

Київський національний університет
будівництва і архітектури

Свідоцтво про державну реєстрацію
КВ № 21541-11441 Р від 21.08.2015 р.

ISSN 2415-8550 (Print)
ISSN 2415-8569 (Online)

Виходить 2 рази на рік

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР
Михайло Сукач, д.т.н., проф.

ЗАСТУПНИК РЕДАКТОРА
Олександр Безверхий, д.ф.-м.н., проф.

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ ЗА ВИПУСК
Дмитро Міщук, к.т.н., доц.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Віктор Баженов, д.т.н., проф.
Володимир Блінцов, д.т.н., проф.
Андрій Бондаренко, д.т.н., проф.
Анатолій Гончар, чл.-кор. НАНУ, д.т.н., ст.н.с.
Дмитро Гончаренко, д.т.н., проф.
Віктор Грінченко, акад. НАНУ, д.т.н., проф.
Володимир Гришин, д.т.н., проф.
Микола Дьомін, д.арх., проф.
Михайло Дубровський, д.т.н., проф.
Алла Есипенко, д.т.н., проф.
Леонід Заміховський, д.т.н., проф.
Анатолій Обшта, д.т.н., проф.
Олена Іванік, д.геол.н., проф.
Святослав Кравець, д.т.н., проф.
Петро Куліков, д.е.н., проф.
Олег Лимарченко, д.т.н., проф.
Олександр Луговський, д.т.н., проф.
Володимир Михайлов, д.геол. наук, проф.
Олексій Митропольський, чл.-кор. НАНУ,
д.г.-м.н., проф.
Володимир Надутий, д.т.н., проф.
Іван Назаренко, д.т.н., проф.
Віталій Плоский, д.т.н., проф.
Олександр Приходько, д.ф.-м.н., проф.
Ігор Ребезнюк, д.т.н., проф.
Валерій Самойленко, д.ф.-м.н., проф.
Володимир Симоненко, д.т.н., проф.
Володимир Снісаренко, д.т.н., проф.
Андрій Тевяшев, д.т.н., проф.
Олександр Трофимчук, чл.-кор. НАНУ,
д.т.н., проф.
Олександр Щипцов, д.геогр.н., проф.



ПІДВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

05/2017 ПРОМИСЛОВА ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ
Заснований у серпні 2015 року

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

Winfried Auzinger, PhD, Ass.Prof., Vienna University
of Technology (Austria)
Vladislav Bogdanov, PhD, Snr.Res.Ass. (Australia)
Goran Bryntse, PhD, Ass.Prof., EREF (Sweden)
Carsten Drebenstedt, Dr hab, Prof., TU Bergakademie, Freiberg
(Germany)
Vladimir Feldgun, PhD, Snr.Res.Ass., Israel Institute of Technology
(Israel)
Jan Gliński, Czł. rzec. PAN, Dr hab, Prof., OL PAN (Poland)
Maxim Gots, PhD, P.Eng., Skyjack Inc. (Canada)
Krishna Kayastha, PhD, Hydro-Technical Commission (Nepal)
Eugeniusz Krasowski, Dr hab, Prof., OL PAN (Poland)
Vladyslav Kvjatkovskiy, Krypton Ocean Group (Virginian Isl.)
Viktor Mashkov, ScD, Ass.Prof., Purkyne University
in Usti-nad-Labem (Czech Republic)
Usman Naeem, PhD, University of East London (England)
Mihail Nikitenko, ScD, Prof., BNTU (Belorussia)
Lech Rowinski, Dr hab, Prof., Gdansk University of Technology
(Poland)
Henryk Sobczuk, Dr hab, Prof., Kyiv office PAN (Poland)
Pjotr Suvorov, Development of Danube Navigation (Hungary)
Vadym Weltischev, PhD, Prof., Bauman MG TU (Russia)
Walery Wysoczanski, PhD, St.H.School in B.Podljaska (Poland)

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

Затверджено Вченою радою Київського національного
університету будівництва і архітектури
09 грудня 2016 р. (протокол № 50)

Мови видання українська, російська, англійська

Для науковців, виробників, фахівців

Зміст

	Природничі науки	
Сергій Половка		3
Акумулятивні і тектонічні структури дна північно-західного шельфу Чорного моря та їх розпізнавальні ознаки Accumulative and tectonic structure of the north-western shelf of the Black sea and their distinctive features		
	Математика та статистика	
Vladislav Bogdanov		8
Impact of a hard cylinder with flat surface on the elastic layer Удар жесткого цилиндра с плоским срезом по упругому слою		
	Механічна та електрична інженерія	
Mykhailo Sukach, Sergij Lysak		16
Kinematics parameters of twosectional trencher's Кинематические параметры двухсекционного траншеекопателя		
	Автоматизація та приладобудування	
Олександр Блінцов, Віктор Корицький		23
Сучасні задачі керування самохідною прив'язною підводною технологічною платформою Modern tasks of the control of a self-propelled tethered underwater technological platform		
Андрій Сірівчук		32
Розробка математичної моделі керування траєкторією руху підводного апарата The development of mathematical model for the control of the trajectory of the motion of an underwater vehicle		
	Виробництво та технології	
Андрей Бондаренко		40
Метод расчета конструктивных параметров горизонтальных классификаторов Method of calculation of horizontal classifiers structural parameters		
Андрій Небагов		48
Дослідження механізму збудження коливань рухомого решета відсаджувальної машини Research of excitation mechanism of vibrations movable sieve of jigging machine		
	Архітектура та будівництво	
Denys Khokhlin		54
Building protection in conditions of simultaneous availability of soil base substantial differential settlements and seismic hazard origins Защита зданий в условиях одновременного наличия источников значительных неравномерных деформаций и сейсмоопасности		
Victor Gaidaychuk, Konstantin Kotenko, Ivan Tkachenko		61
Integrated monitoring the technical condition of large-scale building structure Комплексный мониторинг технического состояния большеразмерного строительного сооружения		
Olexij Pryimachenko		67
Model for effectiveness evaluation of planning measures for protection of areas surrounding main roads from the influence of environmental pressures of the Kyiv main road network Модель оцінки ефективності планувальних заходів захисту примарістральних територій від впливу екологічних навантажень магістральної мережі м. Києва		
Petro Kuprienko, Svetlana Lapovska, Natalia Kuprienko		74
Nanomodified natural aluminum silicates in technology treatment of industrial waste and the production of building materials Наномодифицированные природные алюмосиликаты в технологии очистки промышленных стоков и производстве керамических строительных материалов		
Євгенія Казакова		84
Проблеми та напрямки реконструкції історичних центрів малих населених пунктів Волинського регіону (на прикладі смт Клевань Рівненської області) Problems and directions of reconstruction of historical centers of small settlements of the Volyn region (on the example of Klevan, Rivne region)		
Інформація		92

Акумулятивні і тектонічні структури дна північно-західного шельфу Чорного моря та їх розпізнавальні ознаки

Сергій Половка

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини
вул. Садова, 2, Умань, Україна, 20300
sergi_polovka@ukr.net, orcid.org/0000-0002-4928-4943

Анотація. На шельфі Чорного моря існують структури різної генези – акумулятивні та тектонічні. Висвітлено основні діагностичні та відмінні риси локальних структур тектонічного і акумулятивного походження. Розглянуто вплив хвильових процесів на структури осадочного походження.

Ключові слова. Акумулятивні та тектонічні структури, північно-західний шельф Чорного моря.

ВСТУП

Чорне море з давня привертає увагу дослідників із різних галузей науки; не є виключенням і морська геологія. Особливою актуальністю вирізняється питання з'ясування геологічної будови осадочного чохла земної кори, яка знаходиться під водами цього моря з метою видобутку різних корисних копалин (нафта, газ і газогідрати та ін.) [2, 3, 8], яких нині гостро потребує Україна.

Корисні копали формуються в певних геологічних умовах, наприклад: існуючі на даний час газоконденсатні родовища на північно-західному шельфі Чорного моря приурочені до тектонічно активної ділянки акваторії цього моря. Нині на даній ділянці моря різними геолого-геофізичними методами в осадочному чохлі виявлено близько 200 локальних піднять, які різняться генезою.

Геології (літології, стратиграфії та ін.) осадочного чохла та фундаменту земної ко-

ри північно-західного шельфу присвячена значна кількість публікацій [1, 4 – 7].

Для того, щоб здійснювати прогностичну оцінку корисних копалин (нафти, газу та газоконденсату, пісків та ін.) в Азово-Чорноморському регіоні, слід розділити ці структури на акумулятивні та тектонічні. Наша мета показати основні відміни між цими формами рельєфу дна акваторії Чорного моря на прикладі північно-західного шельфу [9 – 14].

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Північно-західна частина Чорного моря і прилеглих районів суші є сполученням різнорідних геотектонічних елементів: класична континентальна структура – Український щит (УЩ), який послідовно змінюється на півдні «молодою» Скіфською плитою і далі Чорноморською улоговиною.

У структурному відношенні північно-західний шельф Чорного моря є тектонічною депресією (западиною) північного Причорномор'я, яка виникла в пізньомайкопський час і обмежена Добруджею на заході та Кримським півостровом на сході. Цоколем западини в її північній частині є занурений край «древньої» Східноєвропейської платформи (СЄП), а в південній частині – похований фундамент Скіфської плити. Межа між цими геоструктурами за даними дослідників останніх років, що базуються на аналізі результатів найновіших

геолого-геофізичних робіт проводиться по Південно-Українському (Азово-Голіцинському – у різних літературних джерелах називається по-різному) глибинному розломі (Рис. 1).

Глибинна будова Чорноморської западини обумовлена геологічною будовою її трьох геоструктурних зон, а саме: шельфу з «материковою» земною корою, континентального схилу з корою «перехідного» типу та ложем моря з «субокеанічною» корою. Відомо, що кора континентального типу з «гранітно-гнейсовим» шаром розвинута в межах шельфу, в «перехідній» зоні материкового схилу цей шар розпочинає виклинюватися і повністю зникає під ложем моря, змінюючись корою «океанічного» типу.

Головною рисою глибинної тектоніки регіону є блокова будова фундаменту і нижніх горизонтів осадочного чохла. В межах Чорноморського регіону глибинні розломи є межею підняття і прогинів, вони також поділяють блоки земної кори з різним геолого-історичним розвитком.



Примітка. Фрагмент карти залучено із джерела [http://www.osvitanet.com.ua/base_book/eography8/g8_11.html]

Рис. 1. Фрагмент карти тектонічна будова України

Fig. 1. Fragment card tectonic structure Ukraine

У структурі осадочного чохла в межах північно-західного шельфу Чорного моря виділяються наступні структурні елементи: Північно-Українська монокліналь, Криловський прогин, Кілійсько-Зміїна зона підняття (СЄП); Каркінітсько-Північно-Кримський прогин, Крайова ступінь, Кала-

мітське підняття і Альмінська депресія (Скіфська плита) [7, 9 – 14]. Структурні елементи досліджуваного регіону ускладнені локальними підняттями акумулятивної та тектонічної природи.

Розглядаючи районування цих структур, слід наголосити, що до «древньої» СЄП приурочені локальні підняття акумулятивного типу, а до «молодої» Скіфської плити – тектонічного.

Принципова різниця структурних елементів СЄП і Скіфської плити полягає в тому, що вони мають різний стратиграфічний обсяг осадочного чохла. В межах СЄП до складу чохла входять верхньопротерозойські і фанерозойські відклади. Осадочний чохол Скіфської плити складається мезокайнозойськими утвореннями, за виключенням тріасово-юрських. Значну частину об'єму осадочного чохла СЄП складають палеозойські відклади, а Скіфської плити – крейдово-палеогенові [1].

У відповідності до фаз тектонічного розвитку регіону в осадочному чохлі СЄП виділяються наступні структурні комплекси: байкальський (верхній протерозой), каледонський (кембрій – нижній девон), герцинський (середній девон – нижній тріас), кімерійський (середній тріас – середня юра) і альпійський (верхня юра – антропоген). Осадочний чохол Скіфської плити складений альпійським комплексом.

Більшу північно-західну частину Чорного моря займає шельф. Особливості його будови, як і будови материкового схилу, визначаються тектонічною будовою прилеглої суші. Широка смуга шельфу – це окраїна СЄП і прилеглої до неї Скіфської плити. Найбільш рівною і пологою частиною шельфу є прилегла до берега зона моря з глибинами 30...40 м, що утворена внаслідок інтенсивних сучасних абразійно-акумулятивних хвильових процесів. Зовнішня, більш широка частина шельфу, вирівняна слабкіше, має значні кути нахилу, які збільшуються до краю шельфу. На глибинах 60...70 м виділяються невеликі нерівності дна, що мають вигляд неглибоких улоговин та підняття із амплітудою в декілька метрів [11].

З геоморфологічної карти (Рис. 2) досліджуваного регіону, можна бачити, що «нерівності» дна Чорного моря розпочинаються південніше зони глибинного розлому (субширотного напрямку), який відділяє СЄП від Скіфської плити, де сконцентровані основні локальні підняття тектонічного походження. Вони приурочені до більш «активної» в орогенічному відношенні території.

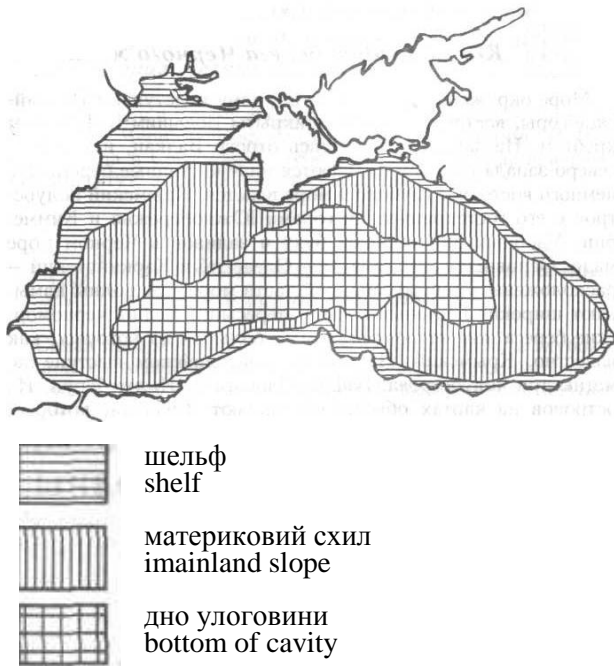


Рис. 2. Рельєф дна Чорного моря

Fig. 2. The topography of the Black Sea

Більшість епіцентрів землетрусів, які відбулися за період 1927 – 1986 р., знаходились в акваторії Чорного моря. За цей період зареєстровано 2477 землетрусів (без урахування транзитних) різної інтенсивності, за звичай їх осередки розмішувалися на глибині близько 20 і рідко 30 км [6]. Тобто, всі вони відносяться до типу неглибоких корових. В залежності від геодинамічної обстановки блоки переміщуються один відносно одного, як у горизонтальному, так і вертикальному напрямках [4, 9, 11, 14]. Зміщення по них коливається від частки міліметра до 9...10 м, а інколи і більше [6]. При цьому змінюється рельєф поверхні суші і морського дна.

