при перемещении рабочего органа была ограничена размерами контейнера, что принципиально отличается от реальных условий, при которых среда представляется как бесконечный объем, в то время как эксперименты на крупномасштабном стенде значительно ближе к реальным условиям. Основная цель второй серии экспериментов состоит в корректировке упрощенной формулы (3) по определению тягового усилия за счет учета дополнительных усилий, обусловленных технологическими особенностями образования ГПЭ и конструктивными особенностями рабочего органа.

Исходя из этого, вторая серия проводилась при тех же значениях основных параметров, что и первая, но для различных значений вертикального давления, давления подачи раствора и плотности подаваемого раствора.

Таблица 3. Результаты определения значений B
Table 3. Results of determination of values B

№ п/п	Оборудования	$\rho_{\text{нр}},$ кг/м ³	$V, *$ 10 ⁻² м/с	$P_{\text{верт}}, *9,81*10^4$ Па						$B_{0,8}/B_{0,4}$
				0,4			0,8			
				$N_{\text{сyx}} *$ 10 ⁴ Па	$B*10^6$	$B_{\text{нр}}/B_{\text{см}}$	$N_{\text{сyx}} *$ 10 ⁴ Па	$B*10^6$	$B_{\text{нр}}/B_{\text{с}}$ m	
1	Приставка	7800	0,33	303,5	35,27	6,37	481,5	55,76	6,58	1,58
2	Стенд			50,96	5,54		79,87	8,48		1,53

Именно эти параметры влияют как на величину реактивной силы и величину вибрации рабочего органа, которые возникают при выходе раствора из его форсунок, так и на изменение влажности песчаной среды и могут контролироваться в процессе проведения испытаний.

В процессе создания экрана моделировалось вертикальное давление, составляющими которого были давление песка, находящегося в бункере, и дополнительное давление, создаваемое пневмопригрузом. Вертикальное давление изменялось от 0,04 до 0,8 кг/см².

Экран состоял из трех параллельных полос, образуемых между ограничителями рабочим органом с форсунами, через которые в полость за рабочим органом по тяговым раствороподводящим трубкам подавался раствор ПФМ плотностью от 1,2 до 1,35 г/см³. Давление подачи раствора варьировалось от 0,7 до 1 кг/см².

Для оценки влияния вышеуказанных факторов на возможность создания горизонтального экрана и его качество был использован метод планирования эксперимента с проведением исследований по 15-ти точечному симметричному плану с определением функций отклика и последующим составлением уравнений регрессии.

В качестве одной из функций отклика было выбрано удельное сопротивление перемещению рабочего органа N_3 . Ниже представлено уравнение регрессии по определению N_3 в зависимости от технологических факторов – вертикального давления X_1 , давления подачи раствора X_2 и плотности раствора X_3 :

$$N_3 = 42,75 + 22,7X_1 - 2,3X_2 - 2,0X_3 - 1,59X_1X_2 - 1,14X_1X_3 - 0,12X_2X_3 - 0,07X_1X_2X_3, \quad (6)$$

В Табл. 4 приведены результатам определения тягового усилия F_3 .

Как показали исследования, при вертикальном давлении на экран 0,04 кг/см², давлении подачи раствора 0,7...1 кг/см² и плотности раствора 1,2...1,35 г/см³ экран практически не получался, а при других вариациях факторов имел достаточно качественную структуру. Поэтому в дальнейших рассуждениях были использованы результаты экспериментов при вертикальных давлениях 0,4 и 0,8 кг/см².

В конструкции рабочего органа предусмотрены форсунки на его задней стенке для выхода раствора в полость, образующуюся за рабочим органом.

При выходе раствора ПФМ под давлением через форсунки возникает реактивная сила. Поэтому усилие, необходимое для устройства экрана F_3 в песке, можно описать следующим общим балансным соотношением:

$$F_3 = F_{\text{п}} - F_{\text{р}}, \quad (7)$$

где $F_{\text{п}}$ – усилие для образования полости в песке, Н; $F_{\text{р}}$ – реактивная сила, Н.

С использованием соотношения Мещерского для реактивной тяги при воздействии дополнительной внешней силы уравнение для определения тягового усилия можно представить в виде

Таблиця 4. Результати определения средних значений тягового усилия и удельного сопротивления перемещению рабочего органа при образовании экрана
Table 4. Results of determination of the average values of traction and specific resistance to movement of the working body while screen formation

$P_{\text{верт}} =$ 9,81* 10^4 Па	$F_{\text{э}}, \text{ Н}$	$N_{\text{э}} * 10^4$ Па	$F_{\text{э}}, \text{ Н}$	$N_{\text{э}} * 10^4$ Па	$F_{\text{э}}, \text{ Н}$	$N_{\text{э}} * 10^4$ Па
	$\rho_{\text{р-ра}} * 10^3 \text{ кг/м}^3$					
	1,2		1,28		1,35	
$P_{\text{под}} = 0,7 * 9,81 * 10^4 \text{ Па}$						
0,8	2085,29	72,51	1984,96	69,02	1900,62	66,09
0,4	1299,26	45,18	1233,08	42,87	1202,73	41,82
0,04	618,48	21,50	587,37	20,42	572,66	19,91
$P_{\text{под}} = 0,85 * 9,81 * 10^4 \text{ Па}$						
0,8	1989,15	69,16	1869,44	65,00	1781,75	61,95
0,4	1278,84	44,47	1193,88	41,51	1144,77	39,80
0,04	608,74	21,17	568,66	19,77	515,95	17,94
$P_{\text{под}} = 1,0 * 9,81 * 10^4 \text{ Па}$						
0,8	1866,59	64,90	1744,04	60,64	1676,81	58,30
0,4	1244,38	43,27	1160,78	40,36	1099,07	38,22
0,04	590,92	20,55	552,35	19,21	523,63	18,21

$$F = S \left(B \rho_{\text{н}} v^2 + P_{\text{в}} \right) - \sqrt{\frac{2P_{\text{под}}}{\rho_{\text{р-ра}}}} \cdot \frac{m}{t} =$$

$$= S \left(B \rho_{\text{н}} v^2 + P_{\text{в}} \right) - \sqrt{2P_{\text{под}} \rho_{\text{р-ра}}} \cdot \frac{V}{t}, \quad (8)$$

где

$$F = \sqrt{2P_{\text{под}} \rho_{\text{р-ра}}} \cdot \frac{V}{t}. \quad (9)$$

В формулах (8), (9) $P_{\text{под}}$ – давление подачи раствора, Па; $\rho_{\text{р-ра}}$ – плотность раствора, кг/м³; V/t – объем поданного раствора за единицу времени, м³/с.

Результаты расчета реактивной составляющей тягового усилия при образовании экрана при вертикальных давлениях 0,4 и 0,8 кг/см² выполнены по формуле (9) и сведены в Табл. 5. При этом учтено, что по результатам экспериментов средний объем раствора, подаваемого в полость для создания экрана, составил 4800 см³. При постоянной скорости перемещения рабочего органа 0,33 см/с значение V/t будет составлять $16,38 \cdot 10^{-6}$ м³/с.

Анализ Табл. 5 показывает, что реактивная составляющая имеет достаточно малое значение, однако ее изменения имеют систематический характер и она увеличивается с увеличением давления подачи раствора и его плотности.

Сравнение усилия образования полости при прокладывании экрана $F_{\text{п}}$ с усилием перемещения рабочего органа без образования экрана $F_{\text{сух}}$ показывает, что эта разница также имеет систематический характер в сторону уменьшения значений фактических усилий, причем разница зависит от всех вышеперечисленных факторов – вертикального давления на рабочий орган, давления подачи и плотности раствора. По сравнению с реактивной составляющей имеет существенное значение и ее вклад в уменьшение тягового усилия при прокладке экрана (от 9,2 до 27 %).

Можно предположить, что уменьшение тягового усилия при устройстве ГПЭ происходит за счет возникновения вибрации рабочего органа при выходе раствора под давлением через форсунки и дополнительного увлажнения окружающего песка (от 9 до 14%).

Таблица 5. Результаты определения реактивной F_p и вибрационной $F_{\text{виб}}$ составляющих тягового усилия F

Table 5. The results of the determination of reactive F_p and vibration $F_{\text{виб}}$ components of traction F

Р _{верт} = 0,4 * 9,81 * 10 ⁴ Па									
Усилие, Н	ρ _{ра-ра} * 10 ³ кг/м ³								
	1,20			1,28			1,35		
	Р _{под} * 9,81 * 10 ⁴ Па								
	0,70	0,85	1,00	0,70	0,85	1,00	0,70	0,85	1,00
F _p	0,210	0,232	0,251	0,217	0,239	0,260	0,223	0,246	0,267
F _э	1299,26	1278,84	1244,38	1233,08	1193,88	1160,78	1202,73	1144,77	1099,07
F _п = F _э +F _p	1299,47	1279,07	1244,63	1233,30	1194,12	1161,04	1202,95	1145,02	1099,34
F _{сух}	1465,48	1465,48	1465,48	1465,48	1465,48	1465,48	1465,48	1465,48	1465,48
(F _p /F _{сух})* 100%	0,014	0,016	0,017	0,015	0,016	0,018	0,015	0,017	0,018
F _{виб} = F _{сух} -F _п	166,01	186,41	220,85	232,18	271,36	304,44	262,53	320,46	366,14
(F _{виб} /F _{сух})* *100%	11,33	12,72	15,07	15,84	18,52	20,77	17,91	21,87	24,98

Р _{верт} = 0,8 * 9,81 * 10 ⁴ Па									
Усилие, Н	ρ _{ра-ра} * 10 ³ кг/м ³								
	1,20			1,28			1,35		
	Р _{подачи} * 10 ⁵ Па								
	0,70	0,85	1,00	0,70	0,85	1,00	0,70	0,85	1,00
F _p	0,210	0,232	0,251	0,217	0,239	0,260	0,223	0,246	0,267
F _э	2085,29	1989,15	1866,59	1984,96	1869,44	1744,04	1900,62	1781,75	1676,81
F _п = F _э +F _p	2085,50	1989,38	1866,84	1985,18	1869,68	1744,30	1900,84	1782,00	1677,08
F _{сух}	2297,01	2297,01	2297,01	2297,01	2297,01	2297,01	2297,01	2297,01	2297,01
(F _p /F _{сух})* 100%	0,009	0,010	0,011	0,009	0,010	0,011	0,010	0,011	0,012
F _{виб} = F _{сух} -F _п	211,51	307,63	430,17	311,83	427,33	552,71	396,17	515,01	619,93
(F _{виб} /F _{сух})* *100%	9,21	13,39	18,73	13,58	18,60	24,06	17,25	22,42	26,99

Уменьшение сопротивления перемещению твердого тела за счет изменения свойств песчаной среды, вызванного вибрацией твердого тела и дополнительным увлажнением песка, подтверждается и другими исследователями [15].

Величина вибрационной составляющей тягового усилия $F_{\text{виб}}$ при создании экрана

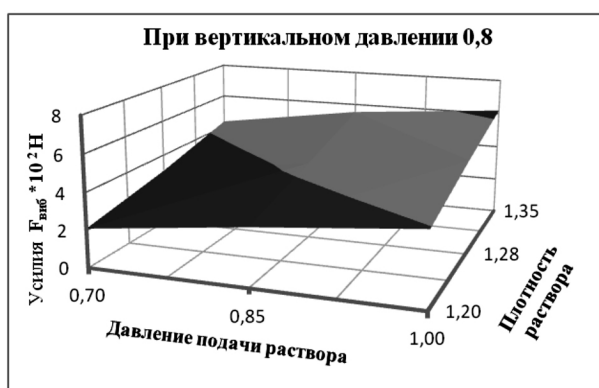
на стенде и ее соотношение с усилием перемещения рабочего органа без образования экрана $F_{\text{сух}}$ в зависимости от вышеперечисленных факторов приведена в Табл. 5.

Исходя из результатов экспериментов на крупномасштабном стенде, можно сделать вывод, что существенное уменьшение тяго-

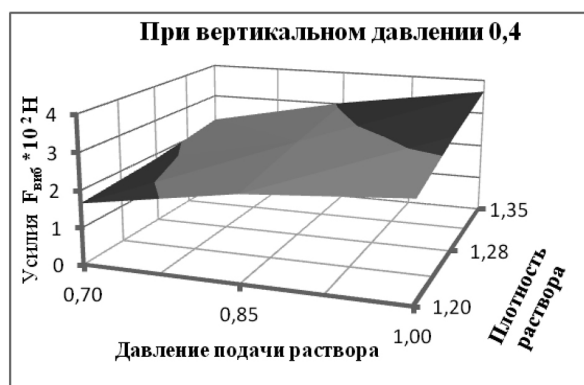
вого усилия при образовании экрана происходит за счет вибрации рабочего органа, возникающей при выходе раствора под давлением из форсунок, и за счет дополнительного увлажнения песка вокруг экрана. Снижение тягового усилия в среднем составляет 18 %.

Исходя из вышеприведенного, зависимость для расчета тягового усилия перемещения рабочего органа при создании полости для горизонтального экрана может быть представлена в виде балансного уравнения

$$F = S(B\rho_H v^2 + P_g) - F_{\text{виб}} - \sqrt{2P_{\text{под}}\rho_{p-pa}} \cdot \frac{V}{t}. \quad (10)$$



а



б

Рис. 4. Зависимости вибрационной составляющей тягового усилия от давления подачи раствора и его плотности при вертикальном давлении: а – 0,8 кг/см²; б – 0,4 кг/см²

Fig. 4. The dependence of the vibration component of the traction from the supply pressure of the solution and its density at vertical pressure: а – 0,8 kg/cm²; б – 0,4 kg/cm²

При этом оценочные уравнения определения $F_{\text{виб}}$ на основании данных Табл. 5, как функции двух переменных – давления подачи раствора и его плотности, будут иметь вид:

- для вертикального давления 0,8 кг/см²

$$F_{\text{виб}0,8} = 8,31P_{\text{под}} + 9,74\rho_{p-pa} - 15,4; \quad (11)$$

- для вертикального давления 0,4 кг/см²

$$F_{\text{виб}0,4} = 2,57P_{\text{под}} + 6,92\rho_{p-pa} - 8,47. \quad (12)$$

Погрешность определения $F_{\text{виб}}$ эмпирическим путем по сравнению с данными лабораторных исследований для вертикального давления 0,8 атм. находится в пределах –8,9...+9,9 % при среднем абсолютном значении погрешности 5,4 %, а для вертикального давления 0,4 атм. – в пределах –8,3...+8,9 % при среднем абсолютном значении погрешности 5,0 %, что для технологических экспериментов в грунтовой среде является допустимым.

Графики тяговых усилий приведены на Рис. 4.

ВЫВОДЫ

1. Экспериментальные исследования на крупномасштабном стенде позволили получить численные значения усилия перемещения рабочего органа под воздействием вертикального давления при образовании горизонтального экрана в песчаном грунте. При этом удельное сопротивление перемещению рабочего органа в бункере с песком в среднем составляет 0,54 МПа, а максимальное – 0,72 МПа.

2. Проведена оценка влияния технологических факторов – вертикального давления, давления подачи и плотности раствора – на тяговое усилие перемещения рабочего органа, необходимого для создания экрана.

3. Предложено балансное уравнение по определению тягового усилия перемещения рабочего органа при создании экрана, учитывающее вибрационную и реактивную составляющие.

4. Получены оценочные уравнения для определения величины вибрационной составляющей тягового усилия как функции двух переменных – давления подачи раствора и его плотности.

5. При конструировании рабочего органа для образования горизонтального экрана следует предусматривать возможность создания его искусственной вибрации, что позволит уменьшить требования к величине тягового усилия оборудования для перемещения рабочего органа.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Деклараційний** патент 35065 А України, **2001**. Спосіб улаштування екрану під спорудою. Опубл. 15.03.2001, Бюл. 2.
2. **Ветров Ю.А., 1981**. Машины для земляных работ. Киев, Вища школа, 346.
3. **Ветров Ю.А., 1965**. Сопротивление грунтов резанию. Киев, Изд-во КГУ, 167.
4. **Баладинский В.Л., 1994**. Определение параметров процесса скоростной обработки горных пород. Известия вузов. Строительство, Вып.2, 4-7.
5. **Баловнев В.И., Хмара Л.А., 1983**. Интенсификация земляных работ в дорожном строительстве. Москва, Транспорт, 184.
6. **Зеленин А.Н., 1968**. Основы разрушения грунтов механическими способами. Москва, Машиностроение, 376.
7. **Недорезов И.А., 1979**. Интенсификация рабочих органов землеройных машин. Москва, МАДИ, 51.
8. **Сукач М.К., Сукач А.М., 1999**. Алгоритм критериальной оценки сопротивления резанию грунтов. Известия вузов. Строительство, Вып.2-3, 61-63.
9. **Сукач М.К., Филонов Ю.П., Пузаков Д.В., 2006**. Характеристики процесса резания грунта в замкнутом пространстве. ГБДММ, Вып.67, 8-11.
10. **Сукач М.К., Филонов Ю.П., Литвиненко И.Н., 2005**. Модель косоугольного целевого резания грунта широким острым ножом. Техніка будівництва, Вип.18, 4-11.
11. **Вялов С.С., 1978**. Реологические основы механики грунтов: учеб. пособие. Москва, Высшая школа, 447.
12. **Завьялов А. М. и др., 2012**. Математическое моделирование рабочих процессов дорожных и строительных машин: имитационные и

адаптивные модели: монография. Омск, СибАДИ, 411.

13. **A. Galinskiy, 2014**. Research of technology of construction of horizontal impervious screen under the existing structures. Conference proceedings XV Danube - European Conference on Geotechnical Engineering (DECGE 2014) 9-11 September 2014, Vienna, Austria, Vol.2, 1213-1219.
14. **Галинский А.М., 2015**. Определение эмпирических зависимостей для уточнения математической модели процесса устройства горизонтального экрана под сооружением. Молодых ученых, Вип.8 (23), Ч.1, 17-23.
15. **Панкратова К.В., Ларионова А.М.** Влияние вибрационных нагрузок на физико-механические свойства и микробную составляющую дисперсных пород. Ресурс доступа http://www.rusnauka.com/15_NPN_2013/Geografia/6_138503.doc.htm.
16. **Евгений Горбатенко, Ирина Братасюк, Владимир Шаров, 2015**. Мобильные сооружения в береговой гидротехнике. Підводні технології, Вип.01, 23-32.
17. **Eduard Petrenko, Mahdi Gharakhanlou, 2015**. Analysis of slope at increase of the static load. Підводні технології, Вип.02, 40-45.

REFERENCES

1. **Deklaracijnyj** patent 35065 A Ukrainy, **2001**. Sposib ulashtuvannja ekranu pid sporudoju. Opubl. 15.03.2001, Bjul.2 (in Ukrainian).
2. **Vetrov Ju.A., 1981**. Mashyny dlja zemljanyh rabot. Kyev, Vyshha shkola, 346 (in Russian).
3. **Vetrov Ju.A., 1965**. Soprotyvlenye gruntov rezanyju. Kyev, Yzd-vo KGU, 167 (in Russian).
4. **Baladynskij V.L., 1994**. Opredelenye parametrov processa skorostnoj obrabotky gor-nyh porod. Yzvestyja vuzov. Stroytel'stvo, Vyp.2, 4-7 (in Russian).
5. **Balovnev V.Y., Hmara L.A., 1983**. Yntensyfykacyja zemljanyh rabot v dorozhnom stroytel'stve. Moskva, Transport, 184 (in Russian).
6. **Zelenyn A.N., 1968**. Osnovy razrushenija gruntov mehanycheskymy sposobamy. Moskva, Mashynostroenye, 376 (in Russian).
7. **Nedorezov Y.A., 1979**. Yntensyfykacyja rabochyh organov zemlerojnyh mashyn. Moskva, MADY, 51 (in Russian).
8. **Sukach M.K., Sukach A.M., 1999**. Algoritm kryteryal'noj ocenky soprotyvlenija rezanyju

- gruntov. Yzvestyja vuzov. Stroytel'stvo, Vyp. 2-3, 61-63 (in Russian).
9. **Sukach M.K., Fylonov Ju.P., Puzakov D.V., 2006.** Harakterystryky processa rezanyja grunta v zamknutom prostranstve. GBDMM, Vyp.67, 8-11 (in Russian).
 10. **Sukach M.K., Fylonov Ju.P., Lytvynenko Y.N., 2005.** Model' kosougol'nogo shhelevogo rezanyja grunta shyrokym ostrym nozhom. Tehnika budivnytva, Vyp.18, 4-11 (in Russian).
 11. **Vjalov S.S., 1978.** Reologicheskye osnovy mehanyky gruntov: ucheb. posobyje. Moskva, Vysshaja shkola, 447 (in Russian).
 12. **Zav'jalov A. M. y dr., 2012.** Matematycheskoe modelyrovanye rabochnykh processov dorozhnyh y stroytel'nyh mashyn: imitacionnye y adaptivnye modely: monografyja. Omsk, SybADY, 411 (in Russian).
 13. **A. Galinskiy, 2014.** Research of technology of construction of horizontal impervious screen under the existing structures. Conference proceedings XV Danube - European Conference on Geotechnical Engineering (DECGE 2014) 9-11 September 2014, Vienna, Austria, Vol.2, 1213-1219.
 14. **Galynskiy A.M., 2015.** Opredelenye empyricheskykh zavysymостей dlja utochnenija matematycheskoj modely processa ustrojstva gorizontalnogo ekrana pod sooruzhenyem. Molydyj vchenyj, Vyp.8 (23), Ch.1, 17-23 (in Russian).
 15. **Pankratova K.V., Laryonova A.M.** Vlyjanye vybracyonnykh nagruzok na fyzyko-mehanycheskye svojstva y mykrobnuju sostavljajushhuju dyspersnykh porod. Resurs dostupa http://www.rusnauka.com/15_NPN_2013/Geographia/6_138503.doc.htm (in Russian).
 16. **Evgenij Gorbatenko, Irina Bratasjuk, Vladimir Sharov, 2015.** Mobil'nye sooruzhenija v beregovoj gidrotehnikе. Pidvodni tehnologii, Vyp.01, 23-32 (in Russian).
 17. **Eduard Petrenko, Mahdi Gharakhanlou, 2015.** Analysis of slope at increase of the static load. Pidvodni tehnologi, Vyp.02, 40-45.

Research of technology of erection of horizontal screen on a large-scale stand

Olexandr Galinskiy

The state Research Institute of Building
Production
Chervonozoryany prosp., 51, Kiev,
Ukraine, 03110, agalin@ukr.net
orcid.org/0000-0000-0003-3648-4572

Summary. To protect the soil from pollution by technogenic drains we consider the task of horizontal impervious screen (HIS) construction under facility. Experimental studies on the traction of the working body movement in the sand while HIS constructions were conducted. The equation for traction force of working body movement in the sand while HIS construction was retrieved. The directions for construction of the working body were described. The influences of technological factors: vertical pressure, feed pressure and density of the solution onto the traction movement of the working body, needed for the screen construction, were determined.

Key words: technology, experiment, horizontal screen, traction force.

Підводна роботизована технологія установки корисного вантажу на морське дно

Володимир Блінцов¹, Андрій Войтасик²

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
просп. Героїв Сталінграду, 9, Миколаїв, Україна, 54025

¹volodymyr.blintsov@nuos.edu.ua, orcid.org/0000-0002-3912-2174

²andrii.voitasyk@nuos.edu.ua, orcid.org/0000-0002-9409-6108

Анотація. Запропоновано технологію автоматизованої установки корисного вантажу на морське дно шляхом застосування незаселених підводних апаратів-роботів. Розглянуто можливі технічні рішення, на підставі яких проведено оцінку переваг і недоліків різних варіантів реалізації підводної роботизованої технології. Виконано аналіз особливостей та доцільності повної або часткової автоматизації.

Ключові слова: судно-носій, підводний апарат-робот, гідроакустична станція, радіобуй, корисний вантаж, підводна роботизована технологія.

гам до підводної технології (наприклад, коли кут нахилу встановленого на дно обладнання перевищує допустимий). Крім того, часто такі задачі передбачають повернення вантажу на судно після його тривалої експлуатації на дні, що обумовлює необхідність його пошуку та захоплення спеціальними маніпуляторами для виконання підйому та повернення на судно-носій [16].

Таким чином, актуальним є наукове завдання автоматизації всього комплексу підводних робіт з вантажем – від контрольованої установки на дно до підйому на поверхню.

ВСТУП

В процесі моніторингу підводної обстановки на захищених акваторіях існує прикладна науково-технічна проблема – виявлення рухомих надводних та підводних цілей за допомогою мережі стаціонарних радіо- та гідроакустичних буїв. Установка таких буїв на морське дно є однією з розповсюджених морських операцій [1]. Такі роботи, зазвичай, виконуються за допомогою підводних апаратів-роботів (ПАР) і у більшості випадків труднощів не викликають [3].