Як відомо з геолого-геофізичних та геодезичних даних, нині Чорне море перебуває

в трансгресивній фазі. Швидкість «відступу» берегової лінії на різних ділянках коливається в межах від 1 до 3 м/рік [5, 10].

Доказами, що локальні структури тектонічного походження мають глибинну природу, є те, що при такій «швидкій» трансгресії, зв'язок їх з глибинними горизонтами не припиняється (не руйнується).

Стосовно акумулятивних форм рельєфу морського дна, то можна констатувати, що основна їх кількість знаходиться на ділянці «древньої» СЄП, яка затоплена морем. Переважно вони розміщені на глибинах більше 30...40 м. Отже, на них не впливають сучасні хвильові процеси. В трансгресивну фазу, основним місцем розвантаження теригенного матеріалу є шельф. Аналізуючи неотектонічний стан сучасного моря можна виділити два різновиди трансгресивних фаз:

1) фаза, при якій зростає площа моря але при цьому середня глибина його не зменшується;

2) фаза, в яку площа моря збільшується, а середня глибина його зменшується (відчувається хвильовий вплив).

У першому випадку трансгресивної фази, тобто коли потужність водного шару над акумулятивними формами не зменшується, ці локальні структури виконують роль тимчасової перешкоди (це і є ймовірно час формування палеодолин) для надходження теригенного матеріалу в глиб акваторії Чорного моря. За цей «короткий» у геологічному розумінні час, вони інтенсивно нарощують свою площу у напрямку суші, з якої виноситься ріками теригенний матеріал, при цьому «ядро потужності» їхнього розташування лишається на тому ж самому місці.

При наступній різновидності, процес частково повторюється. Коли на локальні підняття акумулятивного походження розпочинають інтенсивно впливати хвильові процеси, то при цьому відбувається зменшення потужності осадового шару, а нарощування їх площі частково відбувається за рахунок самого ж локального підняття (акумулятивного походження), у залежності від переваги напрямку вітру у даний гео-

логічний час. Отже, з конфігурації таких форм можна судити про палеогідрологічні умови території.

Коли рівень моря «різко» зменшується, відбувається міграція акумулятивних форм у напрямку який залежить від гідрологічних умов, які склалися на цей час на даній ділянці акваторії Чорного моря. Відповідно відбувається перебудова стратиграфічного розрізу, в якому основу акумулятивної форми складають «наймолодші» відклади, а «древні» виповнюють її кривлю. Літературні джерела свідчать, що більшість структур акумулятивного походження є перевідкладеними.

Розглядаючи схему температурних аномалій морського дна (автор В.М. Перерва, 1995 та ін.) потрібно відзначити, що локальні структури тектонічного походження більш чітко фіксуються у тепловому режимі, тобто основа їх є «розігрітою», а в акумулятивній формі основа – «холодна».

У більшості випадків структури тектонічного походження продовжують підніматися на новому етапі тектогенезу, вони чітко фіксуються в рельєфі акумулятивними формами типу барів і найбільш активні мають на склепінні лагуну, дрібні малоамплітудні структури ідентифікуються мікроформами підводного рельєфу.

Порівнюючи схеми геологічних розрізів локальних структур тектонічного походження (підняття Голіцина – Шмідта) та акумулятивних (Одеська, Дністровська банки), слід звернути увагу на те, що вони відрізняються стратиграфічним розрізом та місцем свого розташування відносно структурних елементів (СЄП і Скіфська плита), які є різні в орогенічному відношенні.

ВИСНОВКИ

Підсумовуючи наші дослідження, слід зробити наступні висновки.

1. У локальних структур тектонічного походження, їх ядро не мігрує у горизонтальному напрямку, по відношенню до блоку, де вони розташовані.

2. Ядра акумулятивних форм рельєфу дна моря рухаються у горизонтальному на-

прямку, по відношенню до блоку де, вони розташовані.

3. Локальні структури тектонічного походження відрізняються від акумулятивних тим, що вони більш чітко проявляються у тепловому режимі, за сейсмічними, гравітаційними та магнітними даними.

4. В акумулятивних та тектонічних структурах відмічається різний стратиграфічний об'єм осадочного чохла, у локальних підняттях тектонічного походження відсутні верхньопротерозойські і фанерозойські відклади, тобто у їх побудові приймав участь тільки альпійський складчастий комплекс.

5. При побудові інженерних комунікацій, які будуть прокладатись по дну акваторії Чорного моря, слід враховувати природу структур, їх географію розташування і т.п.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Шнюков Е.Ф., Мельник В.И., Иноземцев Ю.И.** и др., **1985.** Геология шельфа УССР. Литология. Под ред. В.И. Мельника, Киев, Наук. думка, 192.
2. **Богаец А.Т., Бондарчук Г.К., Леськив И.В.** и др., **1986.** Геология шельфа УССР. Нефтегазоносность. Под ред. Е.Ф. Шнюкова, Киев, Наук. думка, 152.
3. **Шнюков Е.Ф., Иноземцев В.И., Лялько В.И.** и др., **1983.** Геология шельфа УССР. Твердые полезные ископаемые. Под ред. Е.Ф. Шнюкова. Киев, Наук. думка, 200.
4. **Соллугоб В.Б., Чекунов А.В., Пустильников М.Р.** и др., **1987.** Геология шельфа УССР. Тектоника. Под ред. Е.Ф. Шнюкова. Киев, Наук. думка, 152.
5. **Гранова А.К., 1996.** Аккумулятивные формы рельефа северо-западной части Черного моря. Геол. Журнал, Вып.1-2, 150-155.
6. **Игнатченко Н.А., 1996.** О влиянии землетрясений на образование газогидратов в осадках Черного моря. Геол. журнал, Вып. 1-2, 187-192.
7. **Олена Іванік, 2015.** Моделивання впливу небезпечних геологічних процесів на функціонування транспортних природно-техногенних систем в умовах морського середовища. Підводні технології, Вип.01, 13-22.
8. **Петро Куліков, Михайло Сукач, 2016.** Програма розробки корисних копалин Світового океану. Підводні технології, Вип.03, 3-13.

9. **Гаркаленко І.А., Пустыльніков М.В., Сологуб В.Б. и др., 1967.** Основные черты строения Северного Причерноморья и западного Передкавказья. Геофиз. сб., Вып.20, 29-39.
10. **Половка С.Г., 1999.** Зв'язок сучасних морфоструктур (сучасного рельєфу) дна північно-західного шельфу Чорного моря з глибинними структурами тектоносфери: дис... канд. геол. наук: 04.00.10, Київ, 182.
11. **Гончаров А.Ф., Непрочнов Ю.П., Непрочнова А.Ф. и др., 1966.** Рельеф дна и глубинное строение Черного моря к югу от Крыма. Изд-во АН СССР, Сер. геол., Вып.7, 64-74.
12. **Чекунов А.В., 1987.** Проблемы Черноморской впадины. Геофиз. журнал, Вып.4, 3-25.
13. **Чекунов А.В., Гакаленко І.А., Харченко Г.Е., 1965.** Древние докембрийские разломы юга Русской платформы и их продолжение в Северном Причерноморье. Строение нефтегазоносных провинций по геофизическим данным. Киев, Наук. думка, Геофиз. сб., Вып.3(14), 24-33.
14. **Червинская М.В, Гуревич Б.А., 1959.** К вопросу о тектонике Причерноморской впадины. Совет. геол., Вып.4, 83-92.
7. **Olena Ivanik, 2015.** Modelyuvannya vplivu nebezpechnih geologichnih protsesiv na funktsionuvannya transportnih prirodno-tehnogennih sistem v umovah morskogo seredovischa. Pidvodni tehnologiyi, Vyp.01, 13-22 (in Russian).
8. **Petro Kulikov, Mihaylo Sukach, 2016.** Programa rozrobki korisnih kopalyn SvItovogo okeanu. Pidvodni tehnologii, Vol. 03, 3-13 (in Ukrainian).
9. **Garkalenko I.A., Pustyl'nikov M.V., Sologub V.B. i dr., 1967.** Osnovnyie chertyi stroeniya Severnogo Prichernomor'ya i zapadnogo Peredkavkaz'ya. Geofiz. sb., Vol. 20, 29-39 (in Russian).
10. **Polovka S.G., 1999.** Zv'yazok suchasnykh morfostruktur (suchasnogo reljefu) dna pivnichnozakhidnogo shelfu Chornogo mor'ya z glibinnimi strukturami tektonosfery: dis. kand. geol. nauk: 04.00.10, Kyiv, 182 (in Ukrainian).
11. **Goncharov A.F., Neprochnov Yu.P., Neprochnova A.F. i dr., 1966.** Relef dna i glubinnoe stroenie Chernogo mor'ya k yugu ot Kryima. Izd. AN SSSR, Ser. geol., Vol. 7, 64-74 (in Russian).
12. **Chekunov A.V., 1987.** Problemy Chernomorskoy vpadyny. Geofiz. Zhurn, Vyp.4, 3-25 (in Russian).
13. **Chekunov A.V., Gakalenko A.I., Harchenko G.E., 1965.** Drevnie dokembriyskie razlomyi yuga Russkoy platformy i ih prodolzhenie v Severnom Prichernomorye. Stroenie neftegazonosnykh provintsiy po geofizicheskim dannym. Geofiz. sb., Vol. 3(14), Kiev, Nauk. dumka, 24-33 (in Russian).
14. **Chervinskaya M.V., Gurevich B.A., 1959.** K voprosu o tektonike Prichernomorskoy vpadyny. Sovet. geol., Vol. 4, 83-92 (in Russian).

REFERENCES

1. **Shnyukov E.F., Melnik V.I., Inozemtsev Yu.I. i dr., 1985.** Geologiya shelfa USSR. Litologiya. Kyiv, Nauk. dumka, 192 (in Russian).
 2. **Bogaets A.T., Bondarchuk G.K., Leskiv I.V. i dr., 1986.** Geologiya shelfa USSR. Neftegazonosnost. Pod red. E.F.Shnyukova, Kiev, Nauk. dumka, 152 (in Russian).
 3. **Shnyukov E.F., Inozemtsev V.I., Lyalko V.I. i dr., 1983.** Geologiya shelfa USSR. Tverdye poleznyie iskopaemyie. Pod red. E.F. Shnyukov, Kiev, Nauk. dumka, 200 (in Russian).
 4. **Sollugob V.B., Chekunov A.V., Pustilnikov M.R. i dr., 1987.** Geologiya shelfa USSR. Tektonika. Pod red. E.F. Shnyukova, Kiev, Nauk. dumka, 152 (in Russian).
 5. **Granova A.K., 1996.** Akkumulyativnyie formy relefa severo-zapadnoy chasti Chernogo mor'ya. Geol. zhurn., Vyp.1-2, 150-155 (in Russian).
 6. **Ignatchenko N.A., 1996.** O vliyanii zemletryaseniya na obrazovanie gazogidratov v osadkakh Chernogo mor'ya. Geol. zhurn. Vol. 1-2, 187-192 (in Russian).
- Accumulative and tectonic structure of the north-western shelf of the Black sea and their distinctive features**
- Sergii Polovka*
- Summary.** On the shelf of the Black Sea there are structures of various origins - accumulative and tectonic. When covering the basic diagnostic and distinctive features of the local structures of tectonic origin and accumulation. The influence of wave processes in the sedimentary structures.
- Key words:** Accumulative and tectonic structure of the north-western shelf of the Black Sea.

Impact of a hard cylinder with flat surface on the elastic layer

Vladislav Bogdanov

Serenidad Consulting Pty. Ltd.
The Marine Village, 4H Masthead Way, Sanctuary Cove QLD, Australia, 4212
vladislav_bogdanov@hotmail.com, orcid.org/0000-0002-3424-1801

Summary. Here author investigates the stress-strain states of an elastic layer engaged in impact with a hard cylinder with flat surface. The initial contact proceeds by that flat surface. We consider the contact problem with a dynamically changing contact zone. We use the same approach as in [2, 3], which is based on the reduction of the basic dynamical equations of the system stamp-layer to an infinite system of Volterra integral equations of the second kind. This approach sets the stage for the efficient numerical analysis of the problem and for reliably determining the quantitative dynamical and kinematic characteristic describing the collision process as functions of the initial impact velocity and the parameters of the elastic layer.

Key words: impact, elastic, layer, plane problem, hard cylinder.

INTRODUCTION

Problems of impact hard and elastic bodies on the deformable bodies remain relevant and researched in various models and formulations. One of the most important direction of such research is to identify the characteristics of destruction incised beam specimens at their destruction at the three-point bending using indenter. Relevant experiments make it possible to identify much-needed mechanical characteristic of the material – destruction toughness related to the stress intensity factor at the top of crack.

Since the process is dynamic and may be accompanied by substantial plastic deformation, its study is complex and multifaceted problem, which requires analysis of the impact on the experienced striker body, dynamic interaction of body and supports, beginning the process of destruction and its development. This subject is very wide and is associated with numerous publications. It were selected for that paper only sufficient minimum of such publications. In [14] was investigated dynamic problem about pipeline with flowing fluid inside with taking into account Coriolis force. In [1...5] were investigated dynamic problems of outside contact pressure to the metal constructions. The nonstationary problems [6...11] of impact interaction of absolute hard flat indenter with incised in the median section of beam specimens in dynamic elastic-plastic formulation are belong to the underlie theme. In paper [12] three dimension quasistatic problem in elastic-plastic formulation corresponding to [1, 3] was solved. It was revealed that stresses significantly different from the stresses obtained from the solution of a similar problem in the dynamic elastic-plastic formulation. In paper [4] it is solution of problem of plane strain state from three-point bending of the beam sample with middle notch. It was taken in account the process of unloading of the material. The plane stress

[5, 6], stain [8] and spatial [10, 11] problems of growing crack simulation were solved. In [5, 10] the crack length was increasing when at the top of crack the maximal stresses were absent. In [6, 8, 11] the crack was growing by generalized local criterion of brittle fracture. Destruction toughness of the material was determined on the base of solutions of plane strain [7] and spatial [1, 9] problems. The approach of studying the dynamic development of cracks in the experimental samples [26 – 29], based on the method of Rayleigh was proposed.

The bulk of publications of study of the strain-stress state of the impact interaction is in elastic formulation. In elastic formulation plane [2, 15] and axisymmetric [16] problems of the impact of hard bodies on the elastic layer were investigated. In [17] it was investigated the effect of nonstationary loading on the front surface of the elastic half-strips. In [23] the problem of flat elastic dynamic interaction of the absolute hard body with homogeneous isotropic elastic half-space at supersonic stage. Here it is assumed that the contact zone can be multiply region. For solving the initial Cauchy problem for a system of quasi-linear differential equations the hybrid methods were developed. The impact of the hard cylinder [2] is interesting as a limiting case of the impact of an elastic shells [13].