Однак, останнім часом з'явилися задачі, які вимагають виконувати контроль якості установки вантажу на морське дно та виконувати повторну його установку у випадках, коли якість установки не відповідає вимо-

МЕТА ТА МЕТОДИ

Метою статті є опис можливих варіантів удосконалення підводної роботизованої технології експлуатації донної автономної радіогідроакустичної станції шляхом автоматизації її установки, після експлуатаційного пошуку та підйому на судно.

На сьогоднішній день розробкою та виготовленням радіо- та гідроакустичних буїв займаються не лише всесвітньо відомі зарубіжні компанії, але і українські організації [14]. Проте вони виготовляються не досконалими як мінімум в двох напрямках.

По-перше, такі прилади ніяким чином не оптимізовані за конструкцією і технологією їх розгортання на морському дні та технологію їх згортання після відпрацювання власних ресурсів (необхідність ремонту чи

заміни обладнання, планове технічне обслуговування, заряд акумуляторів та інше). Тобто на сьогоднішній день це модульна конструкція: перший модуль – це антенний модуль, другий приладово-енергетичний. Для забезпечення якісної роботи чутливого елемента дані модулі розташовуються на певній відстані один від одного. Хоча конструкція має конструктивні складнощі роботи макети таких систем вже працюють [2].

По-друге, такі прилади дуже вразливі с позиції виконання тральних робіт, зокрема при застосуванні риболовецьких тралів [11]. Радіобуй зв'язку (РБЗ) можна розташовувати на глибинах морського дна в 150...200 м. Для спрощення процесу роботи за допомогою підводної лебідки РБЗ розташовують під поверхнею моря, на глибинах порядку

20 м. Коли потрібно виконати передавання радіосигналу, лебідкою видають необхідну довжину троса. РБЗ, діставшись поверхні моря, передає сигнал, а потім за допомогою підводної лебідки його знову повертають до попередньої глибини. Таким чином РБЗ знаходиться під дією підводної морської течії [6, 17, 18]. Також завжди існує вірогідність того, що промислові риболовні судна можуть його випадково зачепити. Часто таким технічним засобом укомплектовують автономні радіогідроакустичні станції (АРГАС) [5].

РЕЗУЛЬТАТИ

Систему гідроакустичного моніторингу підводної обстановки в залежності від застосованих засобів, можна умовно поділити на три підсистеми: для ближньої зони (до 500м), середньої зони (до 15 км) та дальньої зони (понад 15 км) [15]. Огляд ближньої зони призначено для виявлення підводних плавців та засобів їх переміщення, огляд дальньої зони – для виявлення підводних човнів.



Модуль-1 на борту СН



Модуль-2 на борту СН



Спускання Модуля-1 з борта СН

Рис. 1. Автономна якірна станція Олімп-2
Fig. 1. Autonomous anchor station Olympus-2

На Рис. 1 представлено зовнішній вигляд та процес спуску з борту СН якірної АРГАС.

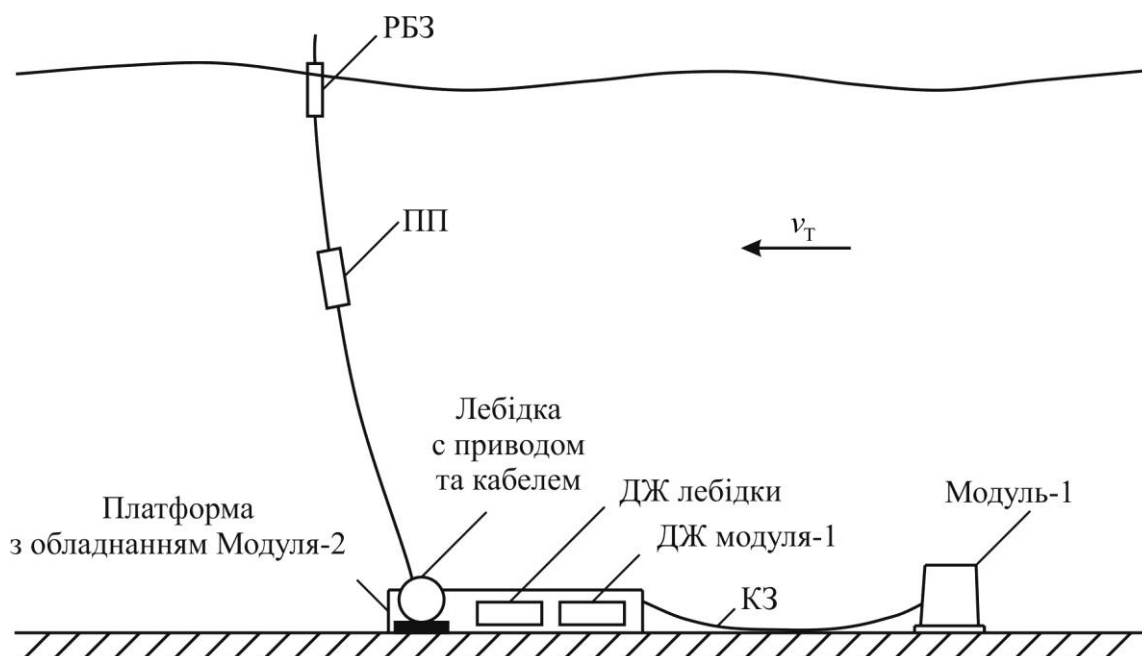
Автономна радіогідроакустична станція – це сукупність схематично і конструктивно поєднаних акустичних, електричних і електронних пристроїв та приладів за допомогою яких здійснюється прийом або випромінювання, чи прийом та випромінювання акустичних коливань у воді. Отримані гідроакустичні коливання станція передає у вигляді перетворених сигналів. Призначення таких станцій це виявлення, слідування та визначення місця знаходження надводних суден, підводних човнів та плавців.

При виявленні будь-якої цілі, в залежності від налаштувань, РБЗ закріплений тросом до підводної лебідки піднімають на поверхню моря та виконують передачу на базу, супутник чи радіоканал – сигналу, на попередньо налаштованій частоті, яку приймає берегова станція [13]. Після чого лебідка змотує трос опускаючи РБЗ до зазначеної глибини та робота продовжується.

На сьогоднішній день технологія розгортання та згортання АРГАС реалізована за допомогою спуско-підйомного пристрою (СПП), яким має бути обладнаний надводний судно-носіє (СН). У випадках коли на транспортному засобі, що виконує постановку обладнання як повітряному так і надводному, відсутній СПП – АРГАС просто скидають у воду. В результаті антенний модуль може невдало розташуватися на морському дні, що може спричинити неспроможність до безпечної та правильної експлуатації обладнання, тому необхідно цей процес виконувати обережно. При такій технології розгортання станції відсутній контроль за правильністю установки обладнання, адже відсутній візуальний контакт з підводним середовищем.

Схему установленної на морському дні АРГАС в розгорнутому стані представлено на Рис. 2.

Запропоновано автоматизувати технологію установки вантажу на морське дно шляхом застосування ненаселених підводних апаратів-роботів [7, 9, 10]. Для успішного розв'язання такого завдання спочатку



РБЗ – радіобуй зв'язку; ПП – блок проміжної плавучості;
ДЖ – джерело живлення; КЗ – кабель зв'язку

Рис. 2. Установлена на морському дні АРГАС в розгорнутому стані
Fig. 2. Expanded state of ARHAS installed onto sea bottom

визначаються з типом ПАР та технологією його застосування [4], для чого необхідно відповісти на наступні запитання:

- чи потрібно застосовувати автономний ненаселений підводний апарат-робот (АН-ПАР [8]) або прив'язний ненаселений підводний апарат-робот (ПНПАР) для операцій з вантажем?

- чи передбачається повернення ПНПАР на судно-носії після вдалої установки вантажу на дно, або АНПАР залишається на дні моря разом з вантажем до завершення роботи вантажу?

Розглянемо можливі технічні рішення, на підставі яких оцінимо переваги і недоліки кожного з варіантів реалізації підводної технології, після чого оцінимо можливість і доцільність її повної або часткової автоматизації. Очевидно, що поле можливих технічних рішень охоплює чотири основні варіанти застосування ПАР, зображені на Рис. 3.

Режим роботи \ Тип ПАР	ПНПАР	АНПАР
Повертається на судно	1	1
Залишається на дні	1	1

Рис. 3. Варіанти застосування ПАР у задачах установки вантажу на морське дно

Fig. 3. Variants of use of an underwater vehicle in tasks of the installation of cargo on sea bottom

Попередній аналіз показує, що застосування прив'язного ПАР у варіанті повертання на судно забезпечення дає наступні переваги:

- можливість у реальному часі перевірити якість установки вантажу на морське дно і, за необхідністю, виконати його перестан-

новку, забезпечивши тим самим його проектне функціонування;

- можливість ручного режиму допошуку, ідентифікації та захоплення вантажу перед його підйомом на судно забезпечення, що підвищує надійність морської операції.

До недоліків цього технічного рішення слід віднести необхідність позиціонування чи навіть постановку на якір судна забезпечення під час виконання морської операції, що вимагає застосування спеціальних суден або збільшує витрати часу на проведення морської операції. Крім того, автоматизація всього процесу установки і повернення вантажу можлива в обмеженому обсязі, що ускладнює процес її виконання.

Удосконалення підводної роботизованої технології експлуатації донної АРГАС шляхом автоматизації її установки, після експлуатаційного пошуку та підйому на судно запропоновано реалізовувати застосуванням спеціалізованого вантажного самохідного підводного носія (ВСПН).

ВСПН повинен реалізувати дві спеціалізовані підводні технології [7]:

1) установку АРГАС у робоче положення шляхом розгортання обладнання на морському дні та перестановка за необхідності;

2) згортання АРГАС шляхом установки на ВСПН і повернення до СН.

Зовнішній вигляд запропонованого ВСПН наведено на Рис. 4. Основні технічні параметри ВСПН представлено у вигляді Табл. 1.

Алгоритм проведення підводної роботи-роботизованої технології установки корисного вантажу на морське дно наведено у вигляді блок-схеми (Рис. 5) [7].

Початок реалізації установки вантажу на морське дно починається з захвату ПАР корисного вантажу. У разі коли процес захвату вантажу виконує не ПАР, а палубна команда – енергоживлення на ПАР не подають. В іншому випадку необхідно подати енергоживлення на ПАР та виконати захват корисного вантажу за допомогою спеціалізованих захватних пристроїв.

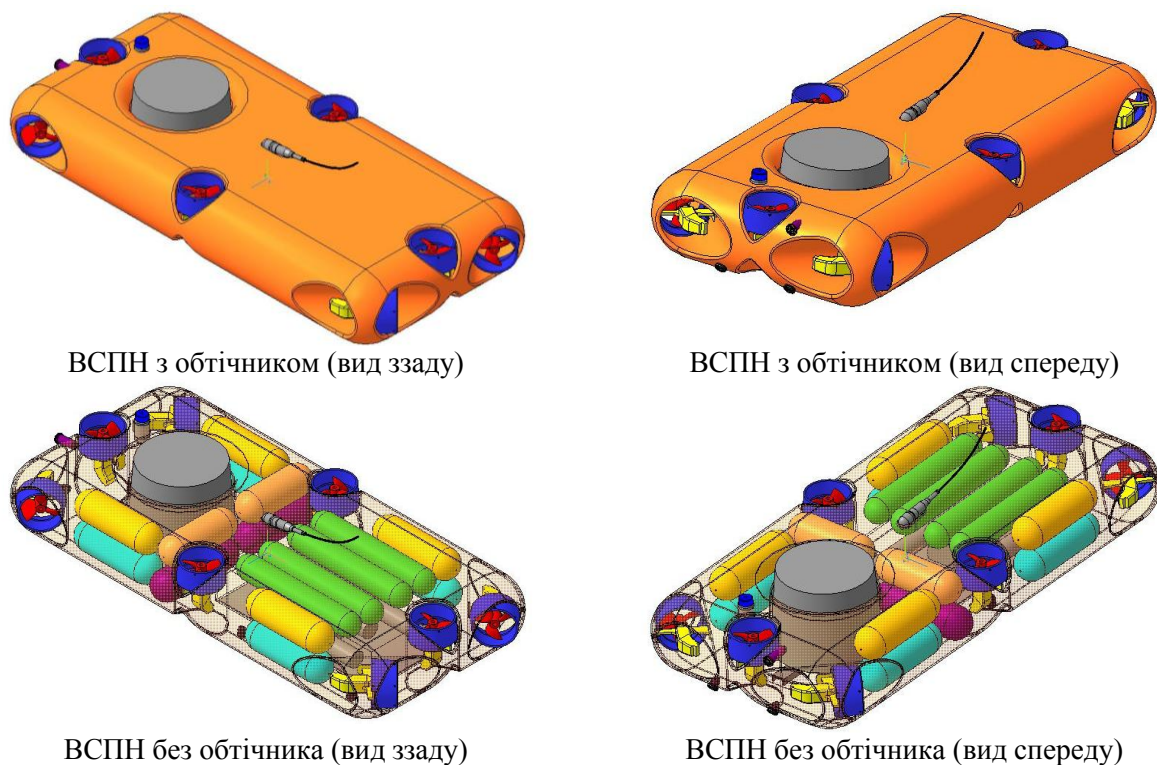


Рис. 4. Вантажний самохідний підводний носій
Fig. 4. The underwater self-propelled cargo carrier

Після того як корисний вантаж надійно закріплено на борту ПАР, можна виконувати його спускання з борту СН на воду. Спуско-підйомні операції для даного типу ПАР необхідно виконувати лише з використан-

ням повністю автоматичного, або частково втоматизованого спуско-підйомного пристрою (СПП).

Таблиця 1. Технічні параметри вантажного самохідного підводного носія
Table 1. The technical parameters of an underwater self-propelled cargo carrier

Найменування параметра	Значення
1. Швидкість руху ВСПН при швидкості підводної течії до 2 м/с:	
- горизонтальна, м/с	0,3
- вертикальна	
а) при спуску на глибину, м/с	0,5
б) при установці АРГАС, м/с	0,3
2. Габаритні розміри ВСПН	
- довжина, мм	3840
- ширина, мм	1850
- висота, мм	700
3. Маса ВСПН, кг	1750
4. Маса корисного вантажу, кг	81,5
5. Електроживлення	від АКБ
6. Мінімальна автономність, год	2
7. Робоча глибина занурення, м	200
8. Гранична глибина занурення, м	250
9. Довжина КТ, м	600
10. Діаметр КТ, мм	6,6

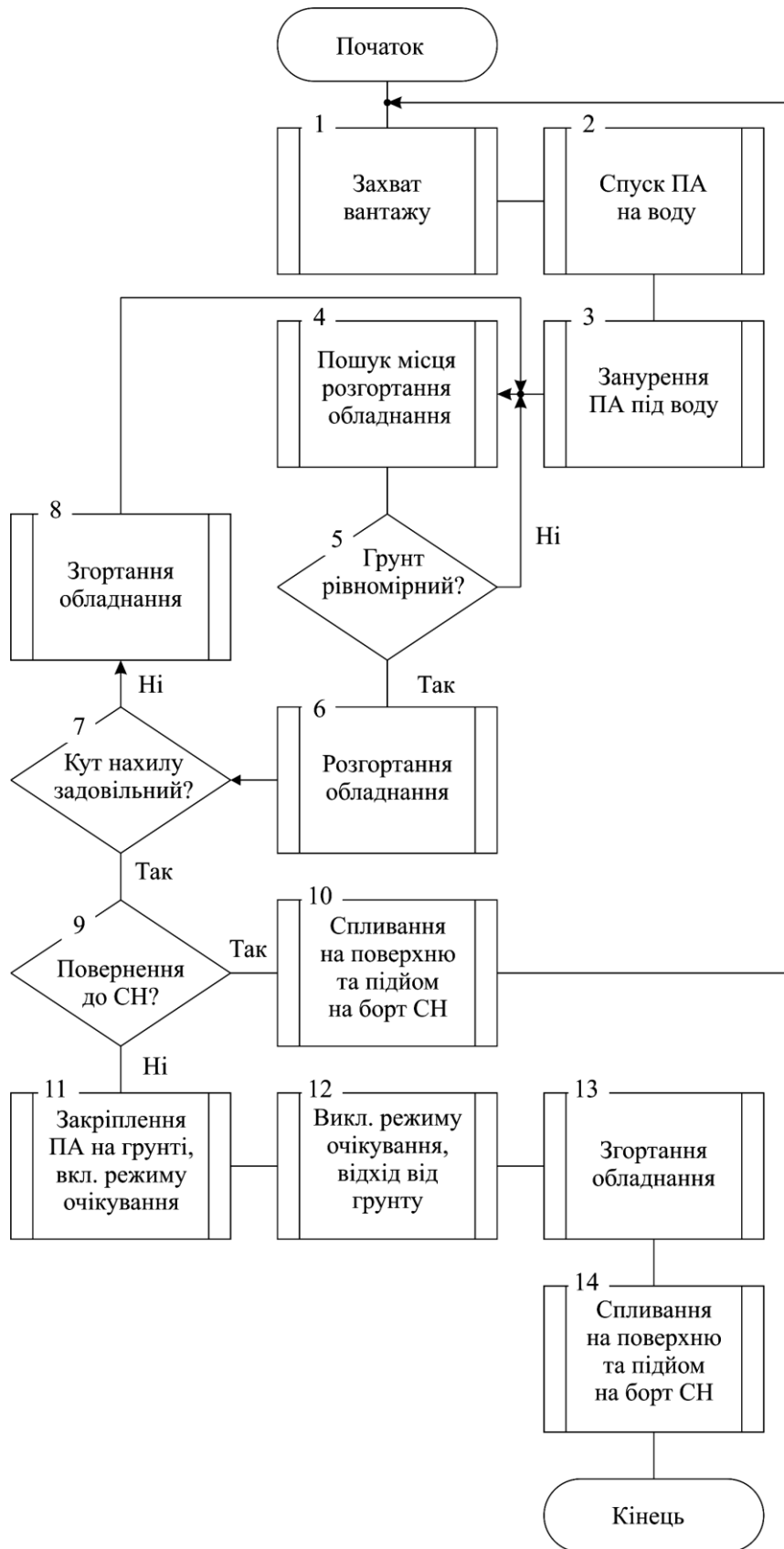


Рис. 5. Блок-схема алгоритму проведення підводної роботизованої технології установки корисного вантажу на морське дно

Fig. 5. The block diagram of the algorithm of underwater robotized technology for the installation of a useful cargo onto sea bottom

У випадку коли на ПАР в процесі захвату вантажу енергоживлення не подають відстропувати ПАР можна лише коли на нього буде подане енергоживлення. Цей варіант має певний недолік, так як повна перевірка працездатності механізмів виконується лише після спуску ПАР на воду. У першому варіанті перевірка працездатності ПАР відбувається на борту СН.

Наступним етапом роботизованої технології є занурення ПАР під воду. Процес занурення може виконуватися увесь час вертикально до самого ґрунту, після чого відбудеться пошук місця розгортання вантажу. Таку технологію занурення слід застосовувати коли СН знаходиться поблизу заданих координат місця установки вантажу. В іншому випадку для економії часу проведення підводно-технічних робіт ПАР має застосовувати вертикальний привід разом з маршовим. Це надасть можливість найшвидше дістатися заданих координат.

Процес пошуку місця розгортання корисного вантажу відбувається за критерієм рівномірності ґрунту. Ґрунт будемо вважати рівномірним якщо його нерівномірність знаходиться в межах $15...20^\circ$. Коли дана умова буде виконана знайдене місце підходить для розгортання вантажу, якщо ні процес пошуку місця розгортання вантажу відбувається циклічно.

Розгортання вантажу може бути реалізовано спеціальними маніпуляторами, або за допомогою від'єднання захватного механізму. Цей процес залежить від способу захвату вантажу та електрообладнання самого ПАР.

Після розгортання корисного вантажу на морському дні необхідно впевнитись в правильності його установки. Дана перевірка відбувається згідно з допустимим кутом нахилу корисного вантажу. Цей параметр узгоджується згідно з технічною документацією на вантаж. Коли дана умова буде виконана розгортання вантажу вважатимемо правильним та розпочнемо наступний етап роботи ПАР, якщо ні – вантаж необхідно згорнути та повторно розпочати процес пошуку місця розгортання вантажу.

Для початку наступного етапу роботи слід чітко визначити, які дії має виконувати

ПАР та якого типу він має бути. У першому варіанті до виконання даних робіт можна залучити ПНПАР. Проте у випадку, коли він залишається на морському дні на весь час функціонування вантажу, до недоліків цієї технології можна віднести необхідність конструювання ПНПАР як такого, обладнання, яке не обслуговується, а також передбачити можливості відключення його від судно-носія на період автономного перебування на дні та повторного підключення до судно-носія перед підйомом вантажу. Це значно ускладнює конструкцію ПНПАР, тому більш ефективно буде повертати його до СН. Для цього необхідно виконати спливання ПНПАР на поверхню води та підняти його на борт СН. Таким чином, за необхідності, процес установки корисного вантажу на морське дно можна розпочати знову.

Другий варіант технології установки вантажу передбачає використання АНПАР і характеризується високим рівнем автоматизації, оскільки вимагає повної автоматизації режимів установки та повторного пошуку, захоплення і підйому вантажу. У випадку коли АНПАР після перевірки правильності установки вантажу не повертається до СН він має закріпитися на ґрунті та перейти в режим очікування [12]. Під режимом очікування будемо розуміти відключення всіх максимально можливих споживачів електроенергії для економії заряду акумуляторних батарей (АКБ).

За командою, або програмою АНПАР має вийти з режиму очікування та виконати відхід від ґрунту на програмно зазначену відстань. Після цього згорнути обладнання та виконати спливання на поверхню води [4]. Це необхідно для того, щоб можна було підняти його на борт СН. На борту АНПАР отримує необхідне обслуговування (перевірку показників працездатності, аналіз технічного стану, заряд АКБ і т.п.). Таким чином, за необхідності, процес установки корисного вантажу на морське дно можна розпочати знову.

ВИСНОВКИ

В статті описано варіанти удосконалення підводної роботизованої технології експлуатації донної автономної радіогідроакустичної станції шляхом автоматизації її установки, після експлуатаційного пошуку та підйому на судно. З даною метою розроблено методику реалізації підводної роботизованої технології при застосуванні вантажного самохідного підводного носія.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Агеев М. Д., 2003.** Автономные подводные роботы: системы и технологии. Москва, Наука, 398.
2. **Белоус В.В., Гурин А.С., Ковальчук К.В., Лейко А.Г., Меленко Ю.А., 2013.** Векторно-фазовые методы и их реализация в подводных акустических технологиях. Підводна техніка і технологія: Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. Миколаїв, 48-53.
3. **Блинцов В.С., 1998.** Привязные подводные системы. Київ, Наукова думка, 230.
4. **Блинцов В.С., Бабкин Г.В., Блинцов А.В., Войтасик А.Н., Клименко П.Г., 2014.** Электрооборудование грузового самодвижущегося телеуправляемого подводного носителя. Проблеми автоматизації та електрообладнання транспортних засобів науково-технічна конференція з міжнародною участю. Миколаїв, НУК, 53-55.
5. **Блинцов В.С., Войтасик А.Н., 2015.** Подводная роботизированная технология установки полезного груза на морское дно. Технические проблемы освоения Мирового океана: Материалы шестой Всероссийской научно-технической конференции. Владивосток, ИПМТ ДВО РАН, 154-158.
6. **Блинцов В.С. 2014.** Теоретичні основи автоматичного керування автономними підводними апаратами. Миколаїв, Видавництво НУК, 242.
7. **Блинцов, В.С., Войтасик А.М., Сірівчук А.С., Сухонос В.П., 2015.** Підводна роботизована технологія доставки, пошуку та виявлення корисного вантажу. Підводна техніка і технологія: Матеріали V всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. В 2 ч., Ч.1. Миколаїв, НУК, 134-137.
8. **Войтасик, А.М., 2013.** Блок энергоживления для автономных малогабаритных морских рухомих об'єктів. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції. Миколаїв, НУК, 432-434.
9. **Войтасик, А.М., 2013.** Спеціалізований вантажний саморушний телекерований підводний носій як інструмент моніторингу підводної обстановки України. Автоматика та електротехніка: Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції студентів та молодих учених з міжнародною участю. Миколаїв, НУК, 141-143.
10. **Войтасик, А.М., 2015.** Автоматизація процесу установки вантажу на морське дно. Сучасні проблеми автоматизації та електротехніки. Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. Миколаїв, НУК, 46-47.
11. **Войтасик, А.М., 2015.** Технічні проблеми безпечного застосування автономної радіогідроакустичної станції. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали VI міжнародної науково-технічної конференції, присвяченої 95-річчю Національного університету імені адмірала Макарова. Миколаїв, НУК, 328-329.
12. **Войтасик, А.М., Дідняк О.О., 2015.** Розробка системи автономного энергоживлення вантажного самохідного підводного носія. Підводна техніка і технологія: Матеріали V всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. В 2 ч., Ч.1. Миколаїв, НУК, 90-92.
13. **Войтасик, А.М., Ларінков О.А., 2015.** Розробка системи энергозабезпечення лебідки для радіогідроакустичного буя. Підводна техніка і технологія: Матеріали V всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. В 2 ч., Ч.1. Миколаїв, НУК, 92-94.
14. **Меленко Ю.Я., 2015.** Основные направления разработок гидроакустической аппаратуры института Киевского научно-исследовательского института гидроприборов. ГП КНИИ Гидроприборов. Киев. Режим доступу: <http://hydrodevices.kiev.ua/ru/>.
15. **Шамарин Ю.Е., Ежель М.Б., 2008.** Гидроакустические средства освещения подводной обстановки в ближней зоне. Гидроакустичний журнал, Вып.5. Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану. Київ, 14-17.

16. **Шостак В.П., 2011.** Подводные аппараты-роботы и их манипуляторы. Чикаго, Мегатрон, 134.
17. **Безверхий О., 2015.** Динаміка підводних розгалужених тросових систем. Підводні технології, Вип.01, 50-58.
18. **Безверхий О., Корнієнко В., 2015.** Дослідження впливу нелінійно-пружних характеристик матеріалу на динаміку підводних тросових систем. Підводні технології, Вип.02, 59-65.

REFERENCES

1. **Ageev M.D., 2003.** Avtonomnye podvodnye roboty: sistemy i tehnologii. Moskva, Nauka, 398 (in Russian).
2. **Belous V.V., Gurin A.S., Koval'chuk K.V., Lejko A.G., Melenko Ju.A., 2013.** Vektornofazovye metody i ih realizacija v podvodnyh akusticheskikh tehnologijah. Pidvodna tehnika i tehnologija: Materiali vseukrains'koi naukovotehnichnoi konferencii z mizhna-rodnoju uchastju. Mikolaiv, 48-53 (in Russian).
3. **Blintsov V.S., 1998.** Privjaznye podvodnye sistemy. Kyiv, Naukova dumka, 230 (in Russian).
4. **Blintsov V.S., Babkin G.V., Blintsov A.V., Voityasyk A.N., Klimentenko P.G., 2014.** Jelektrooborudovanie gruzovogo samodvizhushhegosja teleupravljaemogo podvodnogo nositelja. Problemi avtomatiki ta elektroobladnannja transportnih zasobiv. Naukovo-tehnichna konferencija z mizhnarodnoju uchastju. Mikolaiv, NUK, 53-55 (in Russian).
5. **Blintsov V.S., Voityasyk A.N., 2015.** Podvodnaja robotizirovannaja tehnologija ustanovki poleznogo gruzha na morskoe dno. Tehnicheskie problemy osvoenija Mirovogo okeana: Materialy shestoj Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoi konferencii, Vladivostok, IPMT DVO RAN, 154-158 (in Russian).
6. **Blincov V.S., 2014.** Teoretichni osnovi avtomatichnogo keruvannja avtonomnimi pidvodnimi aparatami. Mikolaiv, NUK, 242 (in Ukrainian).
7. **Blincov V.S., Voityasyk A.M., Sirivchuk A.S., Suhonosov V.P., 2015.** Pidvodna robotizovana tehnologija dostavki, poshuku ta vijavlennja korisnogo vantazhu. Pidvodna tehnika i tehnologija. Materialy V vseukrains'koi naukovotehnichnoi konferencii z mizhnarodnoju uchastju. V 2 ch., Ch.1. Mikolaiv, NUK, 134-137 (in Ukrainian).
8. **Voityasyk A.M., 2013.** Blok energozhivlennja dlja avtonomnih malogabaritnih mors'kih ruhomih ob'ektiv. Innovacii v sudnobuduvanni ta okeanotehnici. Materialy IV mizhnarodnoi naukovotehnichnoi konferencii, Mikolaiv: NUK., 432-434 (in Ukrainian).
9. **Voityasyk A.M., 2013.** Specializovaniy vantazhnyj samorusnyj telekerovaniy pidvodnij nosij jak instrument monitoringu pidvodnoi obstanovki Ukraïni. Avtomatika ta elektrotehnika. Materialy vseukrains'koi naukovotehnichnoi konferencii studentiv ta molodih uchenih z mizhnarodnoju uchastju. Mikolaiv, NUK, 141-143 (in Ukrainian).
10. **Voityasyk A.M., 2015.** Avtomatizacija procesu ustanovki vantazhu na mors'ke dno. Suchasni problemy avtomatiki ta elektrotehniki: Materialy vseukrains'koi naukovotehnichnoi konferencii z mizhnarodnoju uchastju. Mikolaiv, NUK, 46-47 (in Ukrainian).
11. **Voityasyk A.M., 2015.** Tehnichni problemy bezpechnogo zastosuvannja avtonomnoiradiogidroakustichnoi stancii. Innovacii v sudnobuduvanni ta okeanotehnici. Materialy VI mizhnarodnoi naukovotehnichnoi konferencii, prisivjachenoi 95-richchju Nacional'nogo universitetu imeni admirala. Makarova, Mikolaiv, 328-329 (in Ukrainian).
12. **Voityasyk A.M., Didnjak O.O., 2015.** Rozrobka sistemi avtonomnogo energozhivlennja vantazhnogo samohidnogo pidvodnogo nosija. Pidvodna tehnika i tehnologija. Materialy V vseukrains'koi naukovotehnichnoi konferencii z mizhnarodnoju uchastju. V 2 ch., Ch.1. Mikolaiv, NUK, 90-92 (in Ukrainian).
13. **Voityasyk A.M., Larinkov O.A., 2015.** Rozrobka sistemi energozabezpechennja lebidki dlja radiogidro-akustichnogo buja. Pidvodna tehnika i tehnologija. Materialy V vseukrains'koi naukovotehnichnoi konferencii z mizhna-rodnoju uchastju. V 2 ch., Ch.1. Mikolaiv, NUK, 92-94 (in Ukrainian).
14. **Melenko Ju.Ja., 2015.** Osnovnye napravlenija razrabotok gidroakusticheskoi apparatury instituta Kievskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidropriborov. GP KNII Hidropriborov. Kiev. Available at: <http://hydrodevices.kiev.ua/ru/> (in Ukrainian).
15. **Shamarin Ju.E., Ezhel M.B., 2008.** Gidroakusticheskie sredstva osveshhenija podvodnoj obstanovki v blizhnej zone. Gidroakustichnij zhurnal №5. Problemi, metodi

ta zasobi doslidzhen' Svitovogo okeanu. Kiiv, 14-17 (in Ukrainian).

16. **Shostak V.P., 2011.** Podvodnye apparaty-roboty i ih manipulyatory. Chikago, Megatron, 134 (in Russian).
17. **Bezverhyj O., 2015.** Dynamika pidvodnyh rozgaluzhenyh trosovyh system. Pidvodni tehnologii', Vyp.01, 50-58 (in Ukrainian).
18. **Bezverkhyi O., Korniienko V., 2015.** Investigation of the influence of nonlinear elastic characteristics of the material on the dynamics of submarine cable systems. Pidvodni tehnologii', Vyp.02, 59-65 (in Ukrainian).

The robotized underwater technology for the installation of a useful cargo onto sea bottom

Volodymyr Blintsov¹, Andrii Voitasyk²

Admiral Makarov National University
of Shipbuilding,
Geroiv Stalingradu prosp., 9, Mykolaiv,
Ukraine, 54025,

¹evolodymyr.blintsov@nuos.edu.ua
orcid.org/0000-0002-3912-2174

²andrii.voitasyk@nuos.edu.ua
orcid.org/0000-0002-9409-6108

Summary. The monitoring of underwater situation is an effective method to protect a country from unauthorized crossing of its marine borders. There are many ways to implement technologies for the protection of marine borders with the use of hydroacoustic devices. However to provide correct functioning of hydroacoustic devices safe and correct installation of a useful cargo onto sea bottom is necessary. Peculiarities of the use of modern technologies for the installation of a useful cargo were analyzed. Advantages and disadvantages of these technologies were highlighted. To improve the efficiency of the process of installation the use of unmanned underwater vehicles was proposed.

Key words: vessel carrier, underwater vehicle, hydroacoustic station, beacon, useful cargo, underwater robotized technology.

Расширение возможностей сетчатых промышленных водяных фильтров

Виктор Кухарь¹, Виталий Кузьминский², Ольга Овчинникова³

¹ ГВУЗ Национальный горный университет
просп. Карла Маркса, 19, Днепропетровск, Украина, 49005
vkuhar@narod.ru, orcid.org/0000-0002-1849-4489

^{2,3} ООО Океанмашэнерго, ул. Комбрига Петрова, 5,
Днепропетровск, Украина, 49041, oceanmas@infotd.dp.ua
² orcid.org/0000-0003-2480-5615, ³ orcid.org/0000-0003-3805-1703

Аннотация. Показано, что наиболее распространённые сетчатые фильтры для технической воды в части площади сетки фильтроэлемента достигли своего предела. Представлено решение этой проблемы в фильтрах нового типа ООО «Океанмашэнерго». Разработан и освоен в производстве типоразмерный ряд фильтров, проведены исследования с разработкой методики расчета новых фильтров.

Ключевые слова: сетчатый фильтр, тонкая фильтрация, площадь сетчатого фильтроэлемента.

ВВЕДЕНИЕ

Очистка технической воды от механических загрязнений с помощью фильтров является основным способом первого (иногда единственного) этапа водоподготовки на промышленных системах водоснабжения. Цель очистки – предотвратить забивание и засорение аппаратов – конечных потребителей воды и поддержание штатных режимов их эксплуатации. Такими аппаратами – потребителями воды являются кожухотрубчатые и пластинчатые теплообменники, брызгала охлаждения, форсунки градирен и т.п. элементы.

Наиболее простыми по конструкции, надёжными, низкими по стоимости и в связи с этим наиболее часто применяемыми в промышленности являются сетчатые фильтры, фильтровальные элементы которых построены на основе плетеных проводочных сеток (Рис. 1, а), перфорированных листов с отверстиями различной формы (Рис. 1, б, в).

Фильтры с такими фильтроэлементами (ФЭ) подобны по конструкции, принципам работы и эксплуатационным параметрам, имеют сходные характеристики, достоинства и недостатки.

Объемы подлежащей фильтрации воды на большинстве предприятий тяжелой, химической и энергетической промышленности исчисляются тысячами кубических метров в час при рабочих давлениях в пределах 0,1...1,6 МПа. Характерными механическими загрязнениями технической воды являются предметы органического (водоросли, листья, трава, моллюски) и неорганического (песок, ржавчина, частицы карбонатных отложений, окалина, фрагменты обшивки градирен, детали спецодежды, металлические фрагменты, дерево) происхождений, их размеры колеблются от 0,01 до 10 мм и более.

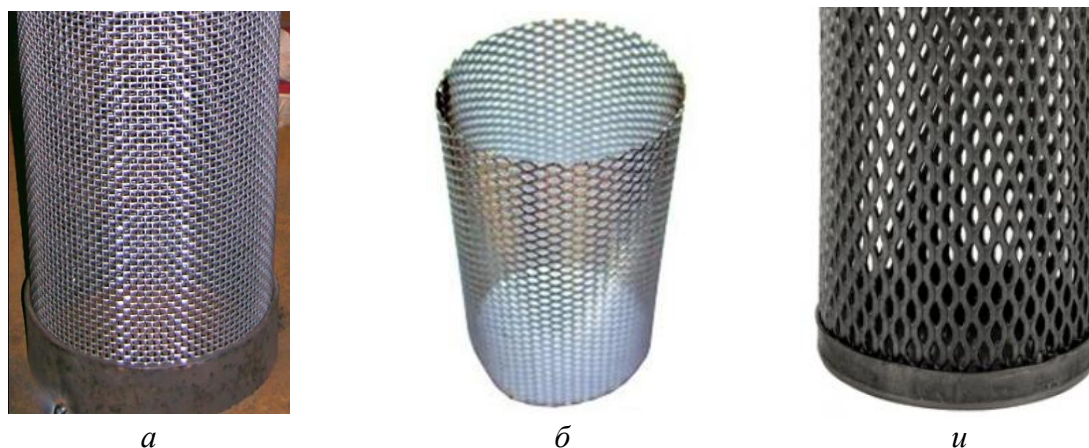


Рис. 1. Основные типы материалов для фильтроэлементов: *a* – плетеная из проволок сетка; *б* – просечной лист; *в* – просечно-вытяжной лист

Fig. 1. Basic types of materials for filter elements: *a* – woven wire mesh; *б* – grooved sheet; *в* – grooved expanded sheet

Широкое применение на отечественных предприятиях в технологических циклах водоснабжения высокоэффективного современного, зачастую импортного и дорогостоящего, оборудования требует всё большего количества воды с тонкой очисткой от механических загрязнений.

Сетчатые фильтры, наиболее простые с относительно невысокой стоимостью во многих случаях по грязеемкости сетчатого фильтроэлемента не справляются с возросшими требованиями.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью настоящей работы является научно-техническое обоснование необходимости создания нового типа сетчатых фильтров технической воды с увеличенной площадью сетчатого фильтроэлемента и разработка научно-обоснованной методики расчета его основных параметров.

О ЗАВИСИМОСТИ ПЛОЩАДИ СЕТЧАТОГО ФИЛЬТРУЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА ОТ НОМИНАЛЬНОЙ ТОНКОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ

Известно, что чем меньше номинальная тонкость фильтрации, тем больше площадь

сетчатого фильтрующего элемента требуется в фильтре, чтобы обеспечить его требуемую грязеемкость и обеспечить приемлемые интервалы промывки фильтра.

Рассмотрим две фильтрующие сетки равной площади $S_1 = S_2 = S$ с разными размерами квадратных ячеек: мелкой сетки a_1 и крупной сетки a_2 , причем для наглядности $a_2 = 2a_1$. Через каждую их сеток проходят потоки воды с одинаковым расходом $Q_1 = Q_2 = Q$ (и, как следствие, с одинаковыми скоростями протекания воды через сетки $v_1 = v_2 = v$, давлением $p_1 = p_2 = p$ и с одинаковым гранулометрическим составом и объемной концентрацией загрязнений C). Кумулятивная зависимость объемной концентрации загрязнений от размера частиц в диапазоне от a_{\min} до a_{\max} может быть описана в общем случае функцией вида

$$C = f(a),$$

где f – полиномиальная функция, устанавливаемая на основании экспериментальных исследований гранулометрического состава загрязнений. Кумулятивный график объемной концентрации загрязнений всегда будет возрастающей функцией (Рис. 2).

При пропускании через мелкую и крупную сетки фильтруемой воды каждая сетка в начальный момент гарантированно будет

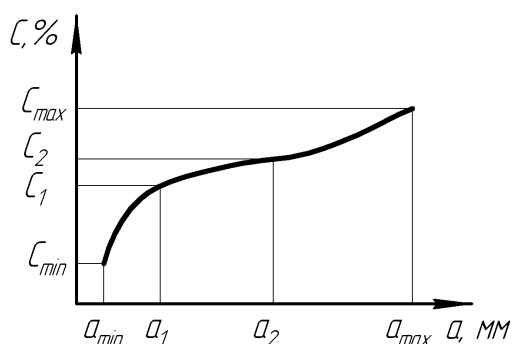


Рис. 2. Зависимость кумулятивной концентрации от размеров частиц загрязнений

Fig. 2. Dependence of the cumulative concentration of contaminant particles sizes

улавливать загрязнения с размерами, равными или большими размерам своей ячейки. Частицы с размерами, меньшими, чем размеры ячеек сеток, в начальный момент (чистая сетка), будут свободно проходить сквозь сетки. По мере задерживания частиц в ячейках сеток (для мелкой сетки с размерами $a_i \geq a_1$ и для крупной сетки с размерами $a_i \geq a_2$) наступит момент, когда все ячейки сеток окажутся забитыми загрязнениями, на сетке возникнет слой загрязнения. На слое загрязнения плоская сетка начнет реализовываться принцип объемной фильтрации, при котором по мере роста толщины слоя уловленных загрязнений уменьшается размер улавливаемых частиц. Однако по мере фильтрации накопленные загрязнения вызывают рост перепада давления на сетках, что обуславливает необходимость очистки (регенерации) фильтроэлементов, направленной на восстановление номинального перепада давления на сетке. Далее цикл работы фильтрующих сеток повторяется. Примем одинаковые значения максимальных перепадов давления на сетках $\Delta p_1 = \Delta p_2 = \Delta p$, при которых начинается их очистка. Продолжительность интервала времени от начала фильтрования до достижения максимального перепада давления на сетке для мелкой и крупной сеток обозначим соответственно t_1 и t_2 . Назовём этот интервал времени интервалом фильтрации.

Количество загрязнений, уловленных за один интервал фильтрации на мелкой и крупной сетках, определяется из выражений:

$$V_1 = v_1 S_1 t_1 \int_{a_1}^{a_{\max}} f(a) da, \quad (1)$$

$$V_2 = v_2 S_2 t_2 \int_{a_2}^{a_{\max}} f(a) da. \quad (2)$$

Приравняв (1) и (2) и учитывая равенства скоростей протекания воды через сетки и их площади, можно записать

$$t_1 \int_{a_1}^{a_{\max}} f(a) da = t_2 \int_{a_2}^{a_{\max}} f(a) da. \quad (3)$$

Решая (3), получим

$$t_1 = t_2 \frac{F(a_{\max}) - F(a_2)}{F(a_{\max}) - F(a_1)} = t_2 \frac{F(a_{\max}) - F(2a_1)}{F(a_{\max}) - F(a_1)} \quad (4)$$

где F – первообразная от подынтегральной функции $f(a)$.

Обозначим $t_2 \frac{F(a_{\max}) - F(2a_1)}{F(a_{\max}) - F(a_1)} = k$, причём, как видно из (4), $k < 1$. Окончательно:

$$t_1 = k t_2. \quad (5)$$

Таким образом, независимо от абсолютных размеров ячеек фильтрующих сеток и грансостава частиц загрязнений, при прочих равных условиях сетка с мелкими ячейками быстрее накопит на себе предельно допустимое по максимальному перепаду давления количество загрязнений, чем сетка с крупными ячейками.

Приняв в (1) и (2) равенство времени между очистками обеих сеток (равенство интервалов фильтрации) $t_1 = t_2$, путем аналогичных рассуждений можно получить соотношение площадей мелкой и крупной сеток:

$$S_1 = \frac{1}{k} S_2, \quad (6)$$

а так как $k < 1$, то $S_1 > S_2$.



Рис. 3. Батарея фильтров Filtomat MCFM 306 XLP на картонно-бумажной фабрике
Fig. 3. Filters Battery Filtomat MCFM 306 XLP on cardboard and paper mill

Таким образом, для обеспечения требуемого интервала фильтрации (допустимого времени между очистками) фильтра и увеличения грязеемкости фильтра для тонкой сетки требуется большая площадь сетки, чем для грубой.

ИЗВЕСТНЫЕ ПУТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ГРЯЗЕЁМКОСТИ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТОВ В СУЩЕСТВУЮЩИХ ФИЛЬТРАХ

В общепринятых конструкциях сетчатых фильтров (с очисткой фильтроэлементов обратным потоком воды сетка в фильтровальных блоках выполняется в виде цилиндра. С увеличением площади сетки ее размеры, а значит и размеры фильтра, растут пропорционально площади сетки. При необходимости тонкой фильтрации значительных расходов воды площадь сетки, размеры фильтра его стоимость, катастрофически растут. Для обеспечения заданной пропускной способности зачастую монтируют на одном водоводе батарею из нескольких фильтров (Рис. 3). Некоторые фирмы устанавливают несколько единичных фильтров в одном корпусе фильтра (Рис. 4) [1, 3].

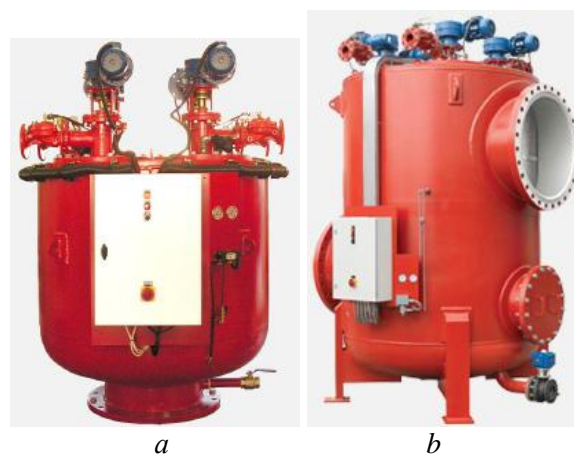


Рис. 4. Фильтры Amiad, составленные из нескольких малых фильтров в едином корпусе: *a* – Mega ABF 40000 Mega (2 фильтра); *б* – ABF 60000 (4 фильтра) [2]
Fig. 4. Filters Amiad, made up of several small filters in a single package: *a* – Mega ABF 40000 Mega (2 filters); *б* – ABF 60000 (4 filter) [2]

Цена таких батарейных фильтровальных установок, общие габариты, стоимость самих установок и их очень высокие.

Встретившись с такой трудностью, некоторые разработчики фильтров при необходимости тонкой фильтрации с целью увеличения грязеемкости используют более сложные и дорогостоящие фильтры с дисковыми [4], щелевыми (щелевые трубы, щелевые конические свечи) [6] и другими фильтроэлементами. Хотя сами фильтры меньше по размерам, но требуют специальных сложных технологий и специального оборудования для изготовления их фильтроэлементов. Это обуславливает высокую стоимость их освоения и высокую стоимость самих фильтров, которая существенно выше, чем стоимость сетчатых фильтров.

Учитывая изложенное выше, и несмотря на многочисленные исследования [6 – 9], направленные на разработку современных решений по сетчатым фильтрам, вопрос увеличения грязеемкости сетчатых фильтров остаётся актуальным.

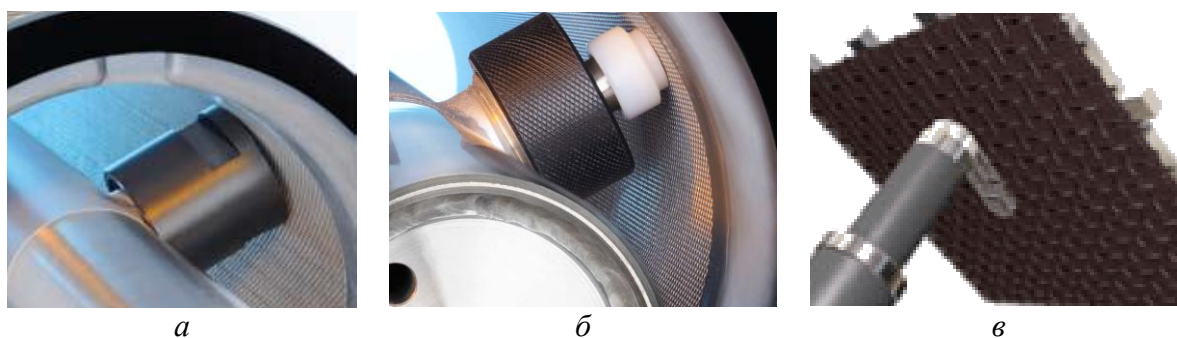


Рис. 5. Всасывающие очистители (сканеры): *а* – обычный; *б* – подпружиненный (Amiad, Израиль); *в* – с ворсистой окантовкой сопла (STF-Filtros, Испания)

Fig. 5. Suction cleaners (scanners): *a* – cleaners usual; *b* – spring-cleaner (Amiad, Israel); *v* – cleaner with a lint-free piping nozzle (STF-Filtros, Spain)

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ НОВОГО ТИПА СЕТЧАТОГО ФИЛЬТРА ОКЕАНМАШЭНЕРГО

Специалисты ООО «Океанмашэнерго» показали, что возможности более простых, надежных и дешевых сетчатых фильтров ещё далеко не исчерпаны. Найдены новые технические решения, которые обеспечивают укладку сетчатого фильтроэлемента с ячейками любых размеров и практически любой площади в относительно небольшой корпус. Новая конструкция фильтроэлемента позволяет обеспечивать в несколько раз большую грязеемкость, чем у фильтроэлементов с цилиндрическими фильтроэлементами, обеспечивая при этом эффективную очистку загрязненной сетки обратным потоком воды в автоматическом режиме.

Принципиальное отличие фильтров Океанмашэнерго от других фильтров позволило реализовать на их основе новые технические решения, обеспечивающие практически любые необходимые площади сетки в малых корпусах.

В фильтрах зарубежных компаний с противоточной регенерацией при очистке сетки очищающее сопло скользит по загрязненной её поверхности с минимальным зазором (Рис. 5, *а*). Увеличение зазора снижает эффективность очистки. Поэтому частицы загрязнений больше этого зазора, остаются на сетке и накапливаются в фильтре. Требуется предварительная очистка воды

перед фильтром либо периодическая ручная очистка фильтроэлемента от накопившихся крупных частиц. Установка подпружиненных всасывающих сопел или оснащение сопел по контуру жесткими полимерными ворсинами (Рис. 5, *б* и *в*) частично снижают паразитные перетоки воды и позволяют обходить крупные загрязнения, но принципиально не способны позволить удалять крупные загрязнения из фильтра. Кроме того, такая конструкция фильтра требует цилиндрической формы фильтроэлемента.