In this paper it was used an approach [2, 13, 24], which based on the reduction of initial dynamics equations of the system shell-layer to the infinite system of Volterra integral equations of the second kind. The size of the initial contact zone between cylinder and top surface of the layer is equal to the width of cylinder flat surface.

STATEMENT OF THE PROBLEM

A hard cylindrical body with flat surface moving transversely along a path perpendicular to the surface of an elastic layer $0 \leq z \leq H$ reaches the surface at the time $t = 0$. Initial contact is made along the plane flat surface which is parallel to axis of the

cylinder. We attach a moving cylindrical coordinate frame rOz' to the stamp, its z axis coinciding with the axis of the cylinder, and with the layer we associate a fixed Cartesian coordinate frame xyz .

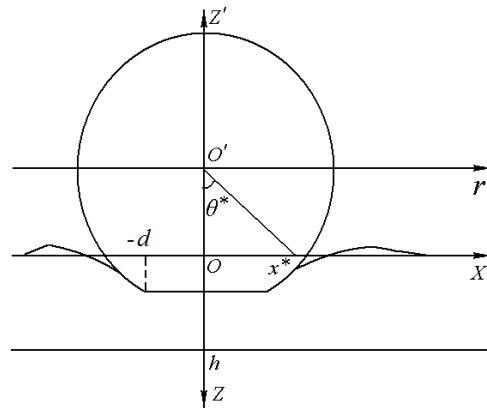


Fig. 1. Schema of system stamp-layer

The stamp penetrates (Fig.1) the elastic layer at a velocity $V_T(t)$, ($0 \leq t \leq T$) with the initial value $V_0 = V_T(0)$, where T is the total time of interaction of the stamp with the layer. We introduce the dimensionless variables.

$$t' = \frac{C_0 t}{R}, \quad x' = \frac{x}{R}, \quad z' = \frac{z}{R}, \quad u'_t = \frac{u_t}{R},$$

$$\sigma'_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{K}, \quad v'_T = \frac{v_T}{C_0}, \quad w'_T = \frac{w_T}{R}, \quad p' = \frac{p}{KR},$$

$$q' = \frac{q}{KR}, \quad M' = \frac{M}{\rho R^2}, \quad (i, j = x, y, z),$$

$$\beta^2 = \frac{C_s^2}{C_0^2} = \frac{\mu}{K}, \quad \alpha^2 = \frac{C_p^2}{C_0^2} = \left(1 + \frac{4\mu}{3K}\right),$$

$$C_0^2 = \frac{K}{\rho}, \quad b^2 = \frac{\beta^2}{\alpha^2} = \frac{3\mu}{3K + 4\mu},$$

where ρ, μ, K, C_p and C_s are the density, the shear modulus, the volumetric strain modulus, and the wave propagation velocities in the elastic layer.

The equations of motion of the elastic layer are written in the form [3].

$$\Delta\varphi = \frac{\partial^2\varphi}{\alpha^2\partial t^2}, \Delta\psi = \frac{\partial^2\psi}{\beta^2\partial t^2}, \Delta \equiv \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}.$$

If the shear modulus μ is set equal to zero, the equations of motion of the elastic medium go over to the acoustical equations. With Eq.(1) taken into account, the physical quantities are expressed in terms of the wave potentials by the relations

$$\begin{aligned} u_x &= \frac{\partial\varphi}{\partial x} + \frac{\partial\psi}{\partial z}, u_x = \frac{\partial\varphi}{\partial z} - \frac{\partial\psi}{\partial x}, u_y = 0. \\ \sigma_{zz} &= (1-2b^2)\frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2} + 2\beta^2\left(\frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial x\partial z}\right), \\ \sigma_{xz} &= 2\beta^2\frac{\partial^2\varphi}{\partial x\partial z} + \frac{\partial^2\psi}{\partial t^2} - 2\beta^2\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2}, \\ \sigma_{xy} &= \sigma_{yz} = 0, \\ \Theta &= \sigma_{zz} + \sigma_{xx} = 2(1-b^2)\frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2}, \sigma_{xx} = \Theta - \sigma_{zz}, \end{aligned} \quad (1)$$

where $\mathbf{u} = (u_x, u_y, u_z)$ is the displacements vector, and σ_{zz} and σ_{zx} are the components of the stress tensor. In solving the problem, we use the same approach as in [18, 19, 21], which enables us to identify the linear coordinates along the surface of the layer and the projectile in the early stage of penetration, thereby validating the approximate relations.

$$r \approx \theta, \text{ctg}\theta \approx 1/\theta. \quad (2)$$

According (2) for the displacement u_z and pressure p follow dependents will be performed

$$\begin{aligned} u_z(t, x, 0) &= w_T(t) - H(|x| - d) \times \\ &\times \left(1 - \sqrt{1 - (|x| - d)^2}\right), \\ w_T(t) &= \int_0^t V(\tau) d\tau, p(t, x) = -\sigma_{zz}(t, x, 0), |x| < x^*. \end{aligned} \quad (3)$$

Linearized boundary conditions are

$$\left. \frac{\partial u_z}{\partial t} \right|_{z=0} \equiv V(t, x) = v_T(t), |x| < x^*(t). \quad (4)$$

$$\sigma_{zz}|_{z=0} = 0, |x| > x^*(t), \quad (5)$$

$$\sigma_{zx}|_{z=0} = 0, |x| < \infty.$$

At the boundary layer $z = h$ there is hard grip condition.

For interaction time $0 \leq t \leq T$ from the band we separate a finite size rectangle $\{|x| \leq l, 0 \leq z \leq h\}$, whereupon we can treat the problem of impact on the layer as the problem of impact on a strip. The length of the rectangle l so that the disturbances will not reach its lateral boundaries:

$$|x| = l \left(l > \alpha(T - t_0) + x^*(t_0), \left. \frac{dx^*}{dt} \right|_{t=t_0} \right).$$

We assign zero-valued initial conditions to the problem and on the lateral surface there are sliding fixing conditions

$$\begin{aligned} u_x|_{|x|=l} &= 0, \sigma_{zx}|_{|x|=l} = 0, \\ \varphi|_{t=0} &= \left. \frac{\partial\varphi}{\partial t} \right|_{t=0} = 0, \psi|_{t=0} = \left. \frac{\partial\psi}{\partial t} \right|_{t=0} = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

The movement of the cylinder as body has determined from Newton's second law

$$M \frac{\partial^2 w_T}{\partial t^2} = -F(t), V_T(0) = V_0, w_T(0) = 0, \quad (7)$$

where $F(t)$ – reaction force of the elastic layer, which is determined taking into account (3), (5) as an integral of pressure on the contact area:

$$F(t) = 2 \int_0^{x^*(t)} p(t, x) dx.$$

Taking into account the elevation of the medium and the slowing of the cylinder penetration into the elastic medium, we determine the boundary of the contact zone x^* from the condition:

$$w_T(t) - u_z(t, x^*, 0) - H(|x^*| - d) \times \\ \times \left(1 - \sqrt{1 - (|x^*| - d)^2}\right) = \\ \{0, |x| \leq x^*(t), \quad \varepsilon < 0, |x| > x^*(t)\}.$$

SHEMA AND METHODS

Taking the Laplace transform of Eqs. (2) with respect to the variable t , where s is the parameter of the transform, and applying Fourier separation of variables, we write the general solution of the equations, subject to the conditions of extinction of the disturbances at infinity, in the form [2, 24]

$$\varphi^L(s, x, z) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n(s) \times \\ \times \exp\left(-z\sqrt{s^2/\alpha^2 + \lambda_n^2}\right) \cos \lambda_n x + \\ + \sum_{n=0}^{\infty} B_n(s) \exp\left(z\sqrt{s^2/\alpha^2 + \lambda_n^2}\right) \cos \lambda_n x, \\ \psi^L(s, x, z) = \sum_{n=0}^{\infty} C_n(s) \times \\ \times \exp\left(-z\sqrt{s^2/\beta^2 + \lambda_n^2}\right) \sin \lambda_n x + \quad (8) \\ + \sum_{n=0}^{\infty} D_n(s) \exp\left(z\sqrt{s^2/\beta^2 + \lambda_n^2}\right) \sin \lambda_n x.$$

where $\lambda_n = n\pi/l$, $n = \overline{0, \infty}$ denotes the Eigen values of the problem, determined from the conditions on the lateral surfaces of the half-strip (6).

The functions V , u_z , σ_{zz} , σ_{zx} on the surface of the medium of layer are represented by series in the system of Eigen functions of the problem and the function p is represented by trigonometry series:

$$V(t, x, 0) = \sum_{n=0}^{\infty} V_n(t) \cos \lambda_n x, \\ u_z(t, x, 0) = \sum_{n=0}^{\infty} u_{zn}(t) \cos \lambda_n x, \\ \sigma_{zz}(t, x, 0) = \sum_{n=0}^{\infty} \sigma_{zn}(t) \cos \lambda_n x, \quad (9) \\ \sigma_{zx}(t, x, 0) = \sum_{n=0}^{\infty} \sigma_{zxn}(t) \sin \lambda_n x. \\ p(t, x) = \sum_{n=0}^{\infty} p_n(t) \cos(nx). \quad (10)$$

In (3) using (9) and making use of the orthogonality of the trigonometric functions the expression for the n -th harmonic of pressure will be:

$$p_n(t) = - \sum_{m=0}^{\infty} \gamma_{mn}(x^*) \sigma_{zz,m}(t), \\ \gamma_{mn}(x^*) = \frac{\alpha}{\bar{N}_n^2} \int_0^{\theta^*} \cos nx \cos \lambda_m x dx, \\ \bar{N}_n^2 = \int_0^{\pi} \cos^2 nx dx. \quad (11)$$

Next the problem for equations (1) with follow boundary conditions has solved.

$$\left. \frac{\partial u_z}{\partial t} \right|_{z=0} = V(t, x), \quad \sigma_{zx}|_{z=0} = 0, \quad (12) \\ u_z|_{z=h} = 0, \quad u_x|_{z=h} = 0.$$

Satisfying conditions (5) with allowance for (8) and (9), applying the inverse Laplace transform, and invoking the convolution theorem, an equation that establishes an interrelationship between the components of the vertical part of the velocity and the normal stresses on the surface of the layer has been obtained:

$$\sigma_{zn}(t) = -\alpha \left(V_n(t) + \int_0^t V_n(\tau) F_n(t - \tau) d\tau \right), \quad (13)$$

where

$$F_n(t) = \tilde{F}_n(t) + \phi_1(n, t) + \int_0^t (J_0(\beta\lambda_n\xi)\phi_2(n, t - \xi) + J_0(\alpha\lambda_n\xi)\phi_3(n, t - \xi))d\xi.$$

$$\tilde{F}_n(t) = -\alpha\lambda_n J_1(\alpha\lambda_n t) + 2b\beta \left\{ \beta^2 \lambda_n^2 t^2 (\bar{J}_0(\alpha\lambda_n t) - \bar{J}_0(\beta\lambda_n t) - J_1(\alpha\lambda_n t) + J_1(\beta\lambda_n t)) + \beta\lambda_n t (bJ_0(\alpha\lambda_n t) - J_0(\beta\lambda_n t)) + (2 - b^2)\bar{J}_0(\alpha\lambda_n t) - \bar{J}_0(\beta\lambda_n t) \right\},$$

$$\phi_j(n, t) = \gamma_j(n, \alpha, \beta, h) + \sum_{i=2}^4 H_j(n, s_i, h) \cos \beta_i t,$$

$$\beta_i = |\text{Im} s_i|, \quad (i = 2, 3, 4), \quad (j = 1, 2, 3),$$

$$H_j(n, s_i, h) = 2N_j(n, s_i) / \Delta(s_i), \quad \gamma_j(n, \alpha, \beta, h) = -(\delta_{3j}b_0 + B_j / a_1^2 + D_j / b_1^2 + F_j / C_1^2) / a_0,$$

$$\Delta(s) = a_0 s^2 (9s^6 + 7(a_1 + b_1 + c_1)s^4 + 5(a_1 b_1 + a_1 c_1 + b_1 c_1)s^2 + 3a_1 b_1 c_1), \quad a_0 = b^4 h^6 / 108,$$

$$a_1 = \beta^2 \lambda_n^2 + 6\alpha^2 / h^2, \quad b_1 = \beta^2 (\lambda_n^2 + 6 / h^2),$$

$$c_1 = 3\beta^2 / h^2 + \alpha^2 \lambda_n^2, \quad N_k(n, s) = a_{0k} + a_{1k} s^2 + a_{2k} s^4 + a_{3k} s^6, \quad (k = 1, 2), \quad N_3(n, s) = a_{03} + a_{13} s^2 + a_{23} s^4 + a_{33} s^6 + a_{43} s^8, \quad a_{01} = 2h\beta^9 b \lambda_n^2 \times (1 + b^2)(1 + h^2 \lambda_n^2 - 2h^2 \lambda_n^4 / 3), \quad a_{11} = \beta^5 b (\beta^2 + 2h^2 \lambda_n^2 (\beta^2 (1 + b^2)(1 + h^2 \lambda_n^2 / 3) - b^2 (2\beta^2 (1 + \lambda_n^4 / 3) - h^2 \lambda_n^2 (1 - b^2)^2 / 6))) / h, \quad a_{21} = \beta^5 b h ((1 + b^2)(1 + h^2 \lambda_n^2 / 3) + h^2 \lambda_n^2 (1 + 2b^2 - 3b^4) / 3) / 2,$$

$$a_{31} = \beta^3 b h^3 (1 + 6b^2 + b^4) / 24, \quad a_{02} = 2\beta^{10} b \lambda_n^4 \times (2b^2 + h^2 \lambda_n^2 (2(1 + b^2) + 13h^2 \lambda_n^2 / 20) / 3),$$

$$a_{32} = \beta^4 b^3 \lambda_n^2 (1 + 2b^2 + b^4) / 6, \quad a_{12} = 2\beta^8 \times b \lambda_n^2 (6b^2 + (2 + b^2(5 + b^2))h^2 \lambda_n^2 + (7 / 20 + b^2 \times (7 / 5 + 2b^2))h^4 \lambda_n^4) / 3, \quad a_{22} = 2\beta^6 b h^2 \lambda_n^2 (b^2 (1 +$$