Фильтры Океанмашэнерго [7, 8] лишены такого недостатка. Сетка натянута на барабан в виде «беличьего колеса». Грязная вода поступает изнутри, грязь любой крупности накапливается на сетке в камерах «беличьего колеса» и не мешает вращению очистителя. Очиститель при очистке сетки скользит по «беличьему колесу», отбирая и уводя на слив загрязнения любой крупности с сетки и ячеек.

Эта уникальная особенность фильтра, наличие камер для сбора загрязнений, позволила перейти к новому типу фильтра – с зигзагообразной формой сетки, фильтр Виталия Кузьминского [10], получившем в Океанмашэнерго обозначение фильтр типа ФК.

Такая форма сетки позволяет существенным образом увеличить ее площадь. При этом фильтр, предназначенный для заданного расхода воды, может быть оборудован сеткой практически с любой ячейкой при

сохранении принятого через фильтр расхода. При этом сохраняется основной принцип фильтров Океанмашэнерго – наличие перед очистителем ячеек для сбора крупных включений, что, в отличие от фильтров других производителей, делает такие фильтры нечувствительными для крупных включений.

Камеры для сбора грязи в таком фильтре образуются зигзагами самой сетки.

Конструкция фильтра такова, что в относительно небольшом объёме фильтра для заданного расхода можно уложить сетку практически любой для этого расхода площади. Разработан типоразмерный ряд новых фильтров, охватывающий весь диапазон существующих в промышленности расходов воды в трубопроводах.

Фильтр ФК – это фильтр нового поколения, превосходящий по своим качествам все известные сетчатые фильтры такого класса. Особенно эффективно их применение для тонкой фильтрации с большими расходами воды.

Фильтр ФК прямоточный, это делает его удобным для монтажа в любых условиях расположения водоводов, имеет относительно небольшие габариты, особенно по высоте, прост в обслуживании, промывается в автоматическом режиме. В качестве индикатора загрязнённости фильтра используется дифманометр или реле времени.

КОНСТРУКЦИЯ ФИЛЬТРА ФК С ЗИГЗАООБРАЗНОЙ СЕТКОЙ ФИЛЬТРЭЛЕМЕНТА

Фильтр имеет цилиндрический корпус *1* (Рис. 6), входной патрубок *2*, выходной патрубок *3* и сливной патрубок *4*, а также фильтровальный блок *5*, жестко закрепленный на центральной трубе *6*, которая установлена в трубчатом корпусе на подшипниках *7* и *8* с возможностью вращения вместе с фильтровальным блоком.

Фильтровальный блок *5* имеет верхний диск *9* и нижний диск *10*, которые жестко связаны между собой распорками в виде

стержней. Между верхним диском *9* и нижним диском *10* на внешние стержни *11* и внутренние стержни *12* натянут фильтровальный элемент *13* в виде вырезанной из сетки ленты, которая зигзагообразно облегает внешние и внутренние стержни (Рис. 6).

Натянутый таким образом фильтровальный элемент *13* вместе с верхним и нижним диском образуют в фильтровальном блоке *5* внешние *14* и внутренние *15* камеры. Таким образом, фильтровальный блок *5* соединен отверстиями с полостью *16* центральной трубы *6*.

На цилиндрическом корпусе *1* изнутри закреплен неподвижный очиститель *18*, который частично облегает фильтровальный блок *5*. Очиститель имеет отверстие *19*, соединенное со сливным патрубком *4*. При вращении фильтровального элемента *5* его внешние камеры *14* через отверстие *19* в очистителе последовательно соединяются со сливным патрубком *4*.

Центральная труба *6* связана с электроприводом *20*.

На сливном патрубке *4* установлен сливной клапан *21* с электроприводом. Сливной клапан, будучи открытым, соединяет сливной патрубок *4* со сливом, где давление воды намного меньше давления в фильтре.

РАБОТА ФИЛЬТРА ФК С ЗИГЗАООБРАЗНОЙ СЕТКОЙ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТА

Фильтр имеет два режима работы – режим фильтрации и режим промывки.

В режиме промывки фильтра фильтрация воды не прекращается.

На Рис. 6 стрелками показан путь воды в режиме фильтрации и обратный путь воды через фильтрующий элемент в зоне внешней камеры *14*, которая в данный момент промывается в режиме промывки.

Работа фильтра не отличается от работы других фильтров с промывкой обратным потоком.

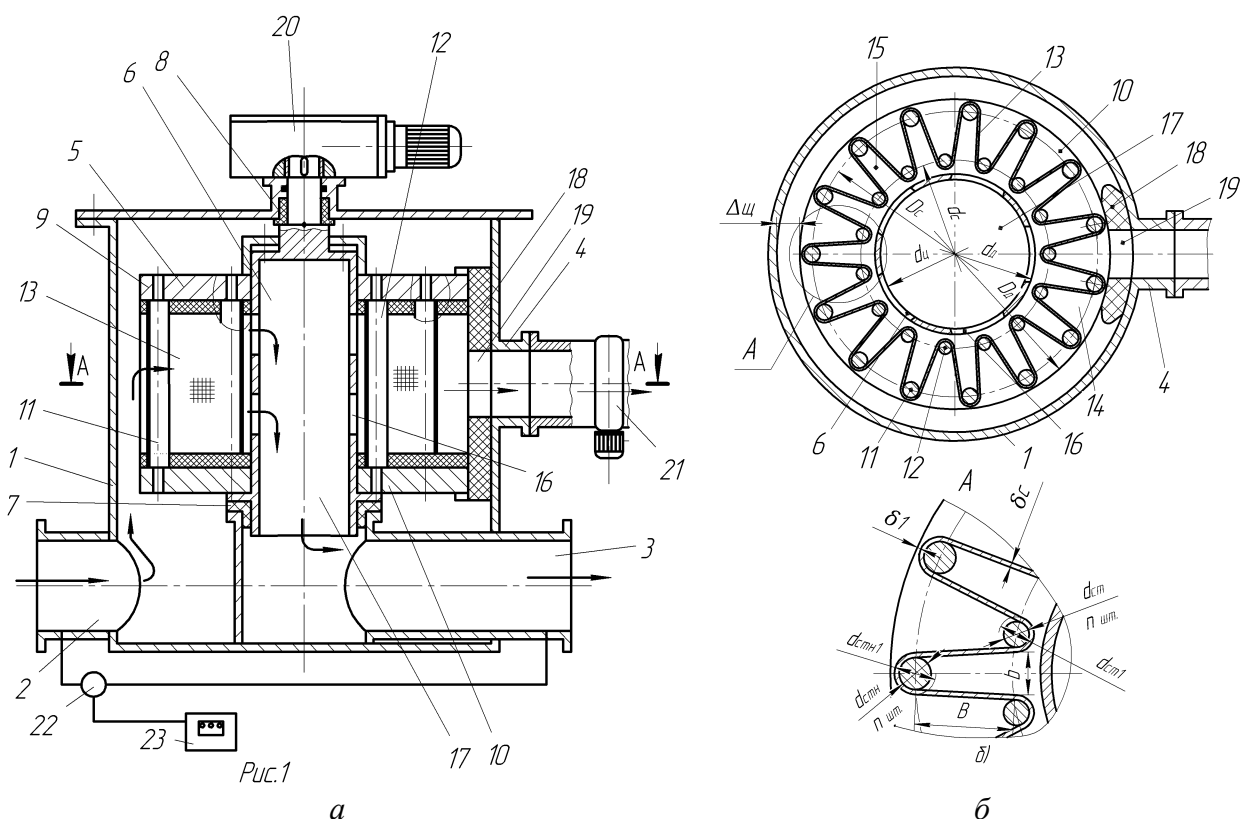


Рис. 6. Фильтр ФК с зигзагообразной сеткой: *a* – вертикальный разрез; *b* – поперечный разрез
Fig. 6. Filter FK with zigzag grid: *a* – vertical section; *b* – a cross section

В режиме фильтрации сливной клапан 21 закрыт, электропривод 20 выключен. Вода напорного водовода, в котором установленный фильтр, с загрязнениями течет через входной патрубок 2 (Рис. 6) в полость корпуса 1, проходит через все внешние камеры 14 фильтровального блока, проходит через фильтровальный элемент 13 во внутренние камеры 15 фильтровального блока и дальше, уже очищенной, через отверстия 16 течет в полость 17 центральной трубы 6, а из нее в исходный патрубок 3.

Со временем фильтровальный элемент 13 фильтровального блока 5 постепенно загрязняется, в результате чего растет перепад давления между входным патрубком 2 и исходным патрубком 3. Этот перепад давления отслеживает дифференциальный манометр 22 и подает сигнал о перепаде давления на блок управления 23. Когда перепад давления достигнет заранее заданной при наладке фильтра величины, которая является сигналом о загрязнении фильтро-

вального блока 5, блок управления переводит фильтр в режим промывки..

Для этого он включает электропривод клапана сливного 21, который открывает клапан, и включает электропривод 20, который начинает вращать центральную трубу 6, а вместе с ней и весь фильтровальный блок 5. В режиме промывки фильтровальный блок 5 вращается, а сливной клапан 21 открыт на слив.

При вращении фильтровального блока 5 каждая внешняя камера 14 последовательно совмещается с отверстием 19 неподвижного очистителя 18. Таким образом каждая внешняя камера 14 последовательно через это отверстие и открытый сливной клапан 21 на некоторое время соединяется со сливом.

Из-за того, что давление воды в фильтре выше атмосферного давления и, соответственно, выше давления на сливе, на время совмещения внешней камеры 14 с отверстием 19 возникает обратный поток воды через саму внешнюю камеру и дальше че-

рез отверстие 19 и открытый сливной клапан 21 на слив. Этот обратный поток воды смывает и выносит на слив загрязнения, которые осели на участках фильтровального элемента 13 в этой внешней камере. В связи с тем, что фильтровальный блок 5 вращается, таким образом последовательно промывается вся сетка и все внешние камеры. В режиме промывки фильтрация воды продолжается.

В результате промывки фильтровальный элемент 13 постепенно очищается от грязи, благодаря чему уменьшается перепад давления между входным патрубком 2 и исходным патрубком 3, который отслеживает дифференциальный манометр 22, связанный с блоком управления 23. Когда перепад давления достигнет исходной величины, блок управления закрывает сливной клапан 21. Теперь фильтр опять работает в режиме фильтрации.

Дальше цикл повторяется.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРА ФК С ЗИГЗАООБРАЗНОЙ СЕТКОЙ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТА

Разработана методика расчёта фильтра ФК, которая позволяет по исходным данным с использованием некоторых эмпирических значений определить все проектные параметры фильтра ФК, как геометрические, так и гидравлические.

В описании методики расчёта, представленном ниже, приняты следующие обозначения, кроме обозначений, раскрытых в тексте:

D_d, d_d – диаметры диска – наружный и внутренний; $d_{ст}, d_{стн}$ – диаметры стержней – внутреннего и наружного; $d_{ст1}, d_{стн1}$ – диаметры стержней – внутреннего и наружного – с учётом толщины обвивающей их сетки ($d_{ст1} = d_{ст} + 2\delta_c$, $d_{стн1} = d_{стн} + 2\delta_c$); δ_1 – расстояние от сетки на наружных стержнях до наружной поверхности диска D_d, H, B, \dots – высота и шири-

на сетки в одной камере; d_c – диаметр сетки внутренний (по осям внутренних стержней); D_c – диаметр сетки наружный (по осям наружных стержней); S_{c1} – суммарная площадь сетки в промываемой (промываемых при $j > 1$) одновременно камерах ($S_c = njS_{c1}$); k – коэффициент ширины сетки ($k = \frac{B}{H}$); δ_c – толщина сетки; δ_k – толщина стенки корпуса фильтра; $V_{п}$ – скорость обратного потока воды на сетке при её промывке; q – кратковременный расход на промывку площади S_{c1} сетки фильтра; α – коэффициент расхода на промывку ($\alpha = \frac{q}{Q}$); D_k – наружный диаметр корпуса фильтра; A, p, q_1 – вспомогательные параметры, введённые при решении системы уравнений, не имеют физического смысла; j – количество фильтровальных блоков; y – понятно из соотношения $y = \frac{b_1}{b}$.

Одна из особенностей фильтра ФК (Рис. 6) заключается в том, что весь расход фильтрованной воды в нём проходит через центральную трубу с внутренним диаметром $d_{ц}$ с некоторой скоростью $V_{ц}$, а также через щель (зазор) $\Delta_{щ}$ между диском фильтровального блока и корпусом фильтра со скоростью $V_{щ}$, через щели b со скоростью V_b . От скоростей этих потоков зависит перепад давления на фильтре. Путём предварительной проработки конструкции фильтра и с использованием теории подобия для вязких несжимаемых жидкостей определены скорости потоков $V_{ц}, V_{щ}, V_b$ для каждого фильтра типоразмерного ряда, которые обеспечивают приемлемый перепад давления на фильтре.

Большое значение имеет выбранная скорость фильтрации $V_{ф}$, определяемая расходом Q через сетку площадью S_c

$$V_{\phi} = \frac{Q}{S_c}. \quad (7)$$

Правильно выбранная скорость фильтрации обеспечивает достаточный интервал времени между очистками фильтра и оптимальную величину площади сетки S_c в зависимости от расхода Q размера ячейки a сетки.

Исследованиями, проведенными ранее специалистами Океанмашэнерго, для сетчатых фильтров были получены эмпирические зависимости скорости фильтрации V_{ϕ} в зависимости от размера ячейки сетки, которые позволили обеспечить приемлемый интервал времени между самоочистками фильтра для усредненной по загрязнённости воды.

Установлено, что скорость фильтрации V_{ϕ} , которую следует принимать при проектировании и выборе фильтра, для сетки с крупными ячейками ($a = 0,5...5$ мм и более) имеет линейную зависимость от ячейки a , а для сетки с мелкими ячейками ($a = 0,02...0,05$ мм) в диапазоне реальных расходов воды Q через фильтр – более сложную зависимость вида:

$$V_{\phi} = f(a, Q). \quad (8)$$

Фильтр проектируется, как правило, для заданных параметров – расхода воды Q и минимальной крупности a отбираемых из потока частиц твёрдых включений. В Океанмашэнерго сразу проектировали типоразмерный ряд фильтров, для восьми фиксированных расходов воды, которые охватывают практически весь диапазон необходимых для промышленности расходов.

Для каждого типоразмера фильтра выбран диапазон размеров ячеек сеток от $a = 0,02$ мм до $a = 5$ мм. Минимальный размер ячейки 0,2 мм выбран путём предварительной проработки конструкции каждого типоразмера фильтра.

Таким образом, каждый фильтр типоразмерного ряда с расходом Q может отбирать

твёрдые включения минимальной крупности от 0,2 до 5 мм, для чего в каждом конкретном фильтре указанного диапазона монтируется соответствующая зигзагообразная сетка с соответствующей ячейкой и площадью. Следует отметить, что в фильтр при необходимости может быть поставлена сетка с ячейкой свыше 5 мм, но в дальнейшем мы будем называть 5 мм.

Для крупностей менее 0,2 мм выбирается фильтр из типоразмерного ряда по необходимой для этой крупности площади сетки и расходу. При этом в выбранный фильтр устанавливается зигзагообразная сетка с нужным размером ячейки. Необходимая площадь сетки для заданного расхода Q для $a < 0,2$ мм определяется из выражения, полученного из зависимостей (7) и (8).

Очевидно, что размеры и характеристики фильтровального блока для каждого типоразмера фильтров должны определяться площадью сетки для ячейки 0,2 мм, так как она будет наибольшей. Для других значений $a > 0,2$ мм, площади сетки которых будут меньше, технически не сложно в тот же фильтровальный блок вмонтировать любую сетку меньшей площади. При этом ни габаритные, ни привязочные размеры фильтра изменять не потребуется.

Назовём типоразмер фильтра для принятого расхода при размере ячейки $a = 0,2$ мм сетки базовым фильтром данного типоразмера.

Расчёт фильтра типа ФК – это, прежде всего, определение всех характеристик и размеров фильтровального блока базового фильтра.

Рациональным является следующий порядок расчёта каждого фильтра типоразмерного ряда:

1) выбираем для каждого базового фильтра параметры, полученные предварительно путём проектных проработок и предварительных расчётов;

2) рассчитываем все параметры фильтровального блока базового фильтра ($a = 0,2$ мм);

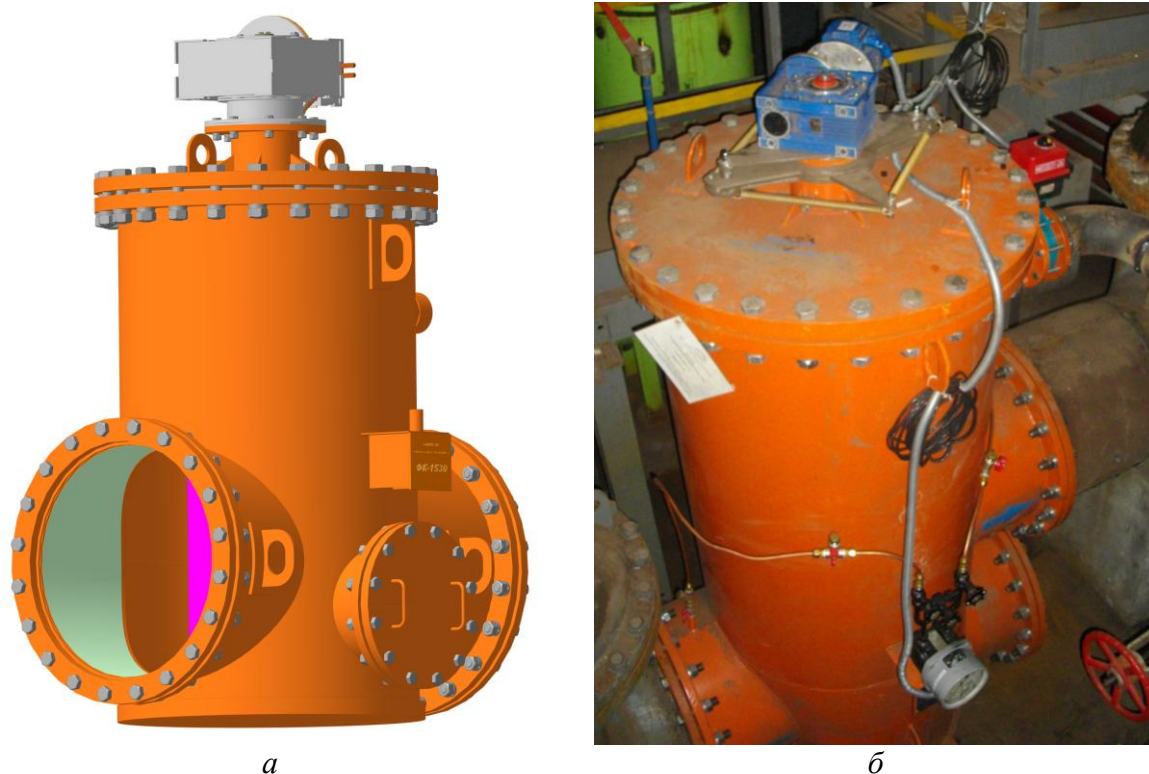


Рис. 8. Фильтр автоматизированный самопромывающийся ФК: *a* – 3D-модель; *b* – смонтированный на месте эксплуатации

Fig. 8. Filter automated self-washed FK: *a* – 3D-model; *b* – filter mounted on site

3) уточняем отдельные параметры сеток остальных фильтров типоразмерного ряда (для принятых $\alpha > 0,2$ мм);

4) рассчитываем остальные параметры фильтра.

Вся сложность расчёта заключается в том, что при расчёте фильтра неизменной для фильтровального блока базового фильтра остаётся выбранная площадь сетки. Остальные же геометрические параметры связаны между собой таким образом, что изменение одного параметра влечёт за собой необходимость изменения всех остальных параметров. В противном случае мы можем выйти за рациональные или допустимые принятые пределы, например, скоростей протекания воды и, соответственно, перепада давления на фильтре, удельного расхода воды на промывку и других.

Рассмотрев ряд геометрических и гидравлических зависимостей (их вывод здесь опускаем), для определения пяти подлежа-

щих определению параметров n, d_c, k, b, α получим систему из пяти уравнений, связывающую их:

$$\left\{ \begin{array}{l} \pi d_c = (b + d_{ст1})n \\ d_c = d_d + d_{ст1} + yb \\ 2jkH^2V_\phi = Q \\ jbHV_b n = Q \\ \alpha = \frac{2jkH^2V_\phi}{Q} \end{array} \right. \quad (9)$$

Решив эту систему уравнений относительно неизвестных, получим главное соотношение – для определения количества n штырей в фильтроэлементе:

$$n = -\frac{P}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{P}{2}\right)^2 - q_1}, \quad (10)$$

где

$$p = \frac{A - \pi(d_d + d_{ст1})}{d_{ст1}}, \quad (11)$$

$$q_1 = -\frac{\pi A}{d_{ст1}}. \quad (12)$$

Дальше из уравнений (9) определяем другие неизвестные системы уравнений: d_c, k, b, α .

Рассчитанные таким образом параметры с учетом принятых при проектных проработках и предварительных расчётах величин, позволяют определить все другие гидравлические и геометрические параметры фильтра, в том числе наружные размеры фильтровального блока D_c, D_d , размер $\Delta_{ш}$ и диаметр корпуса D_k по формулам

$$D_c = d_c + 2B, \quad (13)$$

$$D_d = D_c + d_{ст1} + 2\delta_1, \quad (14)$$

$$\Delta_{ш} \cong \frac{Q}{\pi D_d V_{ш}}, \quad (15)$$

$$D_k = D_d + 2(\Delta_{ш} + \delta_k). \quad (16)$$

Заложенные при разработке и проектировании фильтров серии ФК решения реализованы в типоразмерном ряде, охватывающем весь диапазон водоводов.

ПРОМЫШЛЕННОЕ ВНЕДРЕНИЕ ФИЛЬТРОВ ФК С ЗИГЗАООБРАЗНОЙ СЕТКОЙ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТА

Изготовленные 4 фильтра ФК-2700 (номинальный расход воды 2700 м³/час, рабочее давление 0,6 МПа, номинальная толщина фильтрации 0,5 мм) были в 2014 году смонтированы в фильтровальной на доменной печи № 8 ПАО "АрселорМиттал Кривой Рог". Фильтры установлены взамен не оправдавших себя ранее используемых автоматизированных фильтров зарубежного производства. Фильтры ФК-2700 находятся в эксплуатации длительное время, полностью подтвердили свои характеристики, прекрасно справляются с фильтрацией во-

ды для системы охлаждения доменной печи.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что общеизвестные наиболее распространённые типы сетчатых фильтров в части наиболее важного параметра – площади сетки, достигли своего потолка, что вызвало во многих случаях переход поставщиков к более сложным и дорогим фильтрам.

2. Найдены и исследованы новые технические решения на базе сетчатых фильтров Океанмашэнерго, которые позволили многократно увеличить площади сеток фильтров в пределах определённых размеров их корпусов. Это сняло практически любые ограничения по расходу воды при тонкой фильтрации единичным сетчатым фильтром и исключило необходимость перехода к другим сложным и дорогостоящим фильтрам.

3. Разработан и освоен выпуск Океанмашэнерго типоразмерного ряда новых фильтров типа ФК с использованием новых технических решений. Типоразмерный ряд фильтров охватывает практически весь диапазон номинальных расходов и номинальных толщин фильтрации, необходимых для промышленности. Проведены исследования с разработкой методика расчёта фильтров нового типа.

4. Фильтры используются в промышленности. В частности, на доменной печи №8 ПАО "Арселор Миттал Кривой Рог" смонтированы и более двух лет успешно эксплуатируются 4 крупные фильтры ФК-2700 Океанмашэнерго.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Amiad Water System.** Omega Series. Automatic self-cleaning filter with a multi-screen design. http://amiad.com/downloads/brochures/Omega_Product_Page_En_04.2014.zip.
2. **Amiad Water System.** ABF Series. Automatic self-cleaning filter <http://www.amiad.com/catalog.asp?type1=3&cat=10>.