$$b^2 (10 + b^2 / 5))h^2 \lambda_n^2), \quad a_{03} = -2\beta^{10} \lambda_n^4 (2 + (19 / 3 - b^2)h^4 \lambda_n^4 / 20 + 2(1 - b^2 / 3)h^2 \lambda_n^2), \quad a_{13} = -2\beta^8 \lambda_n^2 (2 + (2 + b^2 / 3 + b^4 / 3)h^2 \lambda_n^2 + (23 / 60 + 3b^2 / 10 + 2b^4 / 15)h^4 \lambda_n^4), \quad a_{23} = -\beta^6 (2 + (2 + 10b^2 / 3 + 4b^4 / 3)h^2 \lambda_n^2 + (7 / 12 + 19b^2 / 20 + 8b^4 / 15 + \beta^2 b^2 (1 + 2b^2 + b^4 / 5) / 3)h^4 \lambda_n^4) / 2,$$

$$a_{43} = -\beta^4 h^4 b^2 (1 + 2b^2 + b^4 / 5) / 24, \quad b_0 = 2a_{43} / a_0, \quad a_{33} = -\beta^4 (h^2 (b^2 (1 + b^2 / 3) + (8b^4 / 5 + 3b^2 + 4 / 5)h^2 \lambda_n^2 / 12) + (1 + 2b^2 + b^4 / 5)\beta^2 \times h^2 \lambda_n^2 b^2 / 3), \quad \|B_j, D_j, F_j\|(a, b, c) = \|B, D, F\|(b_{2j}, b_{1j}, b_{0j}), \quad B = (a_1^2 a + c - a_1 b)(c_1 - b_1) / \Delta_0, \quad D = (b_1^2 a + c - b_1 b)(a_1 - c_1) / \Delta_0,$$

$$F = (c_1^2 a + c - c_1 b)(b_1 - a_1) / \Delta_0, \quad \Delta_0 = a_1^2 (c_1 - b_1) + b_1^2 (a_1 - c_1) + c_1^2 (b_1 - a_1), \quad b_{0k} = a_{0k} - a_{3k} m_2 / a_0, \quad b_{1k} = a_{1k} - a_{3k} l_2 / a_0, \quad b_{2k} = a_{2k} - a_{3k} k_2 / a_0, \quad (k = 1, 2), \quad b_{03} = a_{03} - m_2 (a_{33} - a_{43} k_2 / a_0), \quad b_{13} = a_{13} - a_{43} m_2 / a_0 - l_2 (a_{33} - a_{43} \times k_2 / a_0) / a_0, \quad b_{23} = a_{23} - a_{43} l_2 / a_0 - k_2 (a_{33} - a_{43} / a_0) / a_0, \quad k_2 = (a_1 + b_1 + c_1) a_0, \quad l_2 = (a_1 b_1 + a_1 c_1 + b_1 c_1) a_0, \quad m_2 = a_1 b_1 c_1 a_0, \quad s_1 = 0,$$

$$s_2 = i\alpha \sqrt{6 / h^2 + \lambda_n^2}, \quad s_3 = i\beta \sqrt{6 / h^2 + \lambda_n^2},$$

$$s_4 = i\sqrt{3\beta / h^2 + \alpha^2 \lambda_n^2}.$$

The exponentials in (8) were laid out in a power series, which were deducted six first members. Here $J_0(t)$, $J_1(t)$ – Bessel functions of the first kind of zero and first order, respectively, and the function $\bar{J}_0(t)$ is defined as follows:

$$\bar{J}_0(t) = \int_0^t J_0(\tau) d\tau.$$

It is easy to verify that when the thickness of the layer tends to infinity $\lim_{h \rightarrow \infty} \phi_i(h, n, t) = 0$, ($i = 1, 2, 3$) functions ϕ_i are zero and equation (13) coincides with the corresponding equity for the half-space [18, 20, 24].

Using last relation, the mixed boundary conditions (4) and (5) were satisfied. Forming a series expansion in the Eigen functions and equating coefficients of like terms in $\cos \lambda_n x$, an infinite system of Volterra integral equations of the second kind was obtained:

$$V_n(t) + \sum_{m=0}^{\infty} \alpha_{mn}(x^*) \int_0^t V_m(\tau) F_m(t-\tau) d\tau = C_n(x^*) v_T(t), \quad (14)$$

where

$$\alpha_{mn}(x^*) = \frac{1}{N_n^2} \int_{x^*}^l \cos \lambda_m x \cos \lambda_n x dx,$$

$$C_n(x^*) = \frac{1}{N_n^2} \int_0^{x^*} \cos \lambda_n x dx, N_n^2 = \int_0^l \cos^2 \lambda_n x dx.$$

Transforming (7) and making use of (3), (10) and (11), we rewrite the equations of motion of the projectile in the form

$$\frac{dv_T(t)}{dt} = -\frac{2\alpha}{M} \left\{ v_T(t) x^*(t) + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\sin \lambda_n x^*(t)}{\lambda_n} \int_0^t V_n(\tau) F_n(t-\tau) d\tau \right\}. \quad (15)$$

NUMERICAL IMPLEMENTATION

The numerical implementation of the governing system of equations (14), (15) is based on a combination of the quadrature and reduction methods. The integrals in Eqs. (13) – (15) are evaluated according to the Gregory symmetrical quadrature formula for equidistant fifth-order nodes [25]. The Cauchy problem for the differential equation (15) is solved by the fourth-order Adams method with local truncation error $O(\Delta t^6)$ [25], where Δt

is the length of the subintervals into which the interval $[0, T]$ is partitioned. The initial phase of the solution is computed in steps of $\Delta t/16$. The order of reduction N is chosen from considerations of practical convergence. To smooth the oscillations encountered in the summation of finite number of terms of the series and to offset the Gibbs phenomenon, an averaging operation [22] was introduced, which in the case of the sum of a finite number of terms of a trigonometric series reduces to term-by-term multiplication of terms of the finite sum by the Lanczos multipliers $\sigma_n = (\sin(n\pi/N))/(n\pi/N)$, ($n = \overline{0, N}$).

Setting the shear modulus μ equal to zero, we obtain as a special case the problem of the impact of a shell on the surface of a fluid. An aluminium layer was considered as an example $V_0 = 0.003$, $\mu = 0.3582K$, $h/R = 0.02$, $M = 0.25$, $h = 2$, $T = 2$, $d = 0.05$ (Fig.1). Figures 2 – 5 shows the results of the calculations: normal stresses σ_{zz} (Fig.2) and the normal displacements u_z (Fig.3) at the middle point of initial contact area, the reaction of the layer P (Fig. 5), the penetration rate V of the projectile into the medium of layer (Fig.4).

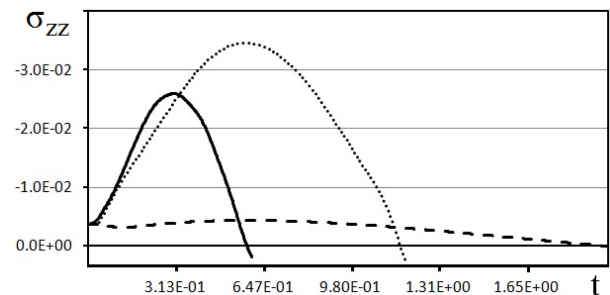


Fig. 2. The dependence of the normal stresses

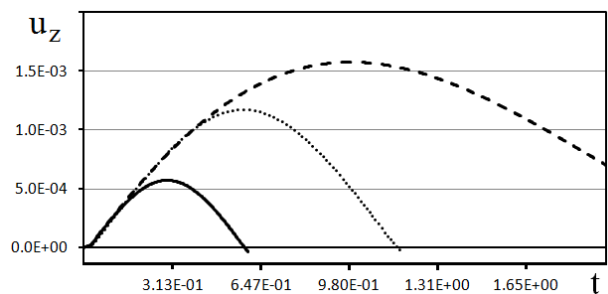


Fig. 3. The dependence of the normal displacement

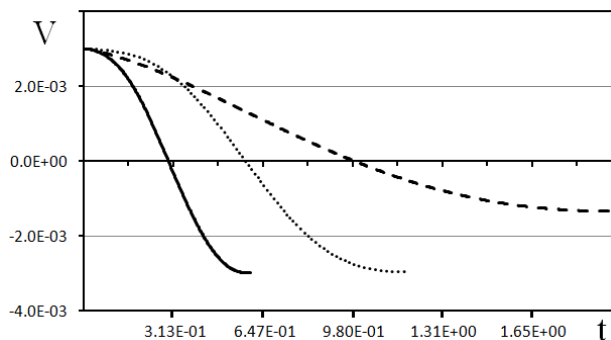


Fig. 4. The dependence of the velocity

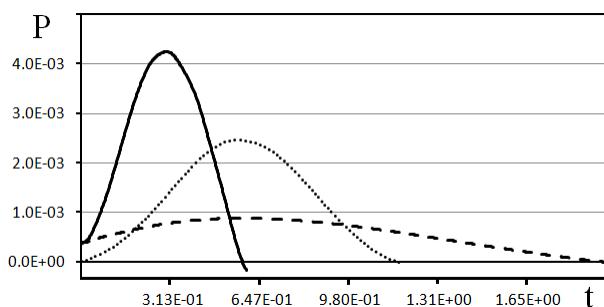


Fig. 5. The dependence of the elastic layer reaction

Solid curve corresponds to the case of the impact of hard cylinder with flat surface with width $2d$ on the elastic layer (Case 1). For comparison shown dash and dots curves which represent the cases of the impact of hard cylinder with flat surface $d = 0.05$ on the elastic half-space (Case 2) and hard cylinder $d = 0$ on the elastic layer (Case 3) corresponding. The maximal normal stresses σ_{zz} arise in case of the impact of hard cylinder on the elastic half-space. In Case 2 the normal stresses are significantly less than in Cases 1 and 3 and in Case 3 on 30% higher than in Case 1.

SUMMARY

Developed solution gives ability adequately simulate an impact processes of the impact of cylindrical flat body on the elastic layer especially when initial contact area is strip.

REFERENCES

1. **Bogdanov V.R., Sulim G.T., 2016.** Determination of the material fracture toughness by numerical analysis of 3D elastoplastic dynamic deformation. *Mechanics of Solids*, 51(2), 206-215; DOI 10.3103/S0025654416020084.
2. **Bogdanov V.R., 2015.** A plane problem of impact of hard cylinder with elastic layer. *Bulletin of University of Kyiv: Mathematics. Mechanics*, Nr.34, 42-47.
3. **Bogdanov V.R., 2009.** Three dimension problem of plastic deformations and stresses concentration near the top of crack. *Bulletin of University of Kyiv, Series: Physics & Mathematics*, Nr.2, 51-56.
4. **Bogdanov V.R., Sulym G.T., 2012.** The plane strain state of the material with stationary crack with taking in account the process of unloading. *Mathematical Methods and Physicomechanical Fields*, Lviv, 55, Nr. 3, 132-138.
5. **Bogdanov V.R., Sulym G.T., 2010.** The crack growing in compact specimen by plastic-elastic model of planar stress state. *Bulletin of University of Kyiv, Series: Physics & Mathematics*, Nr.4, 58-62.
6. **Bogdanov V.R., Sulym G.T., 2010.** The crack cleavage simulation based on the numerical modelling of the plane stress state. *Bulletin of University of Lviv, Series: Physics & Mathematics*, Nr.73, 192-204.
7. **Bogdanov V.R., Sulym G.T., 2011.** Evaluation of crack resistance based on the numerical modelling of the plane strained state. *Material Science*, 46, Nr.6, 723-732.
8. **Bogdanov V.R., Sulym G.T., 2011.** The cleavage crack simulation based on the numerical modelling of the plane deformation state. *Scientific collection «Problems of Calculation Mechanics and Constructions Strength»*, Dnepropetrovsk, Nr.15, 33-44.
9. **Bogdanov V.R., Sulym G.T., 2010.** Destruction toughness determination based on the numerical modelling of the three dimension dynamic problem. *International scientific collection «Strength of Machines and Constructions»*, Kyiv, Nr.43, 158-167.
10. **Bogdanov V.R., Sulym G.T., 2012.** A three dimension simulation of process of growing crack based on the numerical solution. *Scientific collection «Problems of Calculation Mechanics and Constructions Strength»*, Dnepropetrovsk, Nr.19, 10-19.

11. **Bogdanov V.R., Sulym G.T., 2012.** The crack cleavage simulation in a compact specimen based on the numerical modelling of the three dimension problem. Scientific collection «Methods of Solving Applied Problems in Solid Mechanics», Dnepropetrovsk, Nr.13, 60-68.
12. **Bogdanov V.R., 2011.** About three dimension deformation of an elastic-plastic material with the profile of compact shape. Theoretical and Applied Mechanics, Donetsk, Nr. 3 (49), 51-58.
13. **Bogdanov V.R., Lewicki H.R., Pryhodko T.B., Radzivil O.Y., Samborska L.R., 2009.** The planar problem of the impact shell against elastic layer. Visnyk NTU, Kyiv, Nr.18, 281-292.
14. **Gavrilenko V., Kovalchuk O., Limarchenko O., 2015,** Influence of Coriolis forces on the dynamics of the pipeline with the fluid at different ways of fixing. Underwater Technologies, Nr.02, 59-65.
15. **Kubenko V.D., 2007.** Nonstationary indentation of blunt hard body into the surface of the elastic layer. Dop. NAN Ukrainy, Nr. 4, 58-65.
16. **Kubenko V.D., 2008.** Axisymmetric indentation of blunt hard body into the surface of the elastic layer. Dop. NAN Ukrainy, Nr.1, 58-67.
17. **Kubenko V.D., Gavrilenko V.V., Tarlakovskii D.V., 2008.** Influence of a nonstationary loading on the surface of the elastic band. Dop. NAN Ukrainy, Nr.1, 59-65.
18. **Kubenko V.D., Bogdanov V.R., 1995.** Planar problem of the impact of a shell on an elastic half-space. International Applied Mechanics, 31, Nr.6, 483-490.
19. **Kubenko V.D., Bogdanov V.R., 1995.** Axisymmetric impact of a shell on an elastic half-space. International Applied Mechanics, 31, Nr.10, 829-835.
20. **Kubenko V.D., Popov S.N., Bogdanov V.R., 1995.** The impact of elastic cylindrical shell with the surface of elastic half-space. Dop. NAN Ukrainy, Nr.7, 40-44.
21. **Kubenko V.D., Popov S.N., 1988.** Plane problem of the impact of hard blunt body on the surface of an elastic half-space. Pricl. Mechanika, 24, Nr.7, 69-77.
22. **Lanczos K., 1961,** Practical methods for applied analysis, Moskva, Fizmatgiz, 524.
23. **Medvedski A.L., Tarlakovskii D.V., 2011.** Nonstationary contact of the non-deformable impactor with imperfections and elastic half-plane to the supersonic area of penetration. Vestnik MAI, 18, Nr.6, 125-132.
24. **Popov S.N., 1989.** Vertical impact of the hard circular cylinder lateral surface on the elastic half-space. Pricl. Mechanika, 25, Nr.12, 41-47.
25. **Hemming R.V., 1972.** Numerical Methods, Moskva, Nauka, 399.
26. **Rokach I.V., 2003.** On the numerical evaluation of the anvil force for accurate dynamic stress intensity factor determination. Engineering Fracture Mechanics, 70, 2059-2074.
27. **Rokach I.V., 1998.** Modal approach for processing one- and three-point bend test data for dsif-time diagram determination. Part I-theory. Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, 21, 1007-1014.
28. **Rokach I.V., 2004.** Influence of contact compliance on dynamic stress intensity factor variation during an impact test. International Journal of Fracture, 126, 41-46.
29. **Weisbrod G., Rittel D., 2000.** A method for dynamic fracture toughness determination using short beams. International Journal of Fracture, 104, 89-103.

Удар жесткого цилиндра с плоским срезом по упругому слою

Владислав Богданов

Аннотация. Исследуется напряженно-деформированное состояние упругого слоя, который деформируется в результате удара жесткого цилиндра с плоской площадкой. Начальный контакт происходит по поверхности плоского среза. Рассматривается краевая задача с динамически изменяющейся зоной контакта. Используется подход, который сводит уравнения динамики системы штамп-слой к бесконечной системе интегральных уравнений Вольтерра второго рода. Это дает возможность эффективно провести численный анализ задачи и достоверно определить динамические количественные и кинематические характеристики, описывающие процесс удара в зависимости от начальной скорости ударника и упругих параметров слоя.

Ключевые слова: удар, упругий, слой, плоская задача, жесткий цилиндр.

Kinematics parameters of twosectional trencher's

Mykhailo Sukach, Sergij Lysak

Київський національний університет будівництва і архітектури
Повітрофлотський просп., 31, Київ, Україна, 03680
msukach@ua.fm, orcid.org/0000-0003-0485-4073

Summary. The analyses of working process of trencher that fully uncovers the pipeline along its perimeter, was made. Interrelations between kinematic and geometric parameters of the working equipment were defined.

Key words: kinematic analysis, trencher, pipeline, working equipment.

INTRODUCTION

Reliability of Ukraine's pipelines transportation is a very important indicator of stability of supplying Western European countries with fuel and energy resources. Taking into account that pipelines system was built most actively in 1960 – 80 years, most of them are operating with significant exceed of service life. This results in pipeline's operating safety decrease, which depends on timely and high quality overhaul [1...5].

Pipeline's operational reliability significantly depends on insulating coating corrosion, that appears due to intensive aging process. This usually leads to frequent accidents and stoppages of oil transferring to consumers [6 – 8].

New major repairs technology enables renewal of pipeline's efficiency without lifting pipe from the ground trench along the full length of repaired area [9, 10]. This repair is carried out by using a set of technologically connected special earthmoving machines

(Fig.1). One of them is a chain trencher, which opens the pipeline in a trench. The authors are presenting the adapted working equipment, which allows to fully uncover the pipeline along its perimeter, excluding at that the machine for digging under the pipe. Modernization of machine requires proper scientific basis of constructive and kinematic parameters of the working equipment, therefore addressing these problems is important [11, 12].

PURPOSE OF THE WORK

The purpose of the work is a kinematic analysis of the working process of a trencher that uncovers and simultaneously undermines the trunk pipeline.

THE MAIN RESULTS OF THE WORK

The trencher construction (Fig.2) proposed by the Authors consists of the base machine 1, which moves along the pipeline 2 and the working equipment 3 [13, 14]. Soil is worked and transported by chain sections 4, 5. Then the ground moved from the trench is evacuated by the conveyor 6. Equipment is operated by hydraulic cylinders 7, 8, 9. Controlling of the machine along the pipeline is done by tracking devices 10.

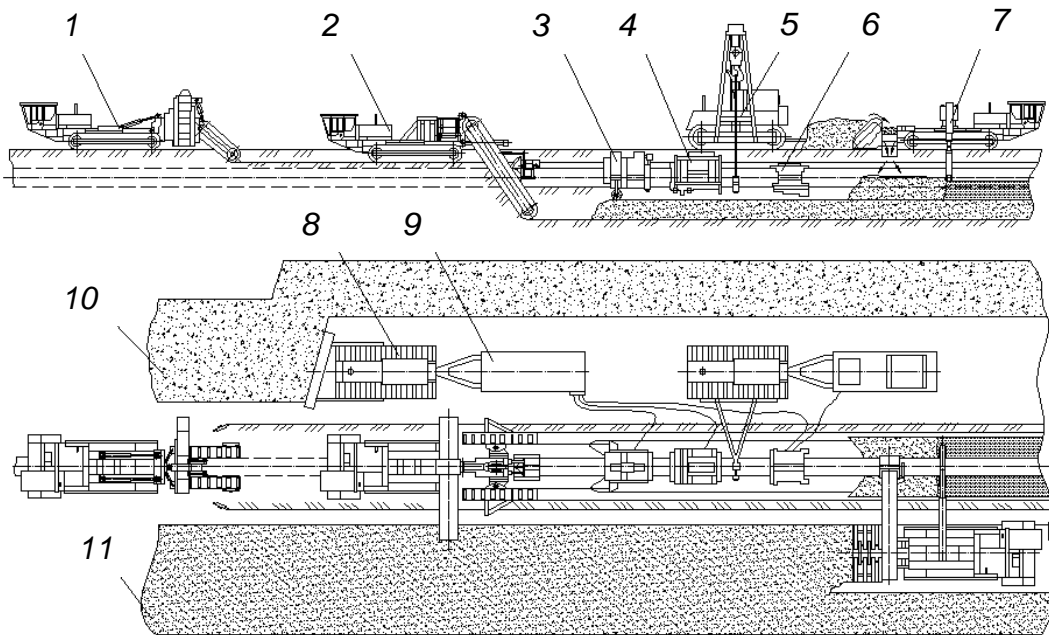


Fig.1. Technology of pipelines overhaul: 1 – machine of digging the ground by layers; 2 – pipeline uncovering machine; 3 – pipeline undermining machine; 4 – isolation removal machine; 5 – pipes-laying machine; 6 – isolation putting machine; 7 – machine for soil compaction; 8 – bulldozer; 9 – diesel power station; 10 – fertile ground; 11 – mineral soil

In regime of pipeline uncovering by two-sectional chain trencher, the working process represents the combination of two motions: motion of a chain with fixed on it cutting tool at velocity of v_c ; progressive motion of the base machine along the pipeline during a trench digging at velocity of v_M .

Thus, cutting tool performs a complex motion: together with the chain, it moves with respect to the machine and together with machine – with respect to the soil (bottom hole) [15].

1. Let's consider the kinematics of motion of a prototype-machine's working tool, with chain sections installed in parallel to each other (without undermining the pipe).

While making uncovering of underground pipeline with chain sections installed in parallel to each other, the machine is working in the mode of longitudinal digging excavator, when the plane of motion of the working tool's chains is in the same plane (or in parallel) with the main machine's motion.

Kinematic feature is in the cutting tool's motion trajectory deviation by angle α (Figs.3, 4), which is less than the tilt angle of working tool's carcass with respect to the bottom hole β [16]:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_c \sin \beta}{v_c \cos \beta + v_M}.$$

Analysis of this dependence demonstrates that the angle of deviation of cutting trajectory mainly depends on the angle of installation of the working tool's carcass and driving chain's velocity, as the machine's motion velocity is a relatively small amount.

As the chain sections are fixed at different angles to the bottom of the trench in order to cross the vertical axis of the trench during the pipes undermining (see Fig.2), the cutting tool trajectory deviation angles for each section will be different [17]. Let's fix the tilting angle to the bottom hole for one section (for example the right one) β_1 (usually it is about 60°).

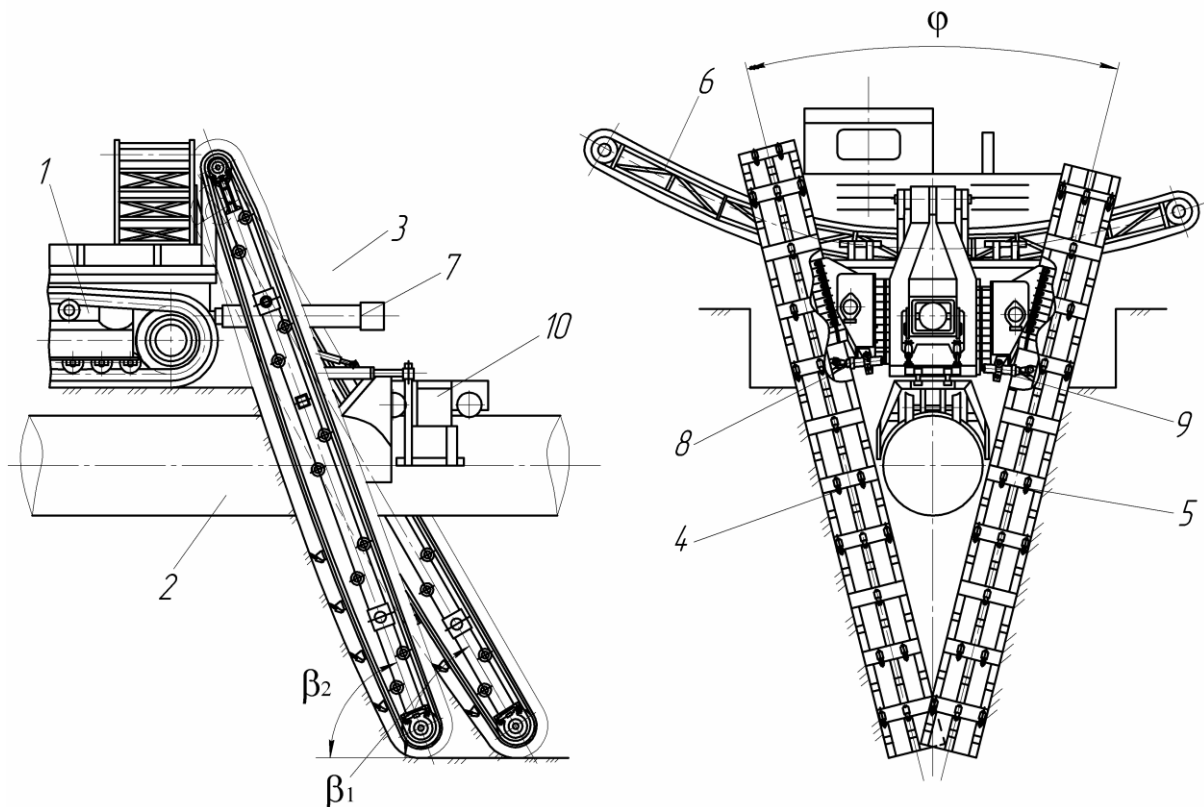


Fig.2. Chain trencher: 1 – base machine; 2 – pipeline; 3 – working equipment; 4, 5 – chain section; 6 – conveyor; 7 – 9 – hydraulic cylinders; 10 – control devices

Then, taking this into account, deviation of the cutting tool motion trajectory for the right sections will make up

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{v_{c1} \sin \beta_1}{v_{c1} \cos \beta_1 + v_M},$$

where v_{c1} – the working tool’s right section chain motion velocity; v_M – base machine motion velocity, or

$$\alpha_1 = \operatorname{arctg} \frac{v_{c1} \sin \beta_1}{v_{c1} \cos \beta_1 + v_M}.$$

For the left section, taking into account the fact that it is fixed at an angle β_2 , will make up

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{v_{c2} \sin \beta_2}{v_{c2} \cos \beta_2 + v_M},$$

or

$$\alpha_2 = \operatorname{arctg} \frac{v_{c2} \sin \beta_2}{v_{c2} \cos \beta_2 + v_M},$$

where v_{c2} – the working tool’s left section chain motion velocity;

The obtained formulas connect base machine motion velocity v_M and kinematic parameters of the relevant chain sections motion.

The parameters of the chips that are removed by the cutting instrument during machine’s operation are their length and width. The width of the chip depends on the geometrical parameters of the working tool, therefore its value is not calculated but is obtained basing on the working tool parameters.

Taking into consideration the kinematic parameters of the machine’s velocity (see Fig.3), the chip thickness h_2 for the left section of the working tool of $h_2 = s_2 \sin \alpha_2$, where s_2 –

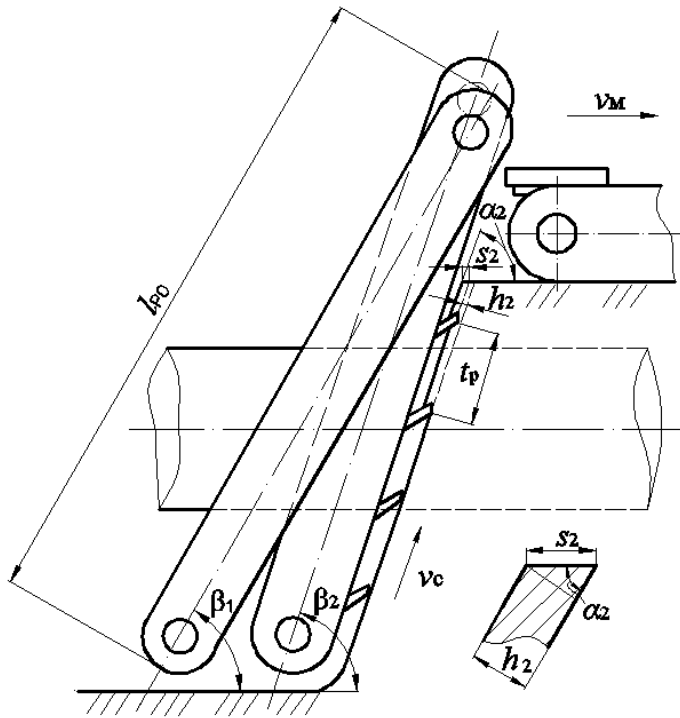


Fig. 3. Scheme of motion of the cutting bits of working tool's chain sections

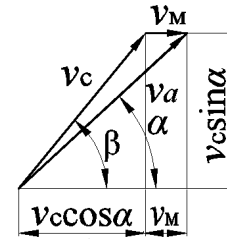


Fig. 4. Scheme of the chain working tool's velocity with the sections fixed in parallel

feeding for one girder with cutting bits of the left section (or the distance that is passed by the trencher for the time of coming out from the bottom hole of two successive girders). Similarly define the thickness of the chip h_1 for the right section of the working tool: $h_1 = s_1 \sin \alpha_1$, where s_1 – feeding for one girder with cutting bits of the right section.