3. **Hydac** AutoFilt® RF3. Automatic Back-Flushing Filter for Process Technology <http://www.hydac.com/fileadmin/pdb/pdf/PRO000000000000000000007709030011.pdf>.
4. **Arkal**. Disk filtration technology http://amiad.com/ArkalCatalog/Industrial/Arkal_catalog.html.
5. **Arkal** automatic all-polymeric self-cleaning Spin Klin® disc filter. <http://www.amiad.com/arkal.asp>.
6. **Фильтрующие** элементы HYDAC <http://www.hydac.com.ru/filterelements.html>.
7. **Кузьминский В.П., Кухарь В.Ю., Кудрявцев Д.В., 2006.** Разработка и совершенствование автоматизированных фильтров технической воды для условий отечественных горно-металлургических предприятий. Доклад на Междунар. конф. Форум гірника-2006, НГУ, Днепропетровск.
8. **Кухарь В.Ю., Кузьминский В.П., Кудрявцев Д.В., 2008.** Проблемы фильтрации технической воды на отечественных предприятиях и пути их решения Энергосбережение, Вып.2, 7-11.
9. **Назарян М., Стельмахов Ю., 2015.** Научные основы очистки сточных вод промышленных предприятий методом электрокоагуляции. Підводні технології. Промислова та цивільна інженерія, Вип.02, 72-78.
10. **Патент 109211 України, 2015.** Фільтр Віталія Кузьмінського. В.П.Кузьмінський, В.Ю.Кухар, Д.В.Кудрявцев, О.В.Овчинникова, 8. Опубл. 25.12.2014 в Бюл. 1424.
6. **Filterelements** of HYDAC <http://www.hydac.com.ru/filterelements.html>.
7. **Kuzminskiy V.P., Kuhar V.Yu., Kudryavtsev D. V., 2006** Razrabotka i sovershenstvovanie avtomatizirovannyih filtrov tehnicheckoy vodyi dlya usloviy otechestvennyih gornometallurgicheskikh predpriyatij. Doklad na Mezhdunarodnoy konferentsii Forum girnyka-2006, NGU, Dnepropetrovsk (in Russian).
8. **Kuhar V. Yu., Kuzminskiy V. P., Kudryavtsev D.V., 2008** Problemyi filtratsii tehnicheckoy vodyi na otechestvennyih predpriyatiyah i puti ih resheniya Energoberezhenie. Vyp. 2, 7-11 (in Russian).
9. **Nazarjan M., Stel'mahov Ju., 2015.** Nauchnye osnovy ochistki stochnyh vod promyshlennyh predpriyatij metodom jelektrokoagulyacii. Pidvodni tehnologii. Promislova ta civil'na inzhenerija, Vyp.02, 72-78 (in Russian).
10. **Patent 109211 Ukraine, 2015.** Fil'tr Vitalija Kuzminskogo. V.P. Kuzminskii, V.Ju. Kuhar, D.V. Kudryavtsev, O.V. Ovchynnykova, 8. Opubl. 25.12.2014 v Bjul. 1424 (in Ukrainian).

Broaden options industrial grid water filters

*Victor Kukhar¹, Vitalii Kuzminskiy²
Olga Ovchynnykova³*

¹National Mining University of Ukraine
Karl Marx Avenue, 19, Dnepropetrovsk,
Ukraine, 49005, vkuhar@narod.ru
orcid.org/0000-0002-1849-4489

^{2,3} LLC Okeanmashenergo
Street Kombriga Petrova, 5, Dnepropetrovsk,
Ukraine, 49041, oceanmas@infotd.dp.ua

² orcid.org/0000-0003-2480-5615

³ 0000-0003-3805-1703

REFERENCES

1. **Amiad Water System.** Omega Series. Automatic self-cleaning filter with a multi-screen design. http://amiad.com/downloads/brochures/Omega_Product_Page_En_04.2014.zip.
2. **Amiad Water System.** ABF Series. Automatic self-cleaning filter <http://www.amiad.com/catalog.asp?type1=3&cat=10>.
3. **Hydac AutoFilt® RF3.** Automatic Back-Flushing Filter for Process Technology <http://www.hydac.com/fileadmin/pdb/pdf/PRO000000000000000000007709030011.pdf>.
4. **Arkal**. Disk filtration technology http://amiad.com/ArkalCatalog/Industrial/Arkal_catalog.html.
5. **Arkal** automatic all-polymeric self-cleaning Spin Klin® disc filter <http://www.amiad.com/arkal.asp>.

Summary. Shows that the most common mesh filters for industrial water in part of the area of the filter mesh have reached their limit. The solution of this problem in the filters of a new type of Okeanmashenergo. Developed and mastered in the production of standard series of filters, conducted research with the development of methods for calculating the new filters.

Key words: grid filter, fine filtration, area of the filter grid.

Perspectives of tunnel passages construction under the Dnieper

Gennadiy Haiko¹, Petro Zakharchenko²

¹ NTUU Kyiv Polytechnic Institute,
37, Prosp. Peremohy, Kyiv, Ukraine, 03056
gayko.kpi@meta.ua
orcid.org/0000-0002-4263-5958

² Kyiv National University of Construction
and Architecture,
31, Povitroflotsky Avenue, Kyiv, Ukraine, 03037
tkd362@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4701-7929

Перспективи будівництва тунельних переходів Дніпра

Геннадій Гайко¹, Петро Захарченко²

¹ НТУУ Київський політехнічний інститут
просп. Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056
gayko.kpi@meta.ua
orcid.org/0000-0002-4263-5958

² Київський національний університет
будівництва і архітектури
Повітрофлотський просп, 31, Київ, Україна, 03037
tkd362@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4701-7929

Summary. A brief history of the construction of tunnel junctions of large rivers, in particular – attempts to tunnel junction Dnieper. The author analyzed the proposal to hold an underground sewer and road tunnels under the Dnieper. A comparative analysis of the bridge and tunnel junction Dnieper highway ring around Kyiv. Reported benefits of tunnel construction.

Key words: underwater tunnel, tunnelling shield, the benefits of the tunnel, ring expressway, feasibility study.

Анотація. Представлено стислу історію будівництва тунельних переходів великих річок, зокрема – спроби тунельного переходу Дніпра. Проаналізовано авторські пропозиції щодо проведення підземного дюкера та автомобільних тунелів під Дніпром. Проведено порівняльний аналіз мостового й тунельного переходу Дніпра кільцевою магістраллю навколо Києва. Відзначено переваги тунельного будівництва.

Ключові слова: підводний тунель, прохідницький щит, переваги тунелю, кільцева автомагістраль, техніко-економічний аналіз.

HISTORICAL REVIEW

Joining of river banks and bays by tunnel passages has a long history. The oldest underwater tunnel that reached our time, has more than two and a half millennia and joins banks of Euphrates between the palace of King Nebuchadnezzar II and the main temple of Babylon. New underwater tunnels' history dates back to 1818, when British engineer of French origin Marc Brunel received a patent for the invention of the tunneling shield, whereby in 1825 under the Thames began construction of the first underwater tunnel in soft rock.

ІСТОРИЧНИЙ ЕКСКУРС

Поєднання берегів річок і заток тунельними переходами має давню історію. Найдавніший підводний тунель, що дійшов до нашого часу, налічує більше двох з половиною тисяч років і поєднує береги Навуходоносора II і головним храмом Вавилону. Нова історія підводних тунелів бере початок з 1818 р., коли англійський інженер французького походження Марк Брюннель отримав патент на винахід прохідницького щита, за допомоги якого 1825 р. під Темзою було розпочато спорудження першого підводного тунелю в м'яких породах.

In 1933 the monograph «Underwater tunnels» was published for the first time in the former USSR authored by prof. O. M. Passek [1]. A prominent scientist, head of "Tunnels" department in Leningrad Institute of Railway Engineers began his book by phrase: «there are still no underwater tunnels in the Union». Then the author mentioned the history of underwater tunnels construction in the world and revealed foreign experience in the first quarter of the twentieth century, arguing that «abroad tunnel passages under water became commonplace» and «at the present (1933!) tunnel technology development there is no such soil or soil combinations in which it would be impossible to lay underwater tunnel».

Among the obvious advantages of underwater tunnels compared with bridges the convenience of river navigation should be noted, as the riverbed is not overburdened by bridge pillars; the opportunity to conduct construction work during the year (without seasonal downtime of bridge construction) that provides a competitive rate of tunnels construction; best nature trails deep underground laying that pass under rivers; possibility of cleaning automobile tunnels' input air, which improves the ecology of environment; significant advantages in safety of water areas strategic underground passage in cases of military events [2, 3].

The last argument was decisive for the first attempts of tunnels under the Dnieper. In 1936 the Kiev fortified area construction was completing, but Darnytskyi and Podolsky bridges remained weak point of the defense system. It was decided to duplicate passage through the Dnieper by underwater tunnels (the idea attributed to the first secretary of the USSR N. Khrushchev, who the day before was responsible for the construction of the Moscow metro and was familiar with the possibilities of underground facilities).

Two tunnels were laid in great secrecy – North (Obolon) and south (Osokorki). Trails were divided into sections (called "titles") with a total length of about 6.5 km, construction of which was carried out by engineering parts of the Red Army and trust «Hidroshlyahbud» (there were about 20 thousand people). Con-

1933 року вперше у колишньому СРСР вийшла монографія «Подводные тоннели» за авторством проф. О.М. Пассека [1]. Видатний вчений, завідувач кафедри «Тунелі» Ленінградського інституту інженерів шляхів сполучення розпочав свою книгу промовистою фразою: «Підводних тунелів у Союзі поки що немає жодного». Далі автор торкнувся історії будівництва підводних тунелів у світі й детально розкрив зарубіжний досвід першої чверті ХХ ст., стверджуючи, що «за кордоном тунельні переходи під водними просторами стали буденним явищем» і «при сучасному (1933 р.!) розвитку тунельної техніки немає такого ґрунту або комбінації ґрунтів, у яких було б неможливо прокласти підводний тунель».

Серед очевидних переваг підводних тунелів у порівнянні з мостами слід відзначити зручності річкового судноплавства, оскільки русло ріки не захаращується мостовими опорами; можливість вести будівельні роботи протягом року (без сезонних простоїв мостового будівництва), що забезпечує конкурентні швидкості проведення тунелів; оптимальний характер трас метрополітенів глибокого закладання, які проходять під річками; можливості очищення вихідного повітря автомобільних тунелів, що покращує екологічний стан довкілля; значні переваги в безпеці стратегічного підземного переходу водних просторів у разі військових подій [2, 3].

Останній аргумент був вирішальним для перших спроб проведення тунелів під Дніпром. 1936 року завершувалось будівництво Київського укріпленого району, проте Подільський і Дарницький мости залишалися слабкою ланкою оборонної системи. Було вирішено продублювати перехід через Дніпро підводними тунелями (цю ідею приписують тодішньому першому секретареві ЦК КП(б)У Микиті Хрущову, який напередодні відповідав за будівництво московського метрополітену й був обізнаний з можливостями підземних споруд).

У великій секретності були закладені два тунелі – північний (Оболонь) та південний (Осокорки). Траси були поділені на ділянки (так звані «титули») загальною довжиною близько 6,5 км, будівництво яких здійснювали інженерні частини Червоної Армії та трест «Гідрошляхбуд» (працювало близько 20 тис.

struction was conducted by coffering method. Simultaneously dozens of compressor stations for air supply were under construction, numerous transformer substations and concrete plants, which were mounted in the road vicinity to reduce the distance for transporting of heavy concrete sections. However, by June 1941 only a few hundred meters of underground path was built. After the war, the project was not updated [4].

Another possibility of creating a tunnel passage under the Dnieper could be construction of the metro in Kiev (opened in 1960). The majority of subway in the world have multiple tunnel passages under rivers, but Kyiv relief features and evolution level of underground construction at that time in Ukraine led to the selection of a bridge passages between the right and left banks of the Dnieper [5]. But perspectives of Kyiv subway development do not include possibilities to joint Dnieper banks by subway tunnel.

UNDERGROUND SEWER

One of the largest infrastructure projects recently received funding from the Japanese government - reconstruction of the Bortnichi aeration station. The proposal of sewage transportation from the right bank to the left bank by environmentally safe underground aqueducts which would have continued by underground collector to Bortnichi station was suggested by the authors [3]. Aqueducts can be passed by shield method and give a lot of valuable information for the further development of tunnel construction under the Dnieper. With the support of the Kyiv administration, this proposal is submitted to the General Plan of Kyiv development.

ROAD TUNNELS

A new and extremely important area of Kyiv transport infrastructure development can be extended road tunnels, which should greatly relieve street transport network, promote environmental safety and preservation of historic buildings [6 – 8]. According to the Master plan

осіб). Будівництво вели кессоним способом. Одночасно споруджували десятки компресорних станцій для подавання повітря, численні трансформаторні підстанції, а також бетонні заводи, які монтували в безпосередній близькості від траси, щоб скоротити відстані для транспортування важких бетонних секцій. Проте до червня 1941 р. було споруджено лише кількасот метрів підземного шляху. Після війни проект не оновлювали [4].

Ще однією можливістю створення тунельного переходу під Дніпром могло стати будівництво київського метрополітену (відкритий 1960 р.). Переважна більшість метрополітенів світу мають по декілька тунельних переходів під річками, але особливості рельєфу Києва й рівень тогочасного розвитку підземного будівництва в Україні сприяли вибору мостового переходу між правим і лівим берегами Дніпра [5]. Проте перспективи розвитку київського метрополітену не виключають можливості поєднання берегів Дніпра метротунелем.

ПІДЗЕМНИЙ ДЮКЕР

Один з наймасштабніших інфраструктурних проектів останнього часу, який отримав фінансування від уряду Японії – це реконструкція Бортницької станції аерації. Авторами була внесена пропозиція транспортування стічних вод з правого на лівий берег екологічно безпечним підземним дюкером [6], який би продовжувався підземним колектором до Бортницької станції. Дюкер може бути пройдений щитовим способом і дати багато цінної інформації для подальшого розвитку тунельного будівництва під Дніпром. За підтримки КМДА ця пропозиція вноситься до Генерального плану розвитку Києва.

АВТОМОБІЛЬНІ ТУНЕЛІ

Новим і вкрай важливим напрямком розвитку транспортної інфраструктури Києва можуть стати протяжні автомобільні тунелі, які повинні значною мірою розвантажити вуличну транспортну мережу, сприяти екологічній безпеці та збереженню історичної забудови середмістя

of Kyiv development the number of road tunnels is eight, three of them will be under the Dnieper, five will connect transport arteries of the city within the right bank.

However, the most promising, and perhaps historically the first tunnel under the Dnieper may be south passage of the ring road around Kyiv near city Ukrainka. The project of the first stage of the ring road construction around Kyiv provides erection of the southern bridge through the river Dnieper, the length of the bridge is 4510 meters, cost – about 10 billion UAH in prices of 2009 (\$ 1,25 billion) [9].

However, the decision remains to be debatable in expert community. It is connected with environmental problem, caused by ring road cars flow in a small town, and by necessity of private lands' considerable amounts alienation for the road construction. Car tunnels can solve these problems and optimize ring road south passage [10]. The cornerstone issues are economic indicators of the tunnel passage under the Dnieper.

Below we will try to compare predictive costs of bridge and tunnel passage through the Dnieper. More subzero done comparison of prognosis cost of bridge and tunnel transition is through Dnepr.

ANALYSIS OF OPTIONS

Difficulty of the feasibility study at this stage is caused by the lack of comprehensive geological survey on the future tunnels way, what make it impossible to provide accurate calculations of technological and design parameters. However, international and Ukrainian experience in tunnels construction allows to define such facilities' probable cost and use this information to analyze as a first approximation.

A great variety of types, sizes, design solutions, methods, speed of construction, geological conditions of tunnels outline their cost in a very wide range. Analysis of the transport tunnels construction in the European Union countries over the past two decades shows that it

[6 – 8]. У відповідності до Генерального плану розвитку Києва кількість автомобільних тунелів складає вісім, причому три з них пройдуть під Дніпром, а п'ять будуть з'єднувати транспортні артерії міста в межах правого берега.

Проте найбільш перспективним, а можливо й історично першим тунелем під Дніпром може стати південний перехід кільцевої дороги навколо Києва в районі м. Українка. Проектом будівництва першої черги кільцевої дороги навколо Києва передбачено спорудження південного мостового переходу через р. Дніпро, причому довжина мосту складає 4510 м, а вартість – близько 10 млрд. грн. в цінах 2009 р. (тобто \$1,25 млрд.) [9].

Проте в експертному середовищі це рішення залишається дискусійним. Це пов'язано з екологічною проблемою, зумовленою потоком машин кільцевої магістралі в невеличкому місті, а також необхідністю відчуження значних обсягів приватних земель для будівництва траси та, можливо, утворення штучного острова [10]. Вирішити ці проблеми й значною мірою оптимізувати трасу південного переходу кільцевої магістралі можуть автомобільні тунелі.

Наріжним каменем питання є економічні показники тунельного переходу під Дніпром. Нижче зроблене порівняння прогностичної вартості мостового й тунельного переходу через Дніпро.

АНАЛІЗ ВАРІАНТІВ

Складність техніко-економічного обґрунтування на даному етапі зумовлена відсутністю комплексних інженерно-геологічних пошукувань на трасі майбутніх тунелів, що унеможливує точні розрахунки їх технологічних і конструктивних параметрів. Проте світовий і український досвід спорудження тунелів дозволяє окреслити певний діапазон імовірної вартості подібних споруд і використовувати цю інформацію для аналізу в першому наближенні.

Велике розмаїття типів, розмірів, конструктивних рішень, способів і швидкостей спорудження, а також геологічних умов будівництва та експлуатації тунелів окреслюють їх вартість у вельми широкому діапазоні. Аналіз будівництва транспортних тунелів у країнах Європей-

was within the range of \$ 30...150 million per 1 km of tunnel [11]. Underwater tunnels were not exception and did not go beyond this range. In Japan, 1 km of the largest underwater tunnel in the world (Seikan) cost \$ 68 million, 1 km of Eurotunnel's one transport branch cost about \$ 120 million.

The cost of tunnels construction in Ukraine never exaggerated the average value of a specified range. For example, the cost of one of the biggest transport projects - Beskid tunnel which is under construction on the Lviv Railways, is at a length of 1822 m and width of 10,5 m – \$ 104 million. The project is the first stage of Kiev subway construction to Troieschyna residential area, which includes in addition to tunnels length of 5,9 km has five stations estimated at \$ 200 mln., that is 1 km tunnel, along with the station will cost about \$ 34 mln. Analysis of the other numerical data from various countries shows that even in difficult geological conditions railway tunnels construction costs in most cases does not exceed \$ 100 mln per 1 km (usually in the range of \$ 30...60 mln).

It is worth to pay attention to the fact that materials' and construction works' cost for tunnel construction, transport and ventilation installation (even with the overhead costs) is several times lower than the total cost of the tunnel. It is explained by high spendings on excavation works in the natural (soil) array and on tunnel equipment purchase and depreciation. In some cases, new tunneling shields are being bought for a long tunnels carrying out, the cost of which is an essential part of the project cost.

These data allows to argue with high probability that the estimate of the tunnel construction under the Dnieper will not go beyond \$ 100 mln per 1 km. Even if we will orient on this threshold, the total cost of two tunnels with one-way traffic will be $4,51 \times 100 \times 2 = 902$ mln UAH. Compared with a project option for the bridge it will save about \$ 350 mln.

ського Союзу за останні два десятиріччя свідчить, що цей діапазон знаходився в межах \$ 20...150 млн. за 1 км тунелю [11]. Підводні тунелі не стали винятком і також не виходять за межі цього діапазону. В Японії 1 км найбільшого підводного тунелю світу Сейкан обійшовся у \$ 68 млн., 1 км однієї транспортної гілки Євротунелю коштував близько \$ 120 млн.

Кошт спорудження тунелів в Україні ніколи не перебільшував середнього значення цього діапазону. Наприклад, вартість одного з найбільших транспортних проектів – Бескидського тунелю, який споруджується зараз на Львівській залізниці, складає при довжині 1822 м і ширині 10,5 м – \$ 104 млн. (тобто 1 км тунелю разом з порталом коштує близько \$ 57 млн.). Проект першої черги будівництва київського метрополітену до житлового масиву Троєщина, який включає крім перегінних тунелів протяжністю 5,9 км ще п'ять станцій оцінений у \$ 200 млн., тобто 1 км тунелю разом із станцією буде коштувати близько \$ 34 млн. Аналіз інших численних даних з різних країн свідчить, що навіть у складних геологічних умовах кошт будівництва автомобільних і залізничних тунелів у більшості випадків не перебільшує \$ 100 млн. за 1 км (здебільшого лежить у межах \$ 30...60 млн.).

Варто звернути увагу на ту обставину, що вартість матеріалів і будівельно-монтажних робіт зі спорудження оправи тунелю, транспортного й вентиляційного облаштування (навіть з урахуванням накладних витрат) виявляється в декілька разів меншою, ніж загальна вартість тунелю. Це пояснюється значними витратами на проведення виробки в породному (грунтовому) масиві та високими витратами на придбання та амортизацію прохідницького обладнання. У деяких випадках для проведення протяжного тунелю замовляють нові прохідницькі щити, вартість яких складає суттєву частину вартості проекту.

Наведені дані дозволяють з великим ступенем імовірності стверджувати, що кошторис будівництва тунелю під Дніпром не вийде за межі \$ 100 млн. за 1 км. Навіть якщо орієнтуватися на цей граничний показник, то загальна вартість двох тунелів з одnobічним рухом складе $4,51 \times 100 \times 2 = 902$ млн. грн. У порівнян-

Also, the tunnel option provides greater durability and reliability of structures, and in case of increasing the length of the tunnel may pass under the city Ukrainka than completely solve the environmental problem, associated with the presence of a ring road in a small town, and will save private land for the road construction. There is also important fact that the tunnel passage as a strategic object is much safer and reliable in military situation than vulnerable bridge that can enhance the defense capability of the Kiev region. Thus it seems to be reasonable to provide preliminary geotechnical expertise and survey for bridge and tunnel construction options of southern ring road passage across the Dnieper. Chances to start underwater tunnels construction in this project – are extremely high (Fig. 1).

ні із проектним варіантом мостового переходу це дасть економію близько \$ 350 млн.

Крім того, тунельний варіант забезпечить більшу довговічність і надійність споруди, а в разі збільшення протяжності тунелю, може пройти під м. Українка, чим повністю вирішить екологічну проблему, пов'язану з присутністю кільцевої магістралі в невеличкому місті, а також позбавить необхідності відчуження приватних земель для будівництва траси. Важливою є й та обставина, що тунельний перехід як стратегічний об'єкт є значно безпечнішим і надійним у військовій ситуації, ніж уразливий міст, що може сприяти підвищенню обороноздатності київського району. З огляду на це доцільним було б проведення попередніх інженерно-геологічних пошукувань і експертизи мостового й тунельного варіантів спорудження південного переходу кільцевої дороги через Дніпро. Шанси розпочати будівництво підводних тунелів саме в цьому проекті – надзвичайно високі (Рис. 1).

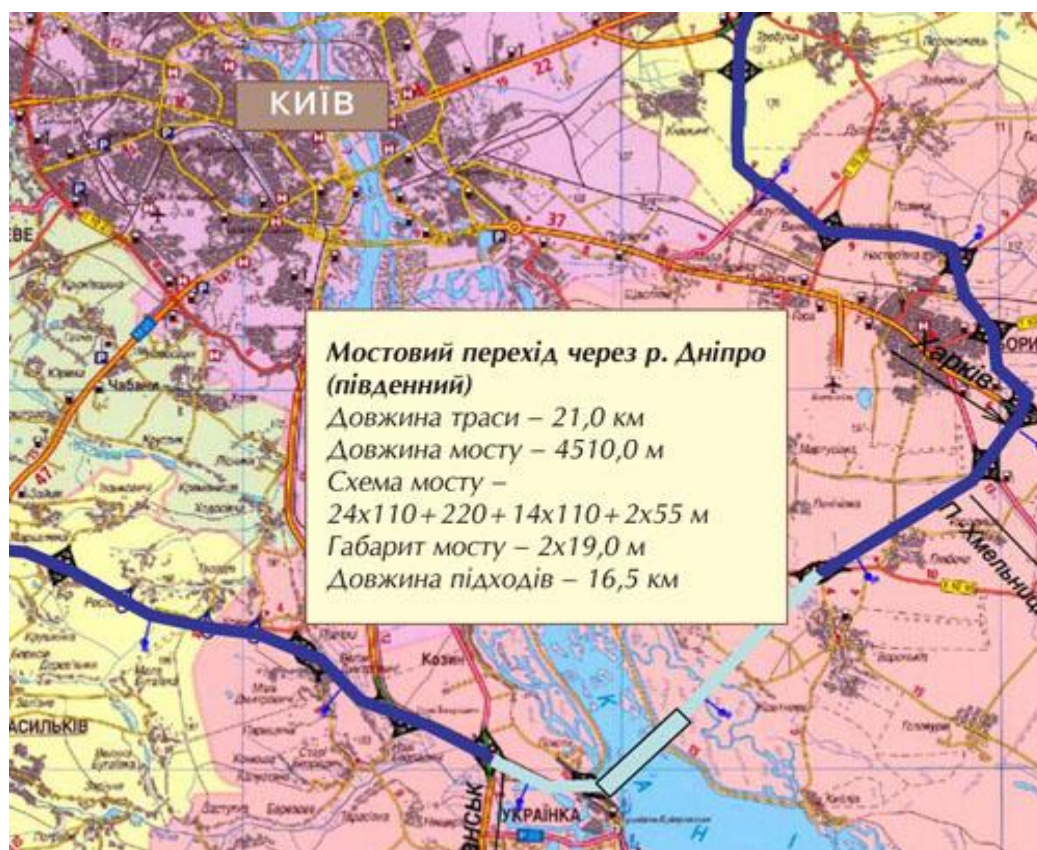


Fig. 1. The project south bridge across the Dnieper River highway ring – Track the first underwater tunnel in Ukraine

Рис. 1. Проект південного мостового переходу через річку Дніпро кільцевою магістраллю – траса ймовірного будівництва першого підводного тунелю України

CONCLUSIONS

It should be noted the importance of a systematic approach for Kyiv underground space planning development and underwater tunnels under the Dnieper [12 – 14]. If the construction approach of such buildings is complex (Kyiv road tunnels, subway, underground aqueducts, etc.), the combination of geoinformation, accumulated experience, panel assemblies, technology, production and supply of building materials – can dramatically reduce the total cost of underground construction, improve the quality and efficiency of tunnelling.

Prof. Alexander Passek explained [1] the inhibition of underwater tunneling development (including developed before The World War I project of tunnel passage through Volga river in Nizhny Novgorod region) by effects of «conservative engineering and powerful trading companies that had large reserves of bridge equipment». Since the book of prof. O.M. Passek was published more than 80 years left, but the first phrase «there are still no underwater tunnels in the Union» replacing "Union" to the «Ukraine» unfortunately remains actual. Moreover, even some of the reasons for this situation are still the same. Let's hope that on the occasion of the 200th anniversary of the first underwater shield tunnel (2025) Ukraine will demonstrate to Ukrainians and world its first underwater tunnel.

REFERENCES

1. **Passek A.N., 1933.** Underwater tunnels. Moscow, Transzheldorizdat, 220 (in Russian).
2. **Samedov A.M., Kravets V.G., 2011.** Construction of urban underground structures. Kyiv, NTU KPI, 400 (in Ukrainian).
3. **Lysikov B.A., Kaplyuhin A.A., 2005.** The use of underground space. Donetsk, Nord-Press, 348 (in Russian).
4. **Iyevleva V., 2008.** Sights industrial development of Kyiv. Kyiv, Press KIT, 248 (in Ukrainian).
5. **Kozlov K.P., 2011.** Kyiv Metro: Timeline. Events. Facts. Kyiv, 256 (in Ukrainian).

ВИСНОВКИ

Слід зазначити важливість системного підходу до планування розвитку підземного простору Києва й підводних тунелів під Дніпром [12 – 14]. Якщо підходити до будівництва таких споруд як до комплексу (автомобільні тунелі Києва, метротунель, підземний дюкер, тунель на кільцевій автомагістралі тощо), то поєднання геоінформації, напрацьованого досвіду, щитових агрегатів, технологій, виробництва й постачання будівельних матеріалів – зможуть кардинально зменшити витрати на підземне будівництво зазначених об'єктів, підвищити якість і ефективність прохідницьких робіт.

Проф. Олександр Пассек у згадуваній роботі [1] пояснював гальмування розвитку підводного тунелярства (зокрема розробленого перед Першою світовою війною проекту тунельного переходу р. Волга в районі Нижнього Новгороду) впливами «консервативно налаштованого інженерства й потужних торгових фірм, що мали великі запаси мостового обладнання». З часу виходу книги проф. О.М. Пассека пройшло понад 80 років, але перша її фраза «Підводних тунелів у Союзі поки що немає жодного» з заміною «Союзу» на «Україну» залишається, нажаль, актуальною. Більше того, навіть деякі причини цього становища співпадають. Будемо сподіватися, що з нагоди 200-річчя першого підводного щитового тунелю (2025 р.) Україна зможе продемонструвати українцям і світові свій перший підводний тунель.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Пассек А.Н., 1933.** Подводные тоннели. Москва, Трансжелдориздат, 220.
2. **Самедов А.М., Кравець В.Г., 2011.** Будівництво міських підземних споруд. Київ, НТУУ КПІ, 400.
3. **Лысиков Б.А., Каплюхин А.А., 2005.** Использование подземного пространства. Донецк, Норд-Пресс, 348.
4. **Ієвлева В.** 2008. Пам'ятки індустріального розвитку Києва. Київ, Прес-КІТ, 248.
5. **Козлов К.П., 2011.** Київський метрополітен: Хронологія. Події. Київ, Факти, 256.

6. **Zakharchenko P.V., Haiko G.I., 2015.** Kyiv Forecast of development of infrastructure in the short term. Kyiv. Regional policy, legislative regulation and practical implementation, 25-33 (in Ukrainian).
7. **Haiko G.I., Kravets V.G., Bulgakov V.P., Haiko Y.I., 2015.** Freight-oriented natural-technical geosystem Geourbanistics - heolohichne environment. Vestnik NTU KPI. A series Mining. Vol.29, 18-24 (in Ukrainian).
8. **The general plan m. Kyiv.** The main provisions, 2011. Kyiv, Institute of General Plan (in Ukrainian).
9. <http://autoportal.ua/articles/dorogi/18803.html>.
10. **Grishin V., Hembarsky L., Snisarenko V., 2015.** Existing and projected artificial islands and their purpose. Underwater Technology, 2015, Vol.02, 32-39 (in Ukrainian).
11. **Tajdus A., Cala M., Tajdus K., 2012.** Geomechanics in underground construction. Design and construction of tunnels. Krakow, AGH, 762 (in Poland).
12. **Haiko G.I., Bulgakov V.P., 2014.** Metropolis as a system of ground and underground urban. Krivoy Rog. The quality of mineral raw materials, 315-321 (in Ukrainian).
13. **Pankratova N.D., Haiko G.I., Kravets V.G., Savchenko I.A., 2016.** Problems of megapolises underground space system planning. Journal of Automation and Information Sciences, 101-107 (in Russian).
14. **Iryna Ustinova, 2015.** Theoretical principles of wave urbanistics. Underwater Technology, 2015, Vol.01, 33-42.
6. **Захарченко П.В., Гайко Г.І., 2015.** Прогноз розвитку інфраструктури Києва в короткотерміновій перспективі. Праці 1-ї МНПК Регіональна політика: законодавче регулювання та практична реалізація. Київ, КНУБА, 25-33.
7. **Гайко Г.І., Кравець В.Г., Булгаков В.П., Гайко Ю.І., 2015.** Транспортно-орієнтована природничо-технічна геосистема геоурбаністика – геологічне середовище. Вісник НТУУ КПІ. Серія Гірництво. Вип.29, 18-24.
8. **Генеральний план м. Києва.** Основні положення, 2011. Київ, Інститут генерального плану м. Києва.
9. <http://autoportal.ua/articles/dorogi/18803.html>.
10. **Гришин В., Гембарський Л., Снісаренко В., 2015.** Існуючі й проєктовані штучні острови та їх призначення. Підводні технології, 2015, Вип.02, 32-39.
11. **Tajdus A., Cala M., Tajdus K., 2012.** Geomechanika w budownictwie podziemnym. Projektowanie i budowa tuneli. Krakow, AGH, 762.
12. **Гайко Г.І., Булгаков В.П., 2014.** Мегapolis як система наземної та підземної урбаністики. Кривий Ріг. Якість мінерального сировини, 315-321.
13. **Панкратова Н.Д., Гайко Г.І., Кравець В.Г., Савченко І.А., 2016.** Проблеми системного планування підземного простору мегаполісів. Міжнародн. наук.-техн. журнал Проблеми управління та інформатики, 101-107.
14. **Iryna Ustinova, 2015.** Theoretical principles of wave urbanistics. Underwater Technology, Vol.01, 33-42.

Модель оцінки ефективності роботи нерегульованих перетинів на вулично-дорожній мережі Києва

Микола Осетрін, Дворко Олексій

Київський національний університет будівництва і архітектури
Повітрофлотський просп, 31, Київ, Україна, 03037
oleksiy91@ukr.net, orcid.org/0000-0002-6385-4463

Анотація. Підвищення вимог до функціонування вулично-дорожньої мережі (ВДМ) міста породжує проблему в ефективному функціонуванні елементів мережі – вулиць (доріг) та їх перетинів. Простими перетинами у загальному випадку називають такі, на яких відсутнє регулювання руху за допомогою засобів світлофорної сигналізації. Вони складають близько 40 % всіх вулично-дорожніх перетинів в великих містах, таких як Київ [3 – 5]. Тому завдання дослідження ефективного функціонування цих вузлів є актуальним для міста. Провівши аналіз нормативних документів України, було встановлено, що даних, там наведених, недостатньо для оцінки ефективності простих перетинів. Для такої оцінки було запропоновано таксономічний метод, що показує загальний коефіцієнт ефективності за заданим набором критеріїв. Було проведено натурні обстеження простих перетинів центральної зони м. Києва (на листопад 2015 р.), в ході яких було зібрано дані, необхідні для оцінки їх ефективності. На основі цієї оцінки буде дано рекомендації по планувальним рішенням даного типу перетинів.

Ключові слова: вулично-дорожня мережа; простий перетин; оцінка ефективності; критерії ефективності, таксономічний метод.

ВСТУП

Сукупність вулиць, міських доріг, площ та перетинів утворюють вулично-дорожню мережу (ВДМ). Вулична мережа визначає планувальну структуру міста, вона неоднорідна і складається із магістральних вулиць та вулиць місцевого значення. Основу ВДМ складають магістральні вулиці і дороги, на які припадає переважна більшість міського транспортного потоку [1]. Основні проблеми, пов'язані із організацією дорожнього руху, зосереджені на вузлах ВДМ – перетинах вулиць і доріг. Всі перетини на ВДМ поділяють на чотири класи за способом організації дорожнього руху [2]:

- нерегульовані (прості)
- регульовані
- саморегульовані
- перетини у різних рівнях

У великих містах України частка простих перетинів, які влаштовуються переважно на перетинанні житлових вулиць, складає 40 %, тому дослідження їх ефективного функціонування і використання результатів цих досліджень є важливим фактором забезпечення ефективності роботи всієї ВДМ міста.

Ідеєю дослідження є дослідження впливу планувального рішення простого перетину на ефективність його функціонування. Для кожної категорії магістралей встановлюються свої вимоги до інтенсивності руху, швидкості руху, кількості смуг руху і т.д. Можна сказати, що категорійність магістралей є одним із визначальних факторів, які враховуються при виборі типу перетину за організацією дорожнього руху. Проте наяв-

них нормативних даних для обґрунтування вибору типу перетину за критеріями ефективності, які ми для себе можемо виділити – мінімізація часу на пересування, забезпечення пропускну здатності перетину та безпеки руху – у вищенаведених документах вкрай недостатньо. Недостатньо досліджено і екологічний вплив планувального рішення перетину на оточуюче середовище.

Тому **метою** дослідження є розробка моделі оцінки ефективності роботи простих перетинів та зазначення необхідних для цього критеріїв з урахуванням їхньої пріоритетності.

Провівши аналіз наукових статей [6 – 9], можна зробити висновки, що робота над створенням комплексної моделі оцінки ефективності простих перетинів в Україні не проводилась. Цікаві і корисні для даної теми будуть роботи [6] та [8], де автори подають методуку і принципи оцінки ефективності простого перетину із залученням робіт західноєвропейських та японських авторів. Проте в жодній із даних статей не згадано про вплив територіальної структури міста на роботу перетину та не наведені відповідні показники, які б характеризували вплив тої чи іншої функціональної зони міста. Не вказано також і екологічний вплив перетину на прилеглу територію.

ПРО МЕТОДИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРОСТОГО ПЕРЕТИНУ

Поняття «ефективність» у загальному розумінні означає відношення отриманого результату до витрачених ресурсів. Наприклад, економічна ефективність – це відношення економічного результату (ефекту) до затрат факторів виробничого процесу [10]. Оскільки дорожньо-транспортні перетини прямого економічного прибутку не дають, то дати оцінку ефективності планувальних рішень цих вузлів можна шляхом порівняльного аналізу варіантів існуючих споруд чи проектних рішень перетинів вулиць і доріг [2]. Головним завданням в оцінці ефективності роботи простого перетину є

правильний вибір критеріїв оцінки, оскільки за різними критеріями ефективність роботи буде відрізнятися.

Над тим, чи ефективно будуть працювати дорожньо-транспортні вузли (зокрема нерегульовані перетини) або вся ВДМ міста в цілому, містобудівники і транспортники почали замислюватись вже у повоєнні роки, коли у деяких країнах Західної Європи і колишньому СРСР були розроблені перші класифікації елементів ВДМ та нормативні документи, що регламентують вимоги до них. Однією із перших наукових робіт, у якій піднімається проблема підвищення функціонування транспортної інфраструктури, є робота польського математика З. Хеллвіга [11]. В цій науковій праці автор представив концепцію *показника рівня розвитку*, який можна інтерпретувати як *ефективність роботи деякої системи* (напр., транспортної).

У 1960-70-х рр. із розвитком обчислювальної техніки з'явилися методи таксономічного аналізу, які і досі широко застосовуються в різноманітних областях соціально-економічних і транспортних досліджень. Основою цих методів є термін *порівняльний багатовимірний аналіз (ПБА)*. Походження цього терміну пояснюється використанням в таксономічних методах поняття *багатовимірний об'єкт*, під яким розуміють або статистичну одиницю, яка визначається набором значень ознак, або ознака, яка задається її значеннями на окремих статистичних одиницях.

Порівняльний багатовимірний аналіз включає в себе ряд методів, що служать для вияву закономірностей в статистичних множинах, одиниці яких описуються численним набором ознак [12]. Структура методів ПБА наступна:

- таксономічний метод – метод упорядкування (показник рівня розвитку або ефективності функціонування), методи розбиття (метод Чекановського, метод кругів), методи вибору репрезентативних груп);
- факторний аналіз – метод головних компонент, кореляційний аналіз, метод максимальної достовірності.

Для оцінки ефективності роботи простого перетину пропонується використання методу упорядкування. Цей метод оцінки, який було запропоновано ще у 1970-ті рр. [11], характеризується відносною простотою обчислень, які можна автоматизувати за допомогою програмного забезпечення MS Excel, та невеликим набором ознак, які визначають типи перетинів. Хоча, чим більша кількість ознак, тим точніша загальна оцінка ефективності роботи вузла. У загальному вигляді блок-схему дослідження ефективності роботи транспортного вузла у матричній формі за допомогою таксономічних методів зображено на Рис.1.

Вихідним і одночасно найважливішим кроком, який визначає правильність кінцевих результатів, є формування *матриці спостережень* T . Вона формується так: маємо множину із w елементів (напр., напрямки руху транспортного потоку на нерегульованому перетині), яка описується n ознаками (час на пересування, викиди шкідливих речовин і т.д.). Тоді кожну одиницю із множини w можна інтерпретувати, як точку n -вимірного простору із координатами, рівними значенням n ознак для розглядуваної одиниці. [13, 14]. Матриця спостережень записується у вигляді

$$T = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} & \dots & t_{1k} & \dots & t_{1n} \\ t_{21} & t_{22} & \dots & t_{2k} & \dots & t_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{i1} & t_{i2} & \dots & t_{ik} & \dots & t_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{w1} & t_{w2} & \dots & t_{wk} & \dots & t_{wn} \end{pmatrix},$$

де w – число статистичних одиниць (об'єктів досліджень); n – число ознак; t_{ik} – значення ознаки k для одиниці i .

Ознаки, які входять в матрицю спостережень,

неоднорідні, оскільки описують різні властивості об'єктів. Крім того, відрізняються одиниці їх виміру. Тому належить провести попереднє перетворення, що називається *стандартизацією ознак* – приведення їх до статистичної однорідності. Це перетворення кожної одиниці матриці T проводиться за формулою:

$$z_{ik} = \frac{x_{ik} - x_k^{\text{сеп.}}}{s_k}$$

причому:

$$x_k^{\text{сеп.}} = \frac{1}{w} \times \sum_{i=1}^w x_{ik},$$

$$s_k = \sqrt{\left(\frac{1}{w} \times \sum_{i=1}^w (x_{ik} - x_k^{\text{сеп.}})^2 \right)},$$

де $k = 1, 2, \dots, n$; x_{ik} – значення ознаки k для одиниці i ; $x_k^{\text{сеп.}}$ – середнє арифметичне значення ознаки k ; z_{ik} – стандартизоване значення ознаки k для одиниці i .

Після стандартизації обчислюють коефіцієнти ієрархії кожної ознаки, що дозволяє розрізнити їх за важливістю. Вони встановлюються на основі якісного аналізу, і доцільність їх введення у модель оцінки ефективності визначається точністю дослідження.

Наступним кроком у розглядуваній процедурі є умовний поділ ознак матриці спостережень на стимулятори і дестимулятори. Ознаки, що зі зростанням свого значення підвищують ефективність функціонування перетину, вважають *стимуляторами*, а ознаки, що зі зростанням свого значення понижують ефективність, вважають *дестимуляторами*.

Розподіл ознак на ці дві категорії служить основою для побудови так званого *еталону розвитку*, який являє собою точку P_0 з координатами $z_{01}, z_{02}, \dots, z_{0n}$,



Рис. 1. Узагальнена схема дослідження простого перетину за допомогою методу ПБА

Fig. 1. General scheme of studies simple cross section using the method of MCA

де

$$z_{0s} = \max_r z_{rs}, \text{ якщо } S \in I;$$

$$z_{0s} = \min_r z_{rs}, \text{ якщо } S \notin I.$$

Тут I – множина стимуляторів; z_{rs} – стандартизоване значення ознаки s для одиниці r .

Відстань між окремими точками-одиницями і точкою P_0 (еталон розвитку) позначається c_{i0} і розраховується за формулою

$$c_{i0} = \sqrt{\sum_{s=1}^n (z_{is} - z_{0s})^2}.$$

Отримані відстані служать вихідними величинами для розрахунку показника ефективності функціонування d_i :

$$d_i = \frac{c_{i0}}{c_0},$$

звідки

$$c_0 = \bar{c}_0 + 2S_0;$$

$$\bar{c}_0 = \frac{1}{W} * \sum_{i=1}^W c_{i0};$$

$$S_0 = \sqrt{\frac{1}{W} * \sum_{i=1}^W (c_{i0} - \bar{c}_0)^2}.$$

Проте на практиці застосовують модифікований коефіцієнт ефективності d_i^*

$$d_i^* = 1 - \frac{c_{i0}}{c_0}.$$

Чим ближче знаходиться цей показник до 1, тим ефективніша одиниця. Далі застосовують «метод радару», за допомогою якого визначається інтегральний показник ефективності K . Інтегральним показником ефективності перетину є відносна площа радару, побудованого всередині оціночного круга по вищевказаних показниках d_i^* для кожного напрямку руху (Рис. 2). Інтегральний показник K вираховується за формулою

$$K = S_r/S,$$

де S – площа оціночного круга; S_r – площа радару,

$$S_r = 0,5(\sin \alpha) \cdot (a_1 \cdot a_2 + a_2 \cdot a_3 + \dots + a_n \cdot a_{n-1})$$

де α – внутрішній кут між осями показників радару; a_1, a_2, \dots, a_n – показники ефективності за напрямками руху.

$$S = \pi R^2$$

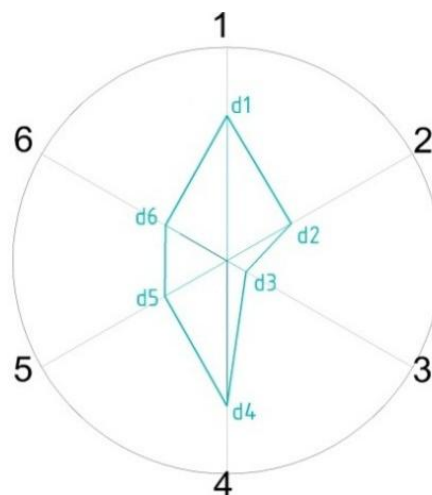


Рис. 2. Радар ефективності перетину
Fig. 2. Radar crossing performance

Пропонується виділити наступні критерії, за якими буде проведено попередню оцінку ефективності роботи нерегульованого перетину:

- 1) транспортні витрати на проїзд, млн грн.;
- 2) затримка руху на перетині, с;
- 3) довжина черги 95% забезпеченості, м;
- 4) коефіцієнт зниження швидкості;
- 5) – 11) – викиди шкідливих речовин, відповідно – CO, NO₂, CH, SO₂, Pb, CH₂O (г/с) та шумове забруднення, дБА;
- 12) шум прискорення за напрямками, м/с²;
- 13) показник безпеки руху на перетині;
- 14) рівень завантаженості перетину;
- 15) комфортність руху;
- 16) коефіцієнт оглядовості;
- 17) пропускна здатність перетину за напрямками, авт/год.

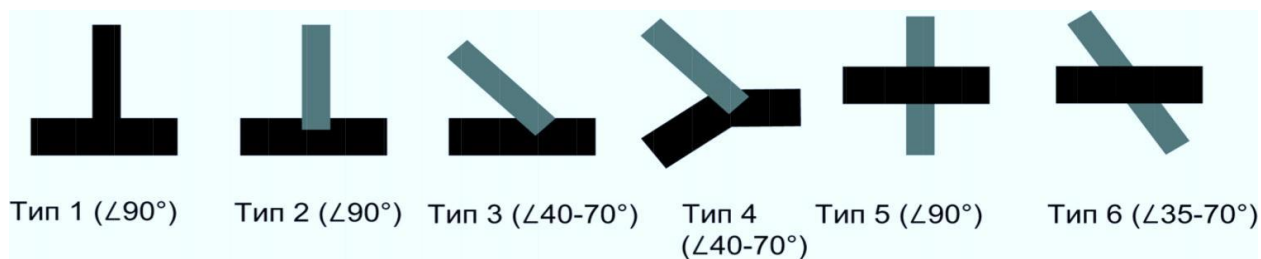


Рис. 3. Типи простих перетинів в центральній зоні м. Києва
Fig. 3. Types of simple intersections in the Central zone of Kyiv

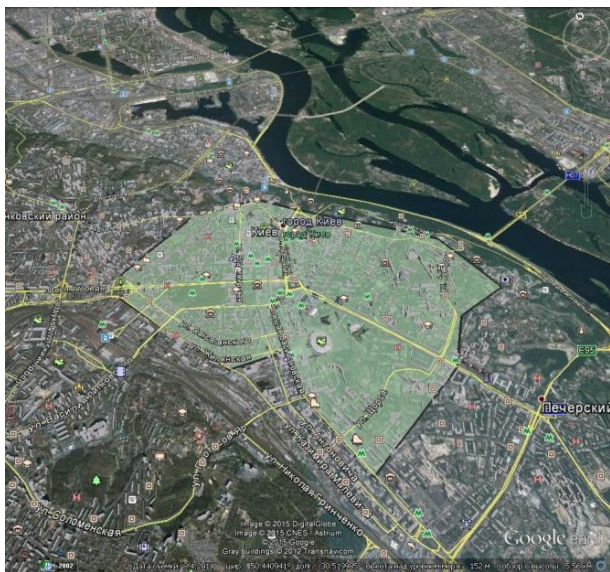


Рис. 4. Центральна зона м. Києва
Fig. 4. The Central zone the city of Kyiv

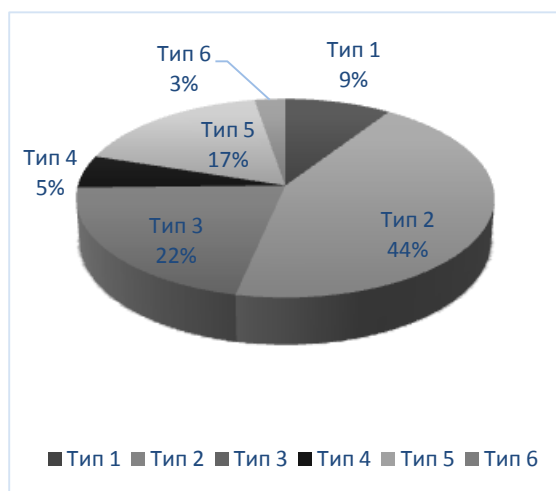


Рис. 5. Процентний склад типів простих перетинів в центральній зоні м. Києва
Fig. 5. The percentage composition of types of simple intersections in the Central area of Kyiv

Проведено аналіз стану ВДМ центральної зони м. Києва (Рис. 4) за допомогою інтернет-сервісу Яндекс.Панорами, що дозволив виявити і систематизувати існуючі нерегульовані перетини за геометричною ознакою (Рис. 3 і 5). Загалом кількість простих перетинів в центральній зоні м. Києва складає 75 вузлів. Більшість із них представлені найпростішим типом – примикання другорядної вулиці до головної під кутом $87...90^\circ$ (Рис. 3, тип 2.). У період з 19 червня по 16 листопада 2015 р. були проведені натурні обстеження характерних типів перетинів (8 вузлів). В ході цих обстежень було зафіксовано величини інтенсивності транспорту та пішоходів, проведено заміри швидкостей руху транспорту і час

На Рис. 6 показано типовий нерегульований перетин вул. Є. Коновальця – вул. Літньої у Печерському районі м. Києва.

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ПЕРЕТИНІВ

Автотранспорт дає близько 70% усіх токсичних викидів у атмосферу та 90% шумового забруднення в містах. Склад і зміст оцінки впливу шкідливих об'єктів на навколишнє середовище (ОВНС) в містобудівній проектній документації визначається в Україні ДБН А.2.2-1-2003 [14], а за кордоном комплексом нормативів під загальною назвою «Environmental Impact Assessment» (EIA).