Taking into account that base machine's motion velocity is a relatively small value in comparison to the chain's motion velocity, i.e. $v_M \ll v_{\text{л}}$, you can assume that angles $\beta \approx \alpha$, i.e. the soil cutting velocity corresponds approximately to the velocity of the chain of the corresponding section of the working tool. Therefore, we can write down:

$$h_1 = s_1 \sin \beta_1, \quad h_2 = s_2 \sin \beta_2.$$

Conveying of the cutting bits for the left and right sections will be

$$s_1 = t_p \frac{v_M}{v_{c1}}, \quad s_2 = t_p \frac{v_M}{v_{c2}},$$

where t_p – cutting bits layout pitch in the line of cutting. Taking into account these formulas, the thickness of the chip

$$h_1 = t_p \frac{v_M}{v_{c1}} \sin \beta_1, \quad h_2 = t_p \frac{v_M}{v_{c2}} \sin \beta_2.$$

Analyzing the latter formulas one can conclude that changing the motion parameters of base machine v_M and of chain v_c it is possible to adjust the thickness of the chip that is being cut h at the constant constructive and kinematic parameters of the working tool t_p i β . For a smooth adjustment of values v_M and v_c it is necessary to apply an adjustable hydraulic drive, because manual transmission, even with a significant number of gears, assumes the discreteness of change of these parameters.

Thus, we obtained the values of chain sections motion velocity parameters and values of soil chips parameters, which are cut at chain sections being fixed in parallel.

2. Let's consider now the kinematics of working tool motion during the process of digging under the pipeline, i.e. when the chain

sections are set to each other at an acute angle φ (Fig.5). At that the kinematics of the process is changing, what affects the working progress of the machines on the whole.

Absolute velocity v_a vector equation looks (see Fig. 5) $\vec{v}_a = \vec{v}_c + \vec{v}_M$, where \vec{v}_c – the velocity vector of the chain motion in the corresponding section of the working tool; \vec{v}_M – velocity vector of base machine motion during the trench digging.

As an example, let's consider the kinematics of motion of the left chain section of working tool. We have the spatial (three dimensional) coordinate system with coordinate axes x, y, z , point O – coordinate basic origin. Chains velocity v_c (and hence the plane of motion) will deviate from the plane of motion of the base machine by the angle $\varphi/2$, which provides crossing the vertical axis of the trench with lower parts of the working tool's sections. Velocity v_c is directed at an angle β to the plane xz (the plane of the bottom of the trench), which equals the angle at which the working tool's chain section carcass is fixed (installed).

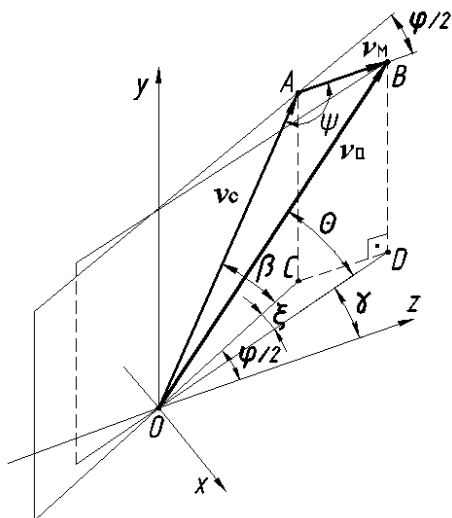


Fig.5. Scheme of the chain working tool velocity during the pipeline undermining (sapping)

Plane of the machines velocity vector v_M is in parallel to the plane (axis) of the tractor's velocity motion yz . Thus, we come to the absolute velocity of soil cutting v_a . Vector v_a is in the plane which deviates from the plane of tractor's motion at an angle γ and is at an angle θ to the horizontal plane xz (plane of the bottom hole).

Let's define the parameters v_a, θ, γ , for that let's consider the triangle ΔOAB , in which the sides $OA = v_c, AB = v_M$, the angle between them $\psi = 180^\circ - \varphi/2$. According to the theorem of cosines

$$v_a = \sqrt{v_c^2 + v_M^2 - 2v_c v_M \cos\left(180^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}.$$

In triangle ΔBDO :

$$\sin \theta = \frac{BD}{OB},$$

where $BD = AC = OA \sin \beta$.

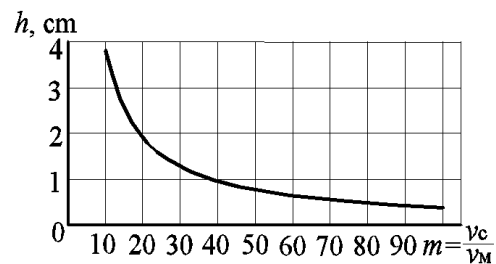


Fig.6. Dependence of chips thickness on constructively-kinematic parameters of working process

Taking into account that $OB = v_a$, $OA = v_c$, we come to $\sin \theta = \frac{v_a}{v_c \sin \beta}$, or

$$\theta = \arcsin \frac{\sqrt{v_c^2 + v_v^2 - 2v_c v_v \cos\left(180^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}}{v_c \sin \beta}$$

The obtained dependence combines parameters of motion velocities of the working tool v_c , of base machine v_M and of angles of chain sections carcass fixing to the horizontal plane of the bottom hole β and its rotation $\frac{\varphi}{2}$ for pipeline undermining.

Angle γ of deviation of the plane of soil cutting absolute velocity v_a from the tractor's motion plane yz according to Fig. 5 $\gamma = \frac{\varphi}{2} - \xi$, where ξ – the angle between the horizontal projections of the absolute velocity of cutting v_a and chain motion velocity v_c . In a triangle ΔCOD :

side $OC = OA \cos \beta$,
 $OD = OB \cos \theta$,
 $CD = AB = v_M$.

Replacing the corresponding sides of the triangle ΔCOD by horizontal projections of the velocities we obtain

$$\cos \xi = \frac{v_M^2 - v_a^2 \cos^2 \theta - v_c^2 \cos^2 \beta}{2v_c \cos \beta v_a \cos \theta},$$

or

$$\xi = \arccos \frac{v_M^2 - v_a^2 \cos^2 \theta - v_c^2 \cos^2 \beta}{2v_c \cos \beta v_a \cos \theta}.$$

Then angle

$$\gamma = \frac{\varphi}{2} - \arccos \frac{v_M^2 - v_a^2 \cos^2 \theta - v_c^2 \cos^2 \beta}{2v_c \cos \beta v_a \cos \theta}.$$

From the last formulas follows that the thickness of chip that is being cut by the chain sections during the pipes undermining, is

$$h_1 = t_p \frac{v_M}{v_{c1}} \sin \theta_1; \quad h_2 = t_p \frac{v_M}{v_{c2}} \sin \theta_2.$$

Motion velocity of trench excavator's chain usually equals $v_c = 0,4...2$ m/s, and the machine's motion velocity during the pipeline undermining is $v_M = 80$ m/h ($v_M = 0,022$ m/s). Graph on fig. 6 shows the dependence of the thickness of soil chip that is being cut on the constructive (cutting bits layout pitch, angle of carcass fixing) and kinematic (chain and machine's motion velocity) parameters of the process.

According to the graphic interpretation of the above dependency, as the chain's motion velocity increases, at machine's motion velocity being constant, the soils chips thickness decreases. At ratio $m = \frac{v_c}{v_M} = 10...50$ the rapid

reduction of chips thickness is observed, and at velocities ratio $m = 60...100$ this value has no significant change of parameter h . Therefore, in this range the change of chain velocity is inexpedient.

CONCLUSIONS

1. In result of machine's working process kinematic analysis it was established that the cutting bits motion trajectory α deviates from the working equipment's carcass fixing angle β .

2. The dependencies were obtained, which interrelate the geometric and kinematic parameters of the soil digging process, namely: the thickness of chips h , sections fixing angles towards the bottom hole ξ , γ , φ , cutting bits layout pitch t_p and other.

3. Basing on these dependencies one can define and regulate the motion velocity of chain v_c and machine v_M to provide the necessary thickness of the soil chips h , that are being cut by chain sections.

REFERENCES

1. **Musijko V., Kuzminets M., 2007.** Problemy stvorennya tehnologii ta tehniky dlia vykonannya zemlianyh robit pid chas kapital'nogo remontu promyslovyh truboprovodnyh magistralei. Girn., budiv., dor. ta melior. mashyny, Kyiv, Vol. 70, 56-64 (in Ukrainian).
2. **Eugene Gorbatenko, Irina Bratasyuk, Vladimir Sharov, 2015.** Mobile building is in coastal hydraulic engineering. Underwater Technologies, Vol.01, 22-32 (in Russian).
3. **Nikolay Zhuk, Myron Nazarian, Yury Stelmakhov, 2015.** "Great silk road": modern problems of reconstruction. Underwater Technologies, Vol.01, 59-64 (in Russian).
4. **Volodymyr Gryshyn, Lev Gembarskyi, Volodymyr Snisarenko, 2015.** Existing and projected artificial islands and their purpose. Underwater Technologies, Vol. 02, 32-39 (in Ukrainian).
5. **Gennadiy Haiko, Petro Zakharchenko, 2016.** Perspectives of tunnel passages construction under the Dnieper. Underwater Technologies, Vol.04, 72-79.
6. **Kuzminets M., 2008.** Stvorennya mashyny rozkryvannya truboprovodiv z nahylenym odna proty odnoi' sekcijamy robochogo organa. Visnyk NTU, Vyp.17, Ch.2, 26-32 (in Ukrainian).
7. **Kuzminets M., 2011.** Osoblyvosti robochyh procesiv zemleryjnyh mashyn v umovah blyz'ko roztashovanogo dijuchogo truboprovodu. Avtomobil'ni dorogy i transportne budivnytstvo, Vyp.81, 115-122 (in Ukrainian).
8. **Olga Medvedeva, 2016.** Determining the size of the suction Funnel for underwater placer mining technology. Underwater Technologies, Vol.03, 47-53 (in Russian).
9. **Kuzminets M., Sivko V., 2010.** Vybir racional'nyh parametriv robochyh organiv zemleryjnyh mashyn cherez robotu rujnuyvannya g'runtovogo seredovyshha. Tehnika budivnytstva, Vol. 25, 121-128 (in Ukrainian).
10. **Andrey Tevyashev, Olga Matviyenko, 2016.** Estimation of the potential of resource and energy saving in the management of development and functioning of water main. Underwater Technologies, Vol. 04, 26-37 (in Russian).
11. **Musijko V., Kuzminets M., 2011.** Fizyczne modelarstwo robocznych procesow do kopania maszyn w warunkach blisko rozmieszczonego rurociagu. Metody Obliczeniowe i Badawcze w Rozwoju Pojazdow Samochodowych i Maszyn Robocznych Samojezdnych. Rzeszow, Politechnika Rzeszowska, SACON, 11, 95-100 (in Poland).
12. **Sukach M., Lysak S., 2008.** Pidvyshchennia efektyvnosti robochogo obladnannya mashyny dlia rozkryvannya truboprovodiv. Girn., budiv., dor. ta melior. mashyny. Kyiv, Vol.71, 3-9 (in Ukrainian).
13. **Patent Ukrainy 37784, E02 F5/00, 2008.** Zemleryine obladnannya transheiekopacha dlia rozkryvannya-zahlyblennia truboprovodiv. Sukach M., Lysak S., Opubl. 10.12.2008, Bjul.23, 6 (in Ukrainian).
14. **Patent Ukrainy 42389, E02 F5/00, 2008.** Transhejnyj ekskavator dlja rozkryvannya pidzemnyh truboprovodiv. Sukach M., Lysak S., Opubl. 10.07.2009, Bjul.13, 6 (in Ukrainian).
15. **Harbuzov Z., Donskoi V., 1987.** Ekskavatory nepreryvnogo deistviia. Moskva, Vyssha shkola, 288 (in Russian).
16. **Harbuzov Z. and oth., 1965.** Zemleroinyie mashyny nepreryvnogo deistviia. Konstruktsii i raschety. Under the general editorship of L.Podborskiy. Moskow, Mashinostroenie, 234 (in Russian).
17. **Sukach M., Lysak S., 2011.** Optyimizacija parametriv lancjugovogo robochogo organa transhejekopacha. 3 mizhnar. nauk.-prakt. konf. Suchasni informacijni ta innovacijni tehnologii na transport, Kherson, 20 (in Ukrainian).

Кинематические параметры двухсекционного траншекопателя

Михаил Сукач, Сергей Лысак

Аннотация. Проведен кинематический анализ работы траншекопателя, раскрывающего трубопровод по его периметру. Установлены зависимости между кинематическими и геометрическими параметрами рабочего оборудования.

Ключевые слова: кинематический анализ, траншекопатель, трубопровод, рабочее оборудование.

Сучасні задачі керування самохідною прив'язною підводною технологічною платформою

Олександр Блінцов¹, Віктор Корицький²

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

¹energybox@mail.ru, orcid.org/0000-0003-0426-1219

²vic.koritskiy@gmail.com, orcid.org/0000-0002-9968-1568

Анотація. Пошукові та інспекційні підводні роботи зазвичай виконуються із застосуванням прив'язних підводних систем на базі самохідних підводних апаратів. Однак, більшість таких систем не забезпечують можливості оперативного внесення змін до власної конфігурації, що обмежує перелік функцій, виконуваних ними.

В даній роботі представлено структуру прив'язної підводної системи на базі самохідної підводної технологічної платформи та описано режими її руху. Визначені задачі, які має вирішувати система керування рухом платформи. За результатами досліджень запропоновано структуру рушійно-рульового комплексу та комплексу технологічного обладнання платформи, а також розроблено узагальнену схему системи керування прив'язною підводною системою на базі самохідної підводної технологічної платформи.

Ключові слова: прив'язна підводна система, самохідна підводна технологічна платформа, рушійно-рульовий комплекс, система керування рухом.

ВСТУП

На сьогоднішній день актуальним є питання організації пошукових та інспекційних підводних робіт у водоймах України, а також в акваторіях Чорного та Азовського морів. Зокрема, існує необхідність в пошуку та знешкодженні вибухонебезпечних об'єктів, інспекції річкових та морських портів, суден тощо [9, 13, 16...18].

Зазвичай виконання підводних робіт здійснюється прив'язними підводними системами (ППС) на базі самохідних підводних апаратів (СПА). Однак можливість вибору та оперативного встановлення технологічного обладнання (маніпуляторів, гідролокаторів, різаків та ін.) на більшості сучасних СПА є обмеженою, що звужує перелік задач, вирішуваних ППС. Також наявність жорстких зв'язків технологічного обладнання з корпусом СПА ускладнює процес керування ним та ППС у цілому, що призводить до швидкої втоми оператора та зниження ефективності ППС [2].

Підвищити ефективність підводних робіт можливо шляхом проектування СПА як самохідної підводної технологічної платформи (СПТП). До складу платформи входить власний рушійний комплекс та комплекс технологічного обладнання (КТО) з рухомим носієм, який забезпечує рух та позиціонування технологічного обладнання відносно корпусу СПТП. Перелік обладнання, яке може входити до складу КТО, залежить від конфігурації носія технологічного обладнання та обумовлюється поставленою задачею.

Однак, вплив зовнішніх збурень (наприклад, вітро-хвильових збурень на кабельтрос) та суттєво нелінійний характер складових СПТП робить автоматизацію керування рухом платформи та комплексу її технологічного обладнання складною науковою задачею.