Рис. 6. Перетин вул. Є. Коновальця – вул. Літня у Печерському районі м. Києва (тип 2)

Fig. 6. The intersection E. Konovaltsya str. – Litnya str. in the Pechersk district of Kyiv (2 type)

Метою ОВНС є забезпечення гарантій суспільству з недопущення негативних екологічних наслідків реалізації запроєктованої господарської діяльності, нормалізація умов оточуючого природного, техногенного і соціального середовища [14]. Головна концепція ОВНС – реконструкція існуючих об'єктів і будівництво нових – є основним важелем нормалізації умов оточуючого природного, техногенного і соціального середовища. Концептуальне завдання ОВНС – поступова нормалізація екологічної ситуації на території України [19, 20].

При існуючому рівні технології автотранспортні засоби викидають в атмосферне повітря близько 200 шкідливих речовин. Перелік інгредієнтів негативного впливу автотранспорту (ранжируваний за ступенем негативного впливу в умовах м. Києва), який включається в матеріали ОВНС за українськими нормами [14 – 17], де C – концентрація речовини, мг/м^3 ; $L_{\text{д.екв}}$ – еквівалентний рівень шуму, дБА

Найбільш розробленим і відпрацьованим в Україні на даний момент є метод розрахунку основних параметрів забруднення повітряного басейну, що реалізує методика ОНД-86. Він умовно називається «метод

Б.В. Солухи», бо він, проаналізувавши безліч наукових і практичних робіт, наситив і збагатив цю методика даними, які дають можливість повніше враховувати дорожні умови, характеристики транспортних потоків, методи регулювання руху. Таким методом наразі провадяться розрахунки шкідливих викидів автотранспортом у провідних проектних організаціях України.

Для аналізу ефективності впливу дорожньо-транспортного об'єкта на стан повітряного басейну був розглянутий також програмний метод «АТП-Еколог» і виконані розрахунки основних параметрів забруднення обома методами для одного й того ж вузла.

При русі через перетин розрахунок викидів відрізняється від способів розрахунку викидів при проїзді через перегін. У роботах різних авторів визначена залежність швидкості руху $V(R)$ при гальмуванні від відстані $R_{\text{пер}}$ (м) до перепони [18, 19]. Дані натурних вимірів добре апроксимуються експоненціальними залежностями. Для регульованого перехрестя із зупинкою перед світлофором

$$V_{R.\text{пер.}} = V_{\text{сер.}} \cdot (1 - e^{-0,018R_{\text{пер}}})$$

Для нерегульованого перехрестя без обов'язкової зупинки, зупинки громадського транспорту або пішохідного переходу:

$$V_{R.\text{пер.}} = V_{\text{сер.}} \cdot (1 - 0,6e^{-0,02R_{\text{пер.}}})$$

Відповідно режими зупинки (гальмування) і розгону описуються експоненційними залежностями з урахуванням інтервалів $T_{\text{зуп.}}$ і $T_{\text{роз.}}$ і досягнення 95,0 % рівня сталого режиму. При оцінках викидів слід враховувати, що під час гальмування на дорозі в нормальному стані більшість водіїв переключує коробку передач у нейтральне положення, і двигун досить швидко переходить в режим холостого ходу. Гальмування з підключеним двигуном здійснюється лише при мокрому і заледенілому покритті. Для розрахунку середніх добових викидів необхідно задавати імовірність дощів і

ожеледиці для режиму гальмування з підключеним двигуном, а в інших випадках ураховувати реакцію водія, що за П.В. Русевським становить 1,3...3,0 с.

Річна маса викидів i -ої забруднюючої речовини $M_{\text{рік},i}$ визначається окремо для кожного джерела викидів $D_{\text{мн}}$ на розрахунковій ділянці на ВДМ міста. Річні маси викидів усіх джерел $D_{\text{мн}}$ підсумовуються в межах розрахункової ділянки. Для окремого джерела викидів:

$$M_{\text{рік},i} = M_{\text{р},i} \cdot 3600K_{\text{добі}} \cdot 365K_{\text{сез}} \cdot 10^{-6},$$

де $M_{\text{р},i}$ – річний викид i -тої речовини на даній ділянці, т/рік;

$M_{\text{р},i}$ – максимальна разова маса викидів i -тої речовини з джерела $D_{\text{мн}}$, г/с;

$K_{\text{добі}}$ = (6,45...15,4) в містах України;

$K_{\text{сезон}}$ – коеф. сезонної нерівномірності руху.

ВИСНОВКИ

1. Для міста Києва наразі є актуальною проблема забезпечення пропускної здатності як ВДМ в цілому, так і її окремих вузлів – вулиць та їх перетинів. Прості перетини займають близько 40% від загальної кількості вузлів ВДМ у м. Києві, тому дослідження їх роботи та визначення критеріїв ефективного їх функціонування є важливою частиною комплексного завдання підвищення ефективності роботи всієї ВДМ.

2. Запропоновано один із методів оцінки ефективності перетинів – таксономічний метод (метод упорядкування), характерною рисою якого є відносна простота обчислень і легке переведення їх у автоматизований вигляд (напр., із застосуванням MS Excel). Недоліком цього методу є відсутність взаємозв'язку між ознаками, що характеризують напрямки руху на перетині.

3. Проведено натурні обстеження центральної зони м. Києва, в ході яких було зібрано вихідні дані для моделювання роботи перетину – інтенсивність руху транспорту та пішоходів, швидкість руху, шум прискорення, заміряні геометричні харак-

теристики перетинів. На основі цих даних були проведені моделювання роботи перетинів із використанням програмного забезпечення PTV VISSIM, і було зроблено висновки, що моделювання ситуації не зовсім відповідає реальній.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Страментов А.Е., Меркулов Е.А., 1965** Городские улицы и дороги. Москва, ИЛПС, 396.
2. **Осєтрін М.М., 1997.** Міські дорожньо-транспортні споруди. Навч. посібник для студентів ВНЗ. Київ, ІЗМН, 196.
3. **ДБН 360-92**** Планування і забудова міських та сільських поселень. Київ, 91.
4. **ДБН В.2.3-5-2001** Вулиці та дороги міських та сільських населених пунктів. Київ, 50.
5. **Генеральний план міста Києва на період до 2020 року (діючий).** Основні положення, 2001, 69.
6. **Чикалин Е.В., 2013.** Повышение эффективности организации дорожного движения в зонах нерегулируемых пешеходных переходов: автореф. дисс. на соискание учёной ст. канд. тех. наук. Иркутск, Иркутский государственный технический университет, 20.
7. **Булавина Л.В., 2009.** Расчёт пропускной способности магистралей и узлов: учебное электронное издание. Екатеринбург, ГОУ ВПО Уральский государственный технический университет, 44.
8. **Наумова Н.А., Данович Л.М., 2009.** Алгоритм определения эффективности организации движения на нерегулируемом пересечении. Журнал Успехи современного естествознания, Вип.8, 18.
9. **Михайлов А.Ю., 2004.** Научные основы проектирования улично-дорожных сетей: автореф. дисс. на соискание учёной ст. доктора тех. наук. Иркутск, Иркутский государственный технический университет, 38.
10. **Щербаков А.И., 2004.** Совокупная производительность труда и основы её государственного регулирования. Монография. Москва, Издательство РАГС, 250.
11. **Хеллвіг З., 1968.** Застосування таксономічних методів до типологічного поділу країн залежно від їх рівня розвитку та структури

- зайнятого населення, Статистичний огляд, Вип.4.
12. **Веслав Плюта, 1989.** Сравнительный многомерный анализ в экономических исследованиях. Москва, Финансы и статистика, 223.
 13. **ДБН А.2.2.1-2003.** Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд. Основні положення проектування. Київ, Держбуд України, 19.
 14. **ОНД-86 04-41259-4, 1987.** Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Ленинград, Гидрометеиздат, 92.
 15. **Пособие по разработке раздела проекта (рабочего проекта) Охрана окружающей природной среды к СНиП 1.02.01-85, 1989.** Москва, ЦНИИпроект Госстроя СССР, 187.
 16. **ДСП 173-96, 1996.** Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. Київ, МОЗ України, 84.
 17. **Сосни Я., 1975.** Потеря времени на перекрестках с жесткой программой светофорной сигнализации. Москва Безопасность дорожного движения: сб. рефер., переводов. Вип.27. МВД СССР.
 18. **Косолапов Г.М., 1989.** Влияние скоростных режимов транспортных потоков в зоне перекрестка на городскую среду. Сб. научн. тр. Защита городской среды от воздействия автомобильного транспорта. Волгоград, Изд. ВолгПИ.
 19. **Ustinova I., 2015.** Theoretical principles of wave urbanistics. Underwater technologies, Vol.01, 33-42.
 20. **Осетрін М., Бондар О., 2016.** Містобудівний досвід реалізації кільцевого принципу організації руху транспорту на підходах до мостів. Підводні технології, Вип.03, 75-82.
 4. **ДБН В.2.3-5-2001.** Vulyci ta dorogy mis'kyh ta sil's'kyh naselenyh punktiv. Kyiv, 50 (in Ukrainian).
 5. **General'nyj plan mista Kyjeva na period do 2020 roku (dijuchyj).** Osnovni polozhennja, 2001, 69 (in Ukrainian).
 6. **Chikalin E.V., 2013.** Povyshenie jeffektivnosti organizacii dorozhnogo dvizhenija v zonah nereguliruemyh peshehodnyh perehodov: avtoref. diss. na soiskanie uchjonoj st. kand. teh. nauk. Irkutsk, Irkutsij gosudarstvennyj tehničeskij universitet, 20 (in Russian).
 7. **Bulavina L.V., 2009.** Raschjot propusknoj sposobnosti magistralej i uzlov: učeбноe elektronnoe izdanie. Ekaterinburg, GOU VPO Ural'skij gosudarstvennyj tehničeskij universitet, 44 (in Russian).
 8. **Naumova N.A., Danovich L.M., 2009.** Algoritm opredelenija jeffektivnosti oraniza-cii dvizhenija na nereguliruemom perseče-nii. Zhurnal Uspehi sovremennogo estestvoznanija, Vyp.8, 18 (in Russian).
 9. **Mihajlov A.Ju., 2004.** Nauchnye osnovy proektirovanija ulično-dorozhnyh setej: avtoref. diss. na soiskanie uchjonoj st. doktora teh. nauk. Irkutsk, Irkutsij gosudarstvennyj tehničeskij universitet, 38 (in Russian).
 10. **Shherbakov A.I., 2004.** Sovokupnaja proizvoditel'nost' truda i osnovy ejo gosudarstvennogo regulirovanija. Monografija. Moskva, Izdatel'stvo RAGS, 250 (in Russian).
 11. **Hellvig Z., 1968.** Zastosuvannja taksonomičnih metodiv do tipologičnogo podilu kraїн zalezžno vid ih rivnja rozvitku ta strukturi zajnjatogo naselennja, Statističnij ogljad, Vyp.4 (in Ukrainian).
 12. **Veslav Pljuta, 1989.** Sravnitel'nyj mnogomernyj analiz v jekonomičeskijh issledovanijah. Moskva, Finansy i statistika, 223 (in Russian).
 13. **ДБН А.2.2.1-2003.** Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд. Основні положення проектування. Київ, Держбуд України, 19 (in Ukrainian).
 14. **ОНД-86 04-41259-4, 1987.** Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Ленинград, Гидрометеиздат, 92 (in Russian).
 15. **Пособие по разработке раздела проекта (рабочего проекта) Охрана окружающей природной среды к СНиП 1.02.01-85, 1989.** Мо-

REFERENCES

1. **Stramentov A.E., Merkulov E.A., 1965.** Gorodskie ulicy i dorogi. Moskva, ILpS, 396 (in Russian).
2. **Osjetrin M.M., 1997.** Mis'ki dorozhn'o-transportni sporudy. Navch. posibnyk dlja studentiv VNZ. Kyiv, IZMN, 196 (in Ukraine).
3. **ДБН 360-92**.** Planuvannja i zabudova mis'kyh ta sil's'kyh poselen'. Kyiv, 91 (in Ukrainian).

- skva, CNIiproekt Gosstroja SSSR, 187 (in Russian).
16. **DSP 173-96, 1996.** Derzhavni sanitarni pravyla planuvannja ta zabudovy naselenyh punktiv. Kyi'v, MOZ Ukrai'ny, 84 (in Ukrainian).
 17. **Sosni Ja., 1975.** Poterja vremeni na perekrestkah s zhestkoj programmoj svetofornoj signalizacii. Moskva Bezopasnost' dorozh-nogo dvizhenija: sb. refer., perevodov, Vyp.27. MVD SSSR (in Russian).
 18. **Kosolapov G.M., 1989.** Vlijanie skorostnyh rezhimov transportnyh potokov v zone perekrestka na gorodskuju sredu. Sb. nauchn. tr. Zashhita gorodskoj sredy ot vozdeystvija avtomobil'nogo transporta. Volgograd, Izd. VolgPI (in Russian).
 19. **Ustinova I., 2015.** Theoretical principles of wave urbanistics. Underwater technologies, Vol.01, 33-42.
 20. **Osjetrin M., Bondar O., 2016.** Mistobudivnyj dosvid realizacii' kil'cevogo pryncypu organizacii' ruhu transportu na pidhodah do mostiv. Pidvodni tehnologii', Vyp.03, 75-82.

Environmental criteria in a model assessment of the effectiveness of simple intersections on the road network of Kyiv

Mykola Osyetrin Oleksiy Dvorko

Kyiv National University of Construction and Architecture

Povitroflotskyj prosp., 31, Kyiv, Ukraine, 03037, oleksiy91@ukr.net
 orcid.org/0000-0002-6385-4463

Summary. The increasing requirements for operation of the road-street network (RSN) of the city creates the problem in the efficient operation of network elements – the streets (roads) and their intersections. Simple intersections in the General case call, where there is no regulation of transport traffic through means traffic light alarm. They constitute the near 40% of all road intersections in big cities such as Kiev. Therefore, the objective of the study the effective functioning of these nodes is relevant to the city. After analyzing the normative documents of Ukraine, it was found that the data presented there is insufficient to assess effectiveness of simple cross-sections. For this assessment proposed a taxonomic method that shows the overall efficiency coefficient for a given set of criteria. Were conducted full-scale examination of simple cross-sections of the Central area of Kiev (in November 2015), during which data were collected needed to assess their effectiveness. On the basis of this assessment will be recommendations on planning decisions of this type of cross-sections.

Key words: the road network, intersection of simple, performance evaluation, performance criteria, taxonomic method.

Determination of critical load of elastic steel column based on experimental data

Sergii Bilyk

Kyiv National University of Construction and Architecture
Povitroflotskyi prosp., 31, Kyiv, Ukraine, 03037
vartist@ukr.net, orcid.org/0000-0001-8783-5892

Summary. We have developed a general approach for assessing critical-strength for the central-compressed steel elements, what have an initial imperfections. The method is made on the basis of experimental data. The method is a development of the method Tymoshenko-Southwell. In work we show of the solutions several tasks. We demonstrate the possibility to determine of critical-strength for the central-compressed steel elements on the basis of experimental data initial geometric imperfections. The results can be used at checking the technical condition of the Central compressed rod in the survey metal structures trusses, columns, structural designs.

Key words: steel structures, stability, buckling, steel elements, slenderness, reduction factor for buckling, initial deflection, residual stresses initial imperfections, the critical force, method Tymoshenko-Southwell.

INTRODUCTION

The fundamental the methodology of buckling of columns is developed the hundreds years and in solving of the problem to determine of critical-strength for central-compressed steel elements is research [2 – 7].

Separate important task to determine the stability of the rods is to analyze the influence of initial imperfections [1, 8 – 11].

With the technical inspection of steel structures no data on initial deflection longitudinal bending of the compressed elements with initial imperfections [13, 14 – 17]. So it is important improve the method of finding of critical load the elements by measurement of deflec-

tion of the strut. [18 – 22]. This methodic makes it possible to determine the critical force based on experimental data.

Analysis of experimental data centrally compressed bars dedicated a number of outstanding works [3, 5, 7, 10, 13].

In the article the theoretical studies analyzing experimental data of elastic central-compressed steel elements with initial geometric imperfections.

PURPOSE AND METHODS

This methodology of buckling of columns with initial imperfections is based upon of research Tymoshenko S.P. and Southwell R.V. [2, 7].

But there is a need on synthesis methodology for the analysis of experimental data centrally compressed bars considering initial geometric imperfections.

The purpose of research, which set out in Article, is generalization theoretical approach to the analysis of the stability of the central-compressed steel element with the initial geometric imperfections. Research Methods based on analytical studies of centrally compressed rod with initial imperfections.

The initial imperfections is initial geometric imperfections, initial deflections, random eccentricities application of longitudinal force. So buckling centrally compressed rod with initial imperfections we see to as a deformation the noncentral-compressed element.

RESULTS AND DISCUSSION

The general equation buckling noncentral-compressed element has recording in the form of linear differential equation:

$$\eta'' + k^2\eta = -k^2 \cdot (\delta_{f0} \sin(\pi z/l) + e_b), \quad (1, a)$$

де $k^2 = Nl^2 / (EI_x)$.

Differential equation (1, a) is second order linear nonhomogeneous differential equation. The general solution of this differential equation (1, a) has unknown factors that depend on the boundary conditions of strut.

The general solution of the second order nonhomogeneous linear equation can be writing in the form.

$$\eta = C_1 f_m \sin(kz/l) + C_2 f_m \cos(kz/l) - C_3 \delta_{f0} \sin(\pi z/l) - e_b. \quad (1, b)$$

In (1, b) $\eta_{gs} = C_1 f_m \sin(kz/l) + C_2 f_m \cos(kz/l)$ is a general solution of the corresponding homogeneous equation, $\eta_{ps} = -C_3 \delta_{f0} \sin(\pi z/l) - e_b$, is any specific function (particular solution) that satisfies the nonhomogeneous equation (1, a).

Special function η_{ps} can be represented as the sum of two functions:

$$\eta_{ps} = \eta_{ps\delta} + \eta_{psb}. \quad (1, c)$$

Partial solution $\eta_{ps\delta}$ to the differential equation (1, a) provides a formula for determining factor C_3 .

$$\begin{aligned} \eta_{ps\delta} &= C_3 \delta_{f0} \sin(\pi z / l) \\ \eta'' + k^2\eta &= -k^2 \cdot \delta_{f0} \sin(\pi z / l), \\ -\pi^2 C_3 \delta_{f0} \sin(\pi z / l) + k^2 C_3 \delta_{f0} \sin(\pi z / l) &= \\ = -k^2 \cdot \delta_{f0} \sin(\pi z / l) - \pi^2 C_3 + k^2 C_3 &= -k^2 \cdot \delta_{f0}. \\ C_3 &= -\frac{k^2}{-\pi^2 + k^2} = \frac{1}{\frac{\pi^2}{k^2} - 1}. \end{aligned} \quad (1, d)$$

For element, which has boundary conditions of: hinged – hinged, and which load is noncentral compressing, we have decision without initial bend initial imperfections.

$$\eta = C_1 f_m \sin(kz/l) + C_2 f_m \cos(kz/l) - e_b. \quad (2, a)$$

Boundary conditions of: hinged – hinged is in form writing.

$$z = 0, \eta_0 = 0. \quad z = l, \eta_0 = 0.$$

These boundary conditions give a system of linear inhomogeneous equations and can be expressed in the form.

$$\begin{aligned} C_2 f_m - e_b &= 0, \\ C_1 f_m \sin(k) + C_2 f_m \cos(k) - e_b &= 0. \end{aligned} \quad (2, b)$$

Accordingly, it coefficients is.

$$\begin{aligned} C_1 f_m &= e_b \left[\frac{1 - \cos(k)}{\sin(k)} \right]. \\ C_2 f_m &= e_b. \end{aligned} \quad (2, c)$$

The general solution second order linear nonhomogeneous differential equations (1, a) will be.

$$\begin{aligned} \eta &= e_b \left[\frac{1 - \cos(k)}{\sin(k)} \right] \sin\left(\frac{kz}{l}\right) + \\ &+ e_b \left[\cos\left(\frac{kz}{l}\right) - 1 \right] + \frac{\delta_{f0}}{\frac{\pi^2}{k^2} - 1}. \end{aligned} \quad (2, d)$$

When coordinate $z/l = 1/2$ we have maximum displacement of the middle section of the column.

$$\begin{aligned} \eta_{z/l=1/2} &= e_b \left[\frac{1 - \cos(k)}{\sin(k)} \right] \sin\left(\frac{k}{2}\right) + e_b \left[\cos\left(\frac{k}{2}\right) - 1 \right] + \frac{\delta_{f0}}{\frac{\pi^2}{k^2} - 1}. \\ \eta_{z/l=1/2} &= e_b \left[\frac{1 - \cos(k) + 2\cos^2\left(\frac{k}{2}\right) - 2\cos\left(\frac{k}{2}\right)}{2\cos\left(\frac{k}{2}\right)} \right] + \frac{\delta_{f0}}{\frac{\pi^2}{k^2} - 1}. \\ \eta_{z/l=1/2} &= e_b \left[\frac{1 - \cos\left(\frac{k}{2}\right)}{\cos\left(\frac{k}{2}\right)} \right] + \frac{\delta_{f0}}{\frac{\pi^2}{k^2} - 1}. \end{aligned}$$

$$\eta_{z/l=1/2} = e_b \left[\frac{1}{\cos(k/2)} - 1 \right] + \frac{\delta_{f0}}{\frac{\pi^2}{k^2} - 1}. \quad (3, a)$$

The last formula (3, a) is the formula secant and it is combined with the formula for the calculation of the growth-initial deflections at longitudinal bending. Taylor's theorem gives an approximation value secant by order Taylor polynomial:

$$\frac{1}{\cos(kl/2)} - 1 = \frac{1}{\frac{8}{k^2} - 1} \approx \frac{1}{\frac{\pi^2}{k^2} - 1}. \quad (3, b)$$

Finally, the formula of the maximum deflections of the middle section of the metal element has record.

$$\eta_{z=l/2} = \frac{e_b + \delta_{f0}}{\frac{\pi^2}{k^2} - 1}. \quad (3, c)$$

$$\eta_{z=l/2} = \frac{e_b + \delta_{f0}}{\frac{\pi^2 EI_x}{l^2 N} - 1}. \quad N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_x}{l^2}$$

$$\eta_{z=l/2} = \frac{e_b + \delta_{f0}}{\frac{N_{cr}}{N} - 1}. \quad (4)$$

E – Modulus of elasticity in tension,

I_x – Quadratic moment of inertia,

l – Reduced (effective) strut length, equivalent length of column.

N_{cr} – Euler's buckling load.

The same conclusion can be justified using the approach in [2, 3, 7] for any boundary conditions of the column.

Record the total-solutions of the corresponding homogeneous second order differential equation ($EI_x \eta'' + N\eta = 0$) has this form.

$$\eta_{sn} = c_{s1n} \sum_{n=1}^{\infty} \sin \frac{n\pi z}{l} + \sum_{n=1}^{\infty} c_{s2n} \cos \frac{n\pi z}{l}. \quad (5)$$

If the element has initial geometric imperfections, it is in part the decision of general

differential equation of longitudinal bending column $EI_x \eta'' + k^2 N \eta = -k^2 (\delta_{f0} + e_b)$ can also be represented as a series of trigonometric functions.

Since the initial geometric imperfections are common to the rod, its record is different from the coefficients of trigonometric functions and will vary by operator a_{s0n} .

$$\eta_{e0} = \sum_{n=1}^{\infty} c_{s0n} \sin \frac{n\pi z}{l} + \sum_{n=1}^{\infty} a_{s0n} c_{s0n} \cos \frac{n\pi z}{l}. \quad (6)$$

Substituting these solutions to the differential equation (1, a), that describes the stability of the element.

If you equate the coefficients of the same trigonometric functions in equation (6), then you get a recurrence formula to determine the coefficients of the trigonometric functions, which describe the different possible harmonics deflections of the rod at the loss of stability.

$$c_{s1n} = \frac{N c_{s0n}}{\left(\frac{\pi^2 n^2 EI_x}{l^2} - 1 \right)}; \quad N_n = \frac{\pi^2 n^2 EI_x}{l^2};$$

$$c_{s1n} = \frac{c_{s0n}}{\left(\frac{N_n}{N} - 1 \right)}; \quad c_{s2n} = \frac{a_{s0n} c_{s0n}}{\left(\frac{N_n}{N} - 1 \right)}. \quad (7, a)$$

Full deflection of the column will be equal to the amount of deflection longitudinal bending and of additional longitudinal deflection from the initial bend initial imperfections.

$$\eta_s = \eta_{gs} + \eta_{e0}$$

$$\eta_s = \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{c_{s0n}}{\left(\frac{N_n}{N} - 1 \right)} + c_{s0} \right] \sin \frac{n\pi z}{l} +$$

$$+ \sum_{n=1}^{\infty} a_{s0n} \left[\frac{c_{s0n}}{\left(\frac{N_n}{N} - 1 \right)} + c_{s0n} \right] \cos \frac{n\pi z}{l}. \quad (7, b)$$

Then have

$$\eta_s = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{c_{s0n}}{1 - \frac{N}{N_n}} \sin \frac{n\pi z}{l} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_{s0n} c_{s0n}}{1 - \frac{N}{N_n}} \cos \frac{n\pi z}{l}. \quad (8)$$

Problem 1. Maximum displacement determine for the central-compressed steel element considering initial geometric imperfections. The rod has boundary conditions: hinged – hinged (column pivoted in both ends). These conditions give the formula.

$$\begin{aligned} \eta_{sz=0} &= 0; \quad \eta_{sz=l} = 0; \\ \eta_s = \eta_{sn} + \eta_{e0} &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_{s0n} c_{s0n}}{1 - \frac{N}{N_n}} = 0 \rightarrow a_{s0n} = 0. \end{aligned} \quad (9, a)$$

For the cross section, which has a maximum displacement, $z=l/2$, we have.

$$\begin{aligned} \eta_{smax} &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{c_{s01}}{1 - \frac{N}{N_1}} \sin \frac{\pi}{2} + \frac{c_{s02}}{1 - \frac{N}{N_2}} \sin \pi + \\ &+ \frac{c_{s03}}{1 - \frac{N}{N_3}} \sin \frac{3\pi}{2} + \frac{c_{s03}}{1 - \frac{N}{N_3}} \sin \frac{3\pi}{2} + \dots \end{aligned} \quad (9, b)$$

Members in (9, b) with even indices disappear, a true formula is.

$$\eta_{smax} = \frac{c_{s01}}{1 - \frac{N}{N_1}} - \frac{c_{s03}}{1 - \frac{N}{N_3}} + \frac{c_{s05}}{1 - \frac{N}{N_5}}. \quad (10)$$

Coefficients c_{s0i} accept the results of measurements of samples rods. For rod, that has hinged support in both ends, a first harmonic is a dominant, and it's the sinusoidal shape. Now the maximum displacement will depend on the ratio of the current force and of the critical load.

$$\eta_{smax} = \frac{c_{s01}}{1 - \frac{N}{N_{cr}}}; \quad N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_x}{l^2}. \quad (11)$$

This decision is important for determine the maximum deflection rod for any value of the longitudinal force provided $N < N_{cr}$.

Problem 2. Determine the initial geometrical imperfections at a certain meaning full load and moving of the middle cross section of the rod. This is the inverse problem to problem 1.

We know of longitudinal force N_i , of critical force N_{cr} and we know displacement of rod, it is possible to determine the initial geometric imperfections.

$$c_{s01} = \eta_s \left(1 - \frac{N}{N_{cr}} \right). \quad (12)$$

Problem 3. Method is of determining additional deflection η_{sf} . Since the total deflection consists of initial deflection and deflection of buckling, we have a right to record this at $\eta_{e0} = c_{s01}$.

$$\eta_{sf} = \eta_{smax} - \eta_{e0} = \frac{c_{s01}}{1 - \frac{N}{N_{cr}}} - c_{s01}. \quad (13)$$

$$\eta_{sf} = \frac{N_{cr} c_{s01} - N c_{s01} + N c_{s01}}{N_{cr} - N} = \frac{c_{s01}}{\frac{N_{cr}}{N} - 1}.$$

$$\eta_{sf} = \frac{c_{s01}}{\frac{N_{cr}}{N} - 1}. \quad (14)$$

Equation (14) coincides with the formula (4). Thus, the approach shows the relationship between the method of Timoshenko S.P. and the method of Southwell R.V.

Problem 4. Determination of initial imperfections elastic buckling element and its of critical load. A few experimental data of additional deflections (bending) the central-compressed element is: η_{s1} , η_{s2} , η_{s3} . Corresponding values of compressive strength we know too. We proposed the following sequence calculation and determination of initial geometric imperfections of column and definition of critical force.

According to the formula (14) we can compose system of two a linear equations with two unknown variable members. The first unknown member is variable parameter of bending: η_{s1} , η_{s2} , the second unknown members is the critical load buckling shapes of the column.

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta_{s1} = \frac{c_{s01}}{\frac{N_{cr} - 1}{N_1}} \\ \eta_{s3} = \frac{c_{s01}}{\frac{N_{cr} - 1}{N_3}} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} c_{s01} = \eta_{s1} \left(\frac{N_{cr} - 1}{N_1} \right) \\ c_{s01} = \eta_{s3} \left(\frac{N_{cr} - 1}{N_3} \right) \end{array} \right. \quad (15, a)$$

Divide the first equation of the system (15, a) on the second equation and thereby we exclude the unknown parameter.

$$\frac{\eta_{s1}}{\eta_{s3}} = \frac{\frac{N_{cr} - 1}{N_3}}{\frac{N_{cr} - 1}{N_1}} \rightarrow \frac{N_{cr} - N_3}{N_3} = \frac{N_1(N_{cr} - N_3)}{N_3(N_{cr} - N_1)}.$$

Next, solution of system linear algebraic equations (15, a) leads to linear equation with one unknown parameter: N_{cr} .

$$\begin{aligned} (N_{cr} - N_1)N_3\eta_{s1} &= N_1\eta_{s3}(N_{cr} - N_3). \\ \frac{N_{cr}}{N_1} \left(\frac{N_1}{N_3} \eta_{s3} - 1 \right) &= \left(\frac{\eta_{s3}}{\eta_{s1}} - 1 \right). \end{aligned} \quad (15, b)$$

Solution of linear algebraic equation (15, b) can be represented by.

$$N_{cr} = \frac{N_1 \left(\frac{\eta_{s3}}{\eta_{s1}} - 1 \right)}{\left(\frac{N_1}{N_3} \eta_{s3} - 1 \right)}; N_{cr} = \frac{N_3 \left(1 - \frac{\eta_{s1}}{\eta_{s3}} \right)}{\left(1 - \frac{N_3 \eta_{s1}}{N_1 \eta_{s3}} \right)}. \quad (15, c)$$

According to the formula (15, c) can calculate the upper critical load, but values lower the critical load is calculated by the formula (15, d), what is obtained using other experimental data.

$$\frac{N_{cr}}{N_2} \left(\frac{N_2}{N_3} \eta_{s3} - 1 \right) = \left(\frac{\eta_{s3}}{\eta_{s2}} - 1 \right)$$

$$N_{cr} = \frac{N_2 \left(\frac{\eta_{s3}}{\eta_{s2}} - 1 \right)}{\left(\frac{N_2}{N_3} \eta_{s3} - 1 \right)}; N_{cr} = \frac{N_3 \left(1 - \frac{\eta_{s2}}{\eta_{s3}} \right)}{\left(1 - \frac{N_3 \eta_{s2}}{N_2 \eta_{s3}} \right)}. \quad (15, d)$$

The initial geometric imperfection will be writing.

$$\eta_{s01} = c_{s01} = \eta_{s1} \left(\frac{\left(\frac{\eta_{s3}}{\eta_{s1}} - 1 \right)}{\left(\frac{N_1}{N_3} \eta_{s3} - 1 \right)} - 1 \right) \quad (16)$$

According to the formula (12) maximum additional deflection $\eta_{sf \max}$ of the column excluding initial imperfections look like so.

$$\eta_{sf \max} = \frac{\eta_{s01}}{\frac{N_{cr}}{N_2} - 1}. \quad (17)$$

Total deflection of critical load of the loss of stability element we can to calculate at formula.

$$\eta_{smax} = \eta_{sf \max} + \eta_{s01} = \eta_{s1} \left(\frac{\left(\frac{\eta_{s3}}{\eta_{s1}} - 1 \right)}{\left(\frac{N_1}{N_3} \eta_{s3} - 1 \right)} - 1 \right) \left(\frac{1}{\frac{N_{cr}}{N_2} - 1} + 1 \right). \quad (18, a)$$

$$\eta_{smax} = \eta_{s1} \left(\frac{\left(\frac{\eta_{s3}}{\eta_{s1}} - 1 \right)}{\left(\frac{N_1}{N_3} \eta_{s3} - 1 \right)} - 1 \right) \left(\frac{1}{1 - \frac{N_2}{N_{cr}}} \right). \quad (18, b)$$

Thus generalized approach makes it possible to identify critical load and initial geometric deflections on the results of a small number of experimental data.

Problem 5. Equation (15, b) has a detailed record.

$$\frac{N_{cr}}{N_1} \left(\frac{N_1}{N_3} \frac{\eta_{s3}}{\eta_{s1}} - 1 \right) = \left(\frac{\eta_{s3}}{\eta_{s1}} - 1 \right). \quad (19)$$

We introduce notation for relationship experimental data of deflection of column – ζ_η , and attitude critical force of the column to the value longitudinal force of the column at testing – p_N , that corresponds derived displacement.

$$\frac{\eta_{s3}}{\eta_{s1}} = \zeta_\eta^2, \quad \frac{N_{cr}}{N_1} = p_N^2. \quad (20)$$

We obtain the equation, which connects two parametric functions: deflections and critical load.

$$p_N^2 - \frac{N_3}{N_1} p_N^2 \zeta_\eta^2 + \zeta_\eta^2 = 1. \quad (21)$$

This is the equation (21) is the hyperbolic function, and is the universal equation of physical and mathematical model describing the loss of the stability column.

We determine the asymptotes of the hyperbolic function and use this entry.

$$p_N^2 = \frac{1 - \frac{1}{\zeta_\eta^2}}{\left(\frac{N_1}{N_3} - \frac{1}{\zeta_\eta^2} \right)}. \quad (22)$$

Thus, when $\zeta_\eta^2 \rightarrow \infty$, we has the coordinate of the horizontal asymptote.

$$p_N^2 = \frac{1 - \frac{1}{\zeta_\eta^2}}{\left(\frac{N_1}{N_3} - \frac{1}{\zeta_\eta^2} \right)} \rightarrow \zeta_\eta^2 \rightarrow \infty \rightarrow p_N^2 \rightarrow \frac{N_{\zeta_\eta^2 \rightarrow \infty}}{N_1}.$$

If we have in sufficient quantity of experimental results, the experimental value of the critical force column at loss buckling will approach to the theoretical value of the maxi-

mum critical load at deflections growth to infinite.

$$N_{cr} \rightarrow N_{cr \max}$$

Due to our research is calculated the upper limit of critical load and the lower limit of critical load and we can identify difference between their values to determine the nature of the buckling columns. If the difference between the upper and lower values of critical load is small, it means that the lost stability of the column is elastic. If the difference between the upper and lower the critical load is big, it we have to the conclusion that the buckling took place with the development of limited plastic deformation, it is inelastic buckling.

The research results are important when analyzing the results of the inspection of metal structures for civil use and engineering facilities operating in difficult conditions, surface and underwater structures [23].

CONCLUSIONS

In experimental studies of stability the elements always buckling occurs suddenly and the maximum critical force will not to determined indeed.

Fixing critical load and corresponding strain measurement is always the difficulty, since the loss of stability takes place fast at increasing deflections. When examining and monitoring structures we have the ability to fix the deflections of rods under load, it the deflections and force is not close to critical.

Therefore, it the research allows to define the critical load and initial imperfection by the analysis of data relationships deflections and of the load, which is less than the critical load.

It is shown that the maximum value and the actual deflections of elastic elements with initial imperfections at longitudinal bending, which will be defined by the methodology Tymoshenko S.P. and by the approach Sausvella R.V. are identical.

We have shown that the method Timoshenk-Sausvella can be used in the analysis of experimental results of research elastic buck-

ling of columns and inelastic buckling of columns

REFERENCES

1. **Eurocode 3, EN 1993-1-1:2005, 2005.** E, Design of steel structures, Part 1-1, General rules and rules for building. European Communities Standardization, Brussel.
2. **Timoshenko S.P., Gere J.M., 1961.** Theory of Elastic Stability, McGraw Hill Kogakusha Ltd., New York.
3. **Timoshenko S.P., 1953.** History of Strength of Materials, McGraw-Hill, New York.
4. **Bleich F., 1952.** Buckling Strength Of Metal Structures New York, McGraw-Hill Book Co., Inc.
5. **Considere A., 1889.** Resistance Des Pieces Comprimees. Congr'ds Int. Des Procedes De Const, Exposition Univ. Int., Paris.
6. **Engesser F., 1893.** Ueber Die Berechnung Auf Knickfestigkeit Beanspruchter St; ibe Aus Schweissund Flusseisen. Zeits. d. Oest. Ing. U. Arch. Ver. Wien.
7. **Southwell R.V., 1932.** On The Analysis Of Experimental Observations In Problems Of Elastic Stability, Proc. Roy. Soc. A., 135, 601-616.
8. **Youngs T., 1807.** A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts, London, 320-324.
9. **Jasinsky F.S., 1894.** La flexion des pieces comprimdes, Ann. Ponts Chaussdes, 2nd part.
10. **Jezek K., 1937.** Die Festigkeit von Druckstäben aus Stahl, Julius Springer, Vienni.
11. **Johnson J.B., 1893.** The theory and practice of modern framed structures, New York.
12. **Rankine W.J., 1925.** Useful rules and tables, London, 1866. Robertson A., The strength of struts, Selected Engineering Paper, Vol. 28, ICE.
13. **Shanley F.R., 1947.** Inelastic column theory, Journal of the Aeronautical Sciences, Vol. 14, May.
14. **Bilyk S., 2006.** The peculiarities of buckling and strength analysis of frame elements of I-shaped cross-section with variable web height. Progress in Steel, Composite and Aluminium Structures. Proceeding of the XI international conference on metal structures (ICMS-2006), Pzeszow, Poland, 21-23 June, 144-145.

15. **Young B.W., 1975.** Residual stresses in hot rolled members, Cambridge University, CLJED.C-Struct.TR, 8.
16. **Young B.W., 1971.** Steel Column Design Ph.D Thesis, Cambridge.
17. **Beer H., Schulz G., 1970.** Bases Theoriques des Courbes Europeennes de Flambement. Construction Metallique, Vol. 3.
18. **Young B.W., Dwight, J.B., 1971.** Residual Stresses and Their Effect on the Moment-Curvature Properties of Structural Steel Sections C.I.R.I.A., tech. note, Vol. 32.
19. **Young B.W., 1971.** Axially Loaded Steel Columns C.I.R.I.A., tech. note Vol. 33, 11. Young, B.W. Steel Column Design" Ph.D Thesis, Cambridge.
20. **Baker M.J., 1972.** Variability in the Strength of Structural Steels C.I.R.I.A., tech. Note. Vol.44.
21. **Yeong C.Y., 2006.** Post-buckling Behavior of Tapered Columns under a Combined Load using Differential Transformation, Archiectural Research, 8.
22. **Huang N.C., 1973.** "Inelastic buckling of eccentrically loaded columns." AIAA Journal, Vol.11, 7.
23. **Sukach M., 2015.** First international scientifically-practical conference Underwater technologies, 2015. Underwater technologies. Industrial and civil engineering, Vol.01, 1-12.

Определение критической нагрузки упругих колонн по экспериментальным данным

Сергей Билык

Киевский национальный университет
строительства и архитектуры
Воздухофлотский просп, 31, Киев
Украина, 03037, vartist@ukr.net
orcid.org/0000-0001-8783-5892

Аннотация. Разработан обобщенный подход для оценки критической и силы стальных центрально-сжатых стержней с начальными геометрическими несовершенствами и с учетом использования экспериментальных данных. Предоставлено обоснование теоретического подхода. В статье обобщается и развивается методологический подход для определения критической нагрузки предложенный Тимошенко С.П. и Southwell R.V. При определении максимальных прогибов при потере устойчиво-

сти упругих стержней с учетом начальных несовершенств и случайных эксцентриситетов показано тождество обоих подходов. Приведены решения нескольких задач. Показана возможность определять на основании экспериментальных данных начальные геометрические несовершенства. Результаты работы могут быть использованы при проверке технического со-

стояния центрально-сжатых стержней при обследовании металлических конструкций ферм, колонн, структурных конструкций.

Ключевые слова: стальные конструкции, устойчивость, начальные несовершенства, критическая сила, метод Тимошенко-Саусвелла.

Інформація

Про журнал

Міжнародний науково-виробничий журнал «Підводні технології» видається Київським національним університетом будівництва і архітектури спільно з асоційованими членами видання:

- ✓ Polska Akademia Nauk (Przedstawicielstwo w Kijowie), Академія будівництва України
- ✓ Національна академія наук України (Інститут механіки імені С.П. Тимошенко, Інститут геологічних наук, Інститут гідромеханіки, Інститут геотехнічної механіки імені М.С. Полякова, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору)
- ✓ Вищі навчальні заклади України (Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Національний гірничий університет (Дніпропетровськ), Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (Миколаїв), Харківський національний університет радіоелектроніки, Харківський національний університет будівництва і архітектури, Національний університет водного господарства та природокористування (Рівне), Національний лісотехнічний університет України (Львів), Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Одеський національний морський університет; Одеська державна академія будівництва і архітектури)
- ✓ НДПідземспецбуд.

Електронний архів зберігається на сайтах:

- www.uwtech.at.ua (журнал «Підводні технології»)
- www.panukraina.pl (PAN, представництво в Києві)
- www.usj.org.ua (веб-ресурс «Українські наукові журнали»)
- www.irbis-nbuv.gov.ua (НБУ імені Володимира Вернадського)
- www.akadembud.org (АБ України)
- www.science.knuba.edu.ua та <http://library.knuba.edu.ua> (КНУБА)
- www.geol.univ.kiev.ua/ua (Інститут геології КНУ імені Тараса Шевченка)
- <http://www.nuos.edu.ua> (НУК імені академіка Макарова)
- www.nure.ua (ХНУРЕ)
- www.nmu.org.ua (ДВНЗ НГУ).

Правила публікації

В міжнародному науково-виробничому журналі «Підводні технології» публікуються оригінальні матеріали обсягом 8 – 12 сторінок, включно з таблицями, рисунками та списком літератури. Статті підлягають подвійному рецензуванню, у тому числі залученими редакцією незалежними експертами. Дописувачі передають видавцю авторське право на тексти та письмові дозволи для відтворення рисунків і таблиць з неопублікованих раніше або захищених авторським правом матеріалів.

До редакції (разом з копією на e-mail: uwtech@ukr.net) подають:

- 1) *Текст статті* (англомовна – *завірений переклад*)
- 2) *Угоди* про вільне використання авторського права
- 3) *Рецензію* (з повним ім'ям рецензента)
- 4) *Авторську довідку* (прізвище, ім'я та по-батькові; науковий ступінь, вчене звання, посада та місце роботи; контактний телефон, електронна адреса, ідентифікатор ORCID; фото автора в .jpg).

Вимоги до статей

Загальні правила:

- параметри сторінки: формат А4, верхнє та нижнє поля – 2,5 см, лїве та праве – 2 см; шрифт Times New Roman; колонтитули 1,2 см, абзацний відступ 0,5 см; розмір основного тексту 12, анотацій і літератури – 11, міжрядковий інтервал 1
- статтю форматують у дві колонки по 8 см з проміжком 1 см (розширення .doc); використовують тільки автоматичні переноси слів
- назви таблиць та підписи під рисунками (розмір 11) дублюють англійською мовою і розміщують лїворуч графічного об'єкту
- наприкінці статті подають: транслітерований список літератури (<http://translit.net>), а також повторюють англійською її назву, вихідні дані й анотацію; в англійській статті – те саме зазначають російською мовою.

Структурування:

- вихідні дані (шрифт Arial): назва рукопису (н/ж, ф.14), ім'я та прізвище авторів (курсив, ф.12), місце роботи, повна поштова адреса, e-mail, ідентифікатор ORCID (світло, ф.10) – якщо вони різні, зазначають цифровими зносками. Від вихідних даних до верхнього поля сторінки та до основного тексту – залишають по 5 пустих рядків
- структурні підрозділи статті:
 - АНОТАЦІЯ (Summary) (150 – 200 слів)
 - КЛЮЧОВІ СЛОВА (Key words) до 5 слів
 - ВСТУП (Introduction)
 - МЕТА І МЕТОДИ (Materials and Methods)
 - РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ (Results and Discussion)
 - ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ (Conclusions and References)
- назва статті – інформативна та коротка; структура анотації – аналогічна структурі статті, без використання скорочень та абревіатур (усі пояснення дають в тексті); посилання в тексті – не більше 5 пунктів в одному місці
- таблиці та рисунки розміщують після першого згадування про них, великі – притискують до верху або низу сторінки (не розривати одночасно обидві колонки тексту)
- ілюстрації – у форматах .jpg, .gif, .tif з роздільною здатністю не менше 300 dpi.

Оформлення:

- пишуть прямо – цифри, грецькі букви, кирилицю, тригонометричні функції (tan, sin та ін.), усталені вирази (max, const та ін.), хімічні елементи; курсивом – англійські символи формул, римські цифри, номери експлікації
- між формулами, рисунками, таблицями і текстом залишають по одному пустому рядку
- формули (розміром 12-10-8-12-16) набирають в Eq.3 та центрують, нумерація – праворуч колонки; таблиці – не перевищують область друку сторінки
- слова «Табл.» (Table), «Рис.» (Fig.) пишуть з великої букви, в тексті – світло, в назві – н/ж; текст на полях рисунків зводять до мінімуму
- в списку літератури – не менше 20 посилань; в якості розділових знаків використовують тільки крапку і кому (стандарт APA).

Приклади:

- оформлення статей у MS Word – на сайті www.uwtech.at.ua.

Імпакт-фактор журналу «Підводні технології», 04/2016 складає 1,44 (червень 2016).

Автори публікацій

- Сергій Білик** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри металевих та дерев'яних конструкцій Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ
- Володимир Блінцов** – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв
- Андрій Войтасик** – аспірант Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв
- Олександр Галинський** – кандидат технічних наук, директор Державного підприємства Науково-дослідний інститут будівельного виробництва, Київ
- Геннадій Гайко** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри геобудівництва та гірничих технологій НТУ України Київський політехнічний інститут, Київ
- Олексій Дворко** – аспірант Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ
- Петро Захарченко** – кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри товарознавства та комерційної діяльності у будівництві Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ
- Тетяна Кривомаз** – кандидат технічних наук, доцент, докторант Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ
- Віталій Кузьмінський** – кандидат технічних наук, заступник директора ТОВ «Океанмаш-енерго», Дніпропетровськ
- Віктор Кухар** – кандидат технічних наук, доцент, доцент ДВНЗ Національний гірничий університет, Дніпропетровськ
- Ольга Матвієнко** – співробітник Харківського національного університету радіоелектроніки, Харків
- Ольга Овчинникова** – головний конструктор ТОВ «Океанмашенерго», Дніпропетровськ
- Микола Осетрін** – кандидат технічних наук, професор, професор кафедри міського будівництва Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ
- Михайло Сукач** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри будівельних машин Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ
- Андрій Тевяшев** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної математики Харківського національного університету радіоелектроніки, Харків

Індексування видання

Журнал «Підводні технології» подано до наукометричних баз:

- "Ulrichs web" – <http://ulrichsweb.serialssolutions.com>
- "Index Copernicus" – www.journals.indexcopernicus.com
- "Research Bible" – <http://journalseeker.researchbib.com>
- "Web ИРБИС" – <http://irbis-nbuv.gov.ua>
- "Get CITE" – <http://www.getcited.org>
- "JOUR Info" – <http://jourinfo.com>
- "The Global Impact Factor" – <http://globalimpactfactor.com>
- "Scientific Indexing Services" – <http://www.sindexs.org>
- "Google academy" – <http://scholar.google.com.ua/citations?user=2-FASc4AAAAJ&hl=uk>

Науково-виробниче видання

ПІДВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

ПРОМИСЛОВА ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

Випуск 04/2016

Статті публікуються в авторській редакції

- ▶ Оформлення, стиль та зміст журналу є об'єктом авторського права і захищається законом
- ▶ Відповідальність за зміст та достовірність наведених даних несуть автори публікацій
- ▶ Редакція залишає за собою право редагувати та скорочувати подані матеріали
- ▶ Усі статті одержали позитивну оцінку незалежних рецензентів
- ▶ Передрук розміщених у журналі матеріалів дозволяється тільки за письмовою згодою редакції

Рецензенти статей

Віктор Гайдайчук
Михайло Дубровський
Юрій Жуков
Леонід Заміховський
Віктор Кравець
Володимир Надутий
Валерій Некрасов
Ігор Ребезнюк
Геннадій Тонкачєєв

Оригінал-макет виготовлено в редакції журналу «Підводні технології»

Керівник видавничого проекту *Віталій Зарицький*
Комп'ютерний дизайн *Олени Щербини*
Верстка і обкладинка *Дмитра Міщука*

Редакція журналу

КНУБА, Повітрофлотський проспект, 31
лаб. корпус, оф. 2313, Київ, Україна, 03037
+38(044) 2454217, +38(095) 6297417
www.uwtech.at.ua, uwtech@ukr.net

Віддруковано

Видавництво Ліра-К
Свідоцтво № 3981, серія ДК
вул. Прилужна, 14, оф. 42, Київ, Україна, 03067
+38(044) 2479337, +38(044) 4509196
www.lira-k.com.ua, lira-k@ukr.net

Підписано до друку 14.06.2016. Формат 60×84 1/8
Папір офсетний. Друк офсетний. Гарнітура Times New Roman
Ум.-друк. арк. 11,62. Наклад 100 прим.