МЕТА ТА МЕТОДИ

Метою роботи є розробка структур системи керування рухом та рушійно-рульового комплексу самохідної підводної технологічної платформи.

В процесі вирішення задач пошуку та інспекції зазвичай використовуються наступні режими руху СПТП [11]:

- позиціонування в певній точці підводного простору;
- рух за заданим курсом та/або з певною глибиною занурення (висотою над ґрунтом);
- занурення або спливання із заданою швидкістю;
- рух із заданою швидкістю на певній дистанції від об'єкта обстеження;
- рух вздовж складної просторової траєкторії.

Рух СПТП у підводному просторі супроводжується впливом на корпус платформи ряду зовнішніх сил та моментів. Конфігурація ППС на базі СПТП, а також сили, які діють на платформу в процесі її руху, зображено на Рис.1.

Керуючі сили \vec{F}_{PPK} , створювані рушій-

но-рульовим комплексом (РПК), забезпечують рух СПТП. Окрім зусиль від рушійно-рульового комплексу на корпус платформи постійно діють сили тяжіння \vec{F}_T та виштовхування \vec{F}_B . Також на рух СПТП впливають гідродинамічні сили $\vec{F}_{ГВ}$, які виникають внаслідок взаємодії СПТП з рідиною [6, 19].

Кабель-трос (КТ), який забезпечує енергоживлення СПТП та інформаційний обмін між СПТП та постом керування, розташованим на судні-носії (СН), створює збурюючу силу $\vec{F}_{КТ}$. Оскільки КТ є елементом з розподіленими параметрами, то $\vec{F}_{КТ}$ є суттєво нелінійним збурюючим впливом і залежить від багатьох змінних, в тому числі від довжини випущеної частини КТ, його діаметру та просторової конфігурації тощо [12, 14].

Вплив на рух СПТП мають КТО (сила $\vec{F}_{КТО}$), а також об'єкт (сила \vec{F}_O), яким маніпулює технологічне обладнання, за умови його наявності (наприклад, у затискахі маніпулятора) [7, 10, 20].

Всі сили, які діють на СПТП також

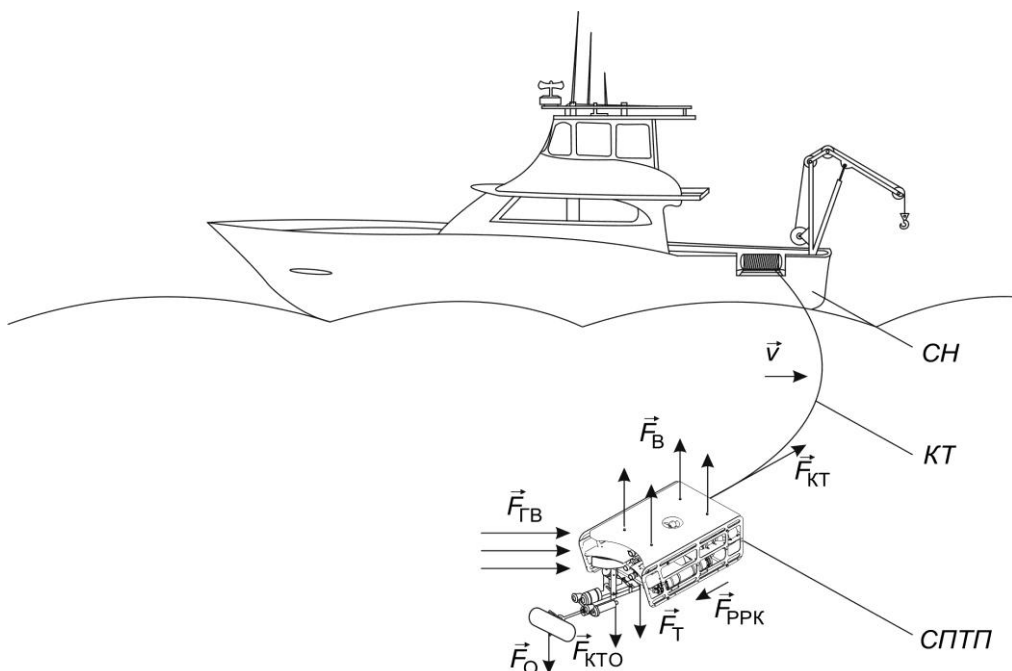


Рис. 1. Структура прив'язної підводної системи на базі самохідної підводної технологічної платформи та сили, що впливають на її рух

Fig. 1. The structure of a tethered underwater system based on a self-propelled underwater technological platform and forces that affect its movement

утворюють відповідні моменти, які залежать від точок їх прикладення і в загальному випадку, які і сили, розділяються на керуючі та збурюючі. Суттєві нелінійності як керуючих, так і збурюючих сил та моментів ускладнюють процес ручного керування та синтез систем автоматичного керування (САК) СПТП.

Для керування СПТП пропонується відокремити ті її елементи, які мають здійснювати керований рух і розглядати їх як самостійні задачі керування:

- задачу керування рухом СПТП в тривимірному водному просторі як носія комплексу технологічного обладнання;
- задачу керування рухом КТО відносно СПТП.

Для пошуку та інспекції САК СПТП має реалізовувати такі режими руху:

- стабілізація швидкості поступального руху корпусу СПТП (пошук);
- стабілізація кута курсу та глибини занурення або висоти СПТП над ґрунтом (пошук, інспекція);
- стабілізація відстані від СПТП до об'єкта обстеження (інспекція);
- компенсація впливів збурень від об'єктів, якими маніпулює КТО (інспекція).

Система автоматичного керування КТО при цьому має забезпечувати рух та позиціонування технологічного обладнання відносно корпусу СПТП з урахуванням власного руху СПТП у водному просторі.

Узгоджена робота САК СПТП та САК КТО має забезпечити керований рух технологічного обладнання із заданими параметрами в водному просторі, що є основою для успішної реалізації задач ППС.

Маневрові характеристики СПТП та якість процесів керування її рухом істотно залежать від складу РРК платформи та схеми розміщення рушійних пристроїв. Для визначення найкращого варіанту складу та схеми розміщення рушійних пристроїв умовно розділимо РРК на дві складові: комплекс рушійних пристроїв, які забезпечують маршовий рух платформи та комплекс підрулюючих рушійних пристроїв.

Аналіз маршових рушійних комплексів сучасних СПА показує, що найбільшого

поширення набули двох- та чотирьохвальні схеми [1, 5, 8].

Двохвальні схеми (Рис.2) забезпечують прямолінійний рух СПА та можливість його обертання. При цьому мінімальний радіус циркуляції (розвороту) без лінійного переміщення і без використання горизонтального підрулюючого пристрою не перевищує половини відстані між осями рушіїв. РРК, що побудовані за даною схемою найбільш широко використовуються у складі СПА пошукового та інспекційного класів.

З чотирьохвальних найбільш поширеними є дві схеми:



Рис. 2. Підводний апарат з рушійним комплексом, який організовано за двохвальною схемою

Fig. 2. Underwater vehicle with propulsive complex that is based on two-thruster layout

- рушійні пристрої встановлені в кормі СПА (Рис.3);

- рушійні пристрої розміщено по краях корпусу СПА під кутом 45° до діаметральної площини апарата (Рис.4).

Маршові комплекси, що побудовані за першою схемою підвищують маршову швидкість СПА. Однак, така схема частіше використовується в апаратах робочого класу із-за значного підвищення вимог до системи електроживлення.

Друга схема забезпечує лінійні переміщення та обертання СПА на невеликій швидкості (до 3 вузлів) в будь-якому напрямку, що є необхідною умовою для ефективного використання маніпуляторів.

До головних недоліків вказаної схеми відноситься неефективне використання по-

тужності рушіїв при маршовому русі (к.к.д. складає 0,7 від сумарного упору рушіїв) та збільшення габаритів апарата.

Для забезпечення зміни глибини, руху по траєкторії, розворотів та позиціонування СПА, зазвичай використовуються такі схеми (Рис.3) [3, 4, 15]:

- одновальна схема підрулюючого комплексу;
- двохвальна просторова схема підрулюючого комплексу;
- чотирьохвальна схема підрулюючого комплексу.



Рис. 3. Підводний апарат з рушійним комплексом, який організовано за чотирьохвальною схемою

Fig. 3. Underwater vehicle with propulsive complex that is based on four-thruster layout



Рис. 4. Підводний апарат, рушійний комплекс якого організовано за чотирьохвальною схемою з розміщенням рушіїв під кутом до діаметральної площини апарата

Fig. 4. Underwater vehicle with propulsive complex that is based on four-thruster layout with the placement of thrusters at an angle to the center plane

Одновальна схема підрулюючого комплексу (Рис.5) забезпечує переміщення в вертикальній площині (зміна глибини занурення апарата). Дана схема може використовуватись лише у випадку, коли маршовим рушійним комплексом СПА забезпечуються інші необхідні види руху (лагові переміщення, обертання). Однак, навіть в такій конфігурації дана схема не зможе забезпечити компенсацію збурюючих моментів від КТО, а отже, є неефективною для використання у складі СПТП.



Рис. 5. Підводний апарат, підрулюючий комплекс якого організований за одновальною схемою

Fig. 5. Underwater vehicle that has a maneuvering complex based on a one-thruster layout



Рис. 6. Підводний апарат, підрулювальний комплекс якого організований за двохвальною просторовою схемою

Fig. 6. Underwater vehicle that has a maneuvering complex based on a distributed two-thruster layout

Двохвальна просторова схема підрулюючого комплексу (Рис.6) базується на використанні незалежних рушіїв для забезпечення переміщень в вертикальній (зміни

глибини занурення СПА) і горизонтальній площинах. Дана схема використовується, в більшості випадків, з одно-, двох та чотирьоххальною (при кормовому розміщенні) схемами маршового рушійного комплексу. Особливістю такого використання є:

- забезпечення обертання апарата при використанні одновальної схеми;
- забезпечення обертання та лагового руху при кормовому розміщенні маршового рушійного комплексу з двох та чотирьоххальною схемою.

Як варіант модернізації такої схеми іноді використовують системи з багатьма (два, три і більше) рушіями для переміщення в вертикальній площині. Варіант підрулюючого комплексу, який побудовано за такою схемою зображено на Рис.7.

Така модернізація використовується в випадках, якщо:

- потужність одного рушія недостатня для забезпечення необхідної величини упору;
- необхідна підвищена маневреність, тобто необхідно змінювати величину диферента СПА.

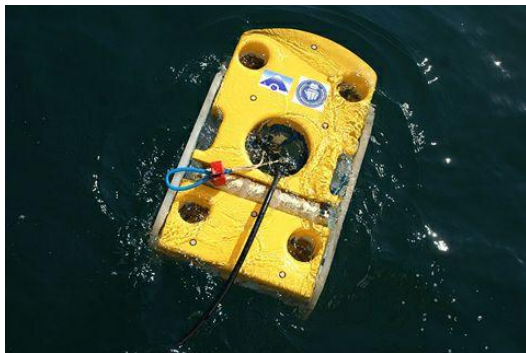


Рис. 7. Підводний апарат, підрулюючий комплекс якого організований за чотирьоххальною схемою

Fig. 7. Underwater vehicle that has a maneuvering complex based on a four-thruster layout

РЕЗУЛЬТАТИ

Рушійно-рульовий комплекс ППС на базі СПТП пропонується організувати на базі схеми, яку зображено на Рис.8. До маршового комплексу пропонується включити два рушії, які розміщено в кормовому відділенні платформи віддалені від осі, що проходить через діаметральну площину апарата на відстань D_1 . Дана схема забезпечить маршовий прямолінійний рух та можливість обертання СПТП.

Підрулюючий комплекс платформи пропонується організувати за просторовою схемою з шістьма рушійними пристроями.

Чотири пристрої встановлюються у вертикальній площині на осях симетрії платформи. Два з них є рівновіддаленими від центра величини апарата O на відстань D_2 та забезпечують регулювання диференту СПТП. Інші два рушійних пристрої встановлюються на відстані D_3 від центра величини та забезпечують регулювання крену. Регулювання крену та диференту є необхідним для компенсації зовнішніх збурень від

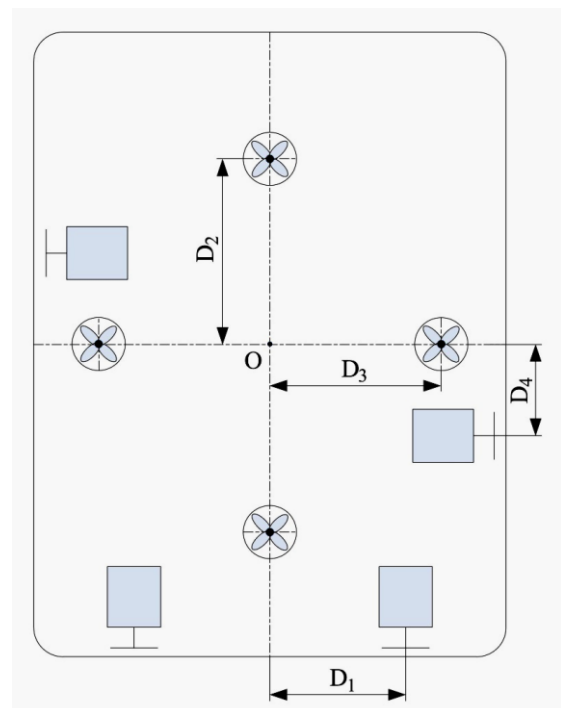


Рис. 8. Схема розміщення рушійних пристроїв самохідної підводної технологічної платформи

Fig. 8. The layout of thrusters of a self-propelled underwater technological platform

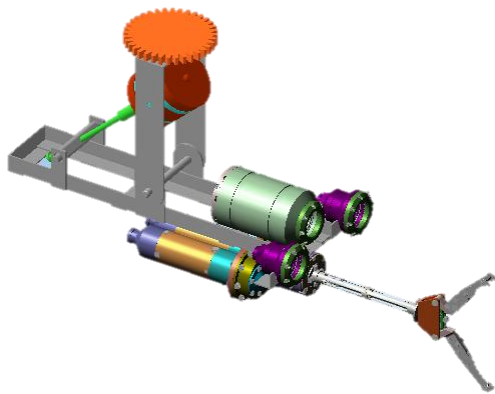


Рис. 9. Комплекс технологічного обладнання (версія з маніпулятором)

Fig. 9. The complex of technological equipment (manipulator version)

КТО та об'єкту, яким він маніпулює.

Ще два пристрої встановлюються в горизонтальній площині та є рівновіддаленими від площини шпангоута апарата на відстань D_4 . Дані рушійні пристрої забезпечать лаговий рух платформи, який є необхідним при виконанні інспекційних робіт.

Комплекс технологічного обладнання складається з рухомого носія та технологічного обладнання (Рис. 9). Носій призначений для переміщення технологічного обладнання у підводному просторі відносно корпусу ПА. В даній роботі носій пропонується виконувати у вигляді рамної конструкції з двома ступенями свободи:

- обертання технологічного обладнання навколо вертикальної осі симетрії комплексу;

- нахил технологічного обладнання відносно ланки обертання.

В якості технологічного обладнання в даній роботі пропонується використовувати двохступеневий підводний маніпулятор з системою відеоспостереження.

САК ППС на базі СПТП пропонується організувати за багаторівневою структурою (Рис.10). Основним елементом системи є система автоматичного керування прив'язною підводною системою, яка розміщується на обладнанні поста енергетики

та керування СН. Дана система аналізує дані від зворотних зв'язків виконавчих складових та сенсорів ППС та формує відповідні керуючі впливи. СПТП надає САК ППС наступні зворотні зв'язки:

- вектор $\vec{\omega}_{РРК}$ швидкостей обертання валів рушійних пристроїв СПТП;

- вектори швидкостей обертання ($\vec{\omega}_{КТО}$) ланок рухомого носія та просторового положення ($\vec{P}_{КТО}$) робочого органу комплексу технологічного обладнання;

- вектори кутової орієнтації (\vec{H}), просторового положення (\vec{P}), швидкостей лінійних (\vec{V}) та оберткових ($\vec{\Omega}$) переміщень платформи та дистанція (D) до об'єкта обстеження;

- довжина попущеної частини кабель-тросу $L_{КТ}$.

Керуючими впливами є наступні:

- вектор $\vec{\omega}_{РРК з.}$ заданих швидкостей обертання валів рушійних пристроїв платформи;

- вектор $\vec{\omega}_{КТО з.}$ заданих швидкостей обертання ланок рухомого носія технологічного обладнання;

- задана швидкість $\vec{\omega}_{КТ з.}$ обертання барабану лебідки кабель-тросу (ЛКТ).

Керуючі впливи надходять до систем керування нижчого рівня, які на основі даних від відповідних зворотних зв'язків формують сигнали керування для виконавчого обладнання (вектори $\vec{u}_{РРК}$, $\vec{u}_{КТО}$ та сигнал $u_{КТ}$).

Розглянуті об'єкти керування, окрім ЛКТ, є нелінійними та зазнають впливу невизначених зовнішніх збурень. Тому подальший розв'язок задачі автоматизації керування прив'язною підводною системою на базі СПТП вбачається у синтезі інтелектуальних систем керування складовими ППС із використанням інверсних моделей.

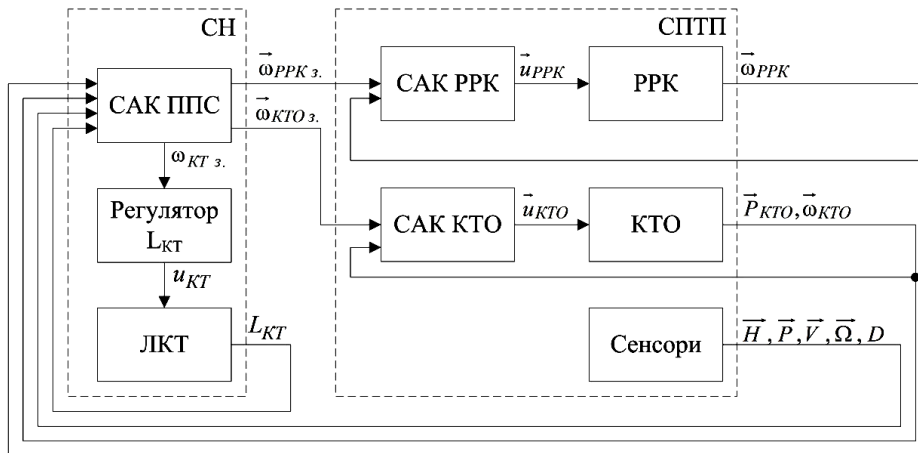


Рис. 10. Структура системи автоматичного керування прив'язною підводною системою на базі самохідної підводної технологічної платформи

Fig. 10. The structure of the control system of a tethered underwater system based on a self-propelled underwater technological platform

ВИСНОВКИ

1. Описано структуру прив'язної підводної системи на базі самохідної підводної технологічної платформи та визначено задачі, які має вирішувати система автоматичного керування її рухом.

2. Запропоновано схему рушійно-рульового комплексу, яка забезпечує самохідну підводну технологічну платформу можливістю здійснювати всі види поступального та оберткового руху.

3. Запропоновано узагальнену структуру багаторівневої системи керування прив'язною підводною системою на базі самохідної підводної технологічної платформи.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Akmal, M., 2014.** Active Fault Tolerant Control of a Remotely Operated Vehicle Propulsion System. *Procedia Engineering*, Vol. 41, 622-628.
2. **Christ R., 2007.** The ROV Manual: A User Guide for Observation Class Remotely Operated Vehicles. Elsevier, 308.
3. **García-Valdovinos L.G., Salgado-Jiménez T., Bandala-Sánchez M., Nava-Balanzar L., Hernández-Alvarado R., Cruz-Ledesma,**

- J.A., 2014.** Modelling, Design and Robust Control of a Remotely Operated Underwater Vehicle. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, Vol.11-1, 16.
4. **Gomes R.M.F., Martins A., Sousa A., Sousa J. B., Fraga S. L., Pereira F. L., 2005.** A new ROV design: issues on low drag and mechanical symmetry. *Oceans 2005, Europe*, Vol.2, 957-962.
5. **Huang H., Tang, Q., Li Yu., Wan L., Pang Yo., 2013.** Dynamic Control and Disturbance Estimation of 3D Path Following for the Observation Class Underwater Remotely Operated Vehicle. *Advances in Mechanical Engineering*, Vol.2, 16.
6. **Inzartsev Alexander V., 2009.** Underwater Vehicles. InTech, 582.
7. **Moore S., Bohm H., Jensen V., 2010.** Underwater Robotics: Science, Design & Fabrication Marine Advanced Technology Education (MATE) Center, 770.
8. **Sulaiman O., Saharuddin A.H., 2012.** Power Integrity Requirement of New Generation of ROV for Deep Sea Operation. *Global Journal of Researchers in Engineering*, Vol. 12, No 3, 17-28.
9. **Блинцов В., Войтасик А., 2016.** Підводна роботизована технологія установки корисного вантажу на морське дно. Підводні технології. Промислова та цивільна інженерія, № 4, 50-59.
10. **Блинцов В.С., Надточій В.А., 2012.** Сучасні задачі автоматизації керування самохідними

- прив'язними підводними системами з начіпним обладнанням. Збірник наукових праць НУК. Миколаїв, НУК, №2, 79-83.
11. **Ваулин Ю.В., Костенко В.В., Павин А.М., 2013.** Особенности навигационного и алгоритмического обеспечения телеуправляемого необитаемого подводного аппарата. Подводные исследования и робототехника, № 2(16), 4-16.
 12. **Войтов Д.В., 2012.** Телеуправляемые необитаемые подводные аппараты. Москва, Моркнига, 506.
 13. **Керівництво** щодо здійснення інтегральної оцінки стану довкілля на регіональному рівні, **2008.** Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України № 584 від 14.11.2008, 12.
 14. **Костенко В.В., Мокеєва И.Г., 2009.** Исследование влияния кабеля связи на маневренность телеуправляемого подводного аппарата. Подводные исследования и робототехника, Вып. 1(7), 22-27.
 15. **Костенко В.В., Михайлов Д.Н., 2012.** Разработка телеуправляемого подводного аппарата «МАКС-300». Подводные исследования и робототехника, Вып. 1(13), 36-46.
 16. **Куликов П., Сукач М., 2015.** О готовности Украины к освоению полезных ископаемых Мирового океана. Підводні технології. Промислова та цивільна інженерія, Вип.02, 3-10.
 17. **Половка С., 2015.** Историчний зріз геологічного вивчення Азово-Чорноморського регіону дослідниками України. Підводні технології. Промислова та цивільна інженерія, Вип.02, 11-23.
 18. **Положення** про паспортизацію потенційно небезпечних об'єктів, **2000.** Наказ МНС України від 18.12.2000, № 338, 3.
 19. **Филаретов В.Ф., Лебедев А.В., Юхимец Д.А., 2005.** Устройства и системы управления подводных роботов, Москва, Наука, 270.
 20. **Шостак В.П., 2011.** Подводные аппараты-роботы и их манипуляторы, Чикаго, Мегатрон, 134.
 3. **García-Valdovinos L.G., Salgado-Jiménez T., Bandala-Sánchez M., Nava-Balanzar L., Hernández-Alvarado R., Cruz-Ledesma J.A., 2014.** Modelling, Design and Robust Control of a Remotely Operated Underwater Vehicle. International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol.11-1, 16.
 4. **Gomes R.M.F., Martins A., Sousa A., Sousa J.B., Fraga S.L., Pereira F.L., 2005.** A new ROV design: issues on low drag and mechanical symmetry. Oceans 2005 Europe, Vol.2, 957-962.
 5. **Huang H., Tang Q., Li Yu., Wan L., Pang Yo., 2013.** Dynamic Control and Disturbance Estimation of 3D Path Following for the Observation Class Underwater Remotely Operated Vehicle. Advances in Mechanical Engineering, Vol.2, 16.
 6. **Inzartsev Alexander V., 2009.** Underwater Vehicles. InTech, 582.
 7. **Moore S., Bohm H., Jensen V., 2010.** Underwater Robotics: Science, Design & Fabrication Marine Advanced Technology Education (MATE) Center, 770.
 8. **Sulaiman O., Saharuddin A.H., 2012.** Power Integrity Requirement of New Generation of ROV for Deep Sea Operation. Global Journal of Researchers in Engineering, Vol.12, Nr.3, 17-28.
 9. **Blintsov V., Voityasyk A., 2016.** Pidvodna robotyzovana tehnologija ustanovky korysnogo vantazhu na mors'ke dno. Pidvodni tehnologii'. Promyslova ta cyvil'na inzhenerija, Nr.4, 50-59. (in Ukrainian).
 10. **Blintsov V.S., Nadtochij V.A., 2012.** Suchasni zadachi avtomatyzacii' keruvannja samohidnymy pryv'jaznymy pidvodnymy systemamy z nachipnym obladnannjam. Zbirnyk naukovykh prac' NUK, Mykolaiv, NUK, Nr.2, 79-83 (in Ukrainian).
 11. **Vaulyn Ju.V., Kostenko V.V., Pavyn, A.M., 2013.** Osobennosti navygacyonnogo y algorytmycheskogo obespechenija teleupravljaemogo neobytaemogo podvodnogo apparata. Podvodnye yssledovanyja y robototehnyka, Nr.2 (16), 4-16 (in Russian).
 12. **Vojtov D.V., 2012.** Teleupravljaemye neobytaemye podvodnye apparaty. Moscow, Morknyga Publ., 506 (in Russian).
 13. **Керівництво** щодо здійснення інтегральної оцінки стану довкілля на регіональному рівні, **2008.** Затверджене наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища Українським №584 від 14.11.2008, 12 (in Ukrainian).

REFERENCES

1. **Akmal M., 2014.** Active Fault Tolerant Control of a Remotely Operated Vehicle Propulsion System. Procedia Engineering, Vol.41, 622-628.
2. **Christ R., 2007.** The ROV Manual: A User Guide for Observation Class Remotely Operated Vehicles. Elsevier, 308.

14. **Kostenko V.V., Mokeeva Y.G., 2009.** Issledovanye vlyjaniya kabelja svjazy na manevrennost' teleupravljajemogo podvodnogo apparata. Podvodnye yssledovaniya y robototehnyka, Vol.1(7), 22-27 (in Russian).
15. **Kostenko V.V., Myhajlov D.N., 2012.** Razrabotka teleupravljajemogo podvodnogo apparata «MAKS-300». Podvodnye yssledovaniya y robototehnyka, Nr.1(13), 36-46 (in Russian).
16. **Kulikov P., Sukach M., 2015.** O gotovnosti Ukrainy k osvoeniju poleznyh iskopaemyh Mirovogo okeana. Pidvodni Tehnologii. Promyslova ta tsyvil'na inzhenerija. Vol.02, 3-10 (in Russian).
17. **Polovka S., 2015.** Istorychnyj zriz gheologhichnogho vyvchennja Azovo-Chornomors'kogho rehionu doslidnykamy Ukrainy. Pidvodni Tehnologii. Promyslova ta tsyvil'na inzhenerija, Vol.02, 11-23 (in Ukrainian).
18. **Polozhennja pro pasportyzaciju potencijno nebezpechnyh ob'ektiv, 2000.** Nakaz MNS Ukrainy vid 18.12.2000, Nr.338, 3 (in Ukrainian).
19. **Fylaretov V.F., Lebedev A.V., Juhymec D.A., 2005.** Ustrojstva y systemy upravlenija podvodnyh robotov, Moscow, Nauka, 270 (in Russian).
20. **Shostak V.P., 2011.** Podvodnye apparaty-roboty y yh manipulyatory, Chicago, Megatron, 134 (in Russian).

Modern tasks of the control of a self-propelled tethered underwater technological platform

Oleksandr Blintsov, Viktor Korytskyi

Summary. Searching and inspection underwater operations are usually performed with the use of tethered underwater systems that are based on self-propelled underwater vehicles. However, most of such systems can't provide the opportunity of operative alteration of its configurations leading to constraints in the list of functions performed.

In this paper the structure of a tethered underwater system based on a self-propelled tethered underwater platform is introduced and the modes of the movement of such platform are described. The list of tasks that are to be performed by the system is determined. According to the survey structures of propulsive complex and the complex of technological equipment of platform are proposed, and the structure of movement control system for the tethered underwater system based on the self-propelled underwater technological platform is designed.

Key words: tethered underwater system, self-propelled tethered underwater platform, propulsive complex, movement control system.

Розробка математичної моделі керування траєкторією руху підводного апарата

Андрій Сірівчук

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
просп. Героїв Сталінграда, 6, Миколаїв, Україна, 54025
sirivchuk@mail.ua, orcid.org/0000-0003-2927-2600

Анотація. Ручне керування рухом прив'язаного підводного апарата є трудомісткою задачею, вирішення якої потребує напруженої роботи оператора апарата. А в деяких ситуаціях виконання підводних робіт з використанням ручного режиму керування руху виявляється неможливим. З іншого боку в процесі переміщення в підводному просторі на траєкторії руху підводного апарата можуть зустрічатись статичні та рухомі перешкоди, що робить автоматизацію керування траєкторним рухом прив'язаного підводного апарата складною науковою задачею.

В даній роботі виконано огляд сучасних підходів до керування траєкторним рухом рухомих об'єктів. Для побудови траєкторії руху апарата запропоновано використовувати модифікований метод потенційних полів. Збільшення ефективності огинання перешкод досягнуто за рахунок використання додаткових пар променів гідролокатора в горизонтальній та вертикальній площинах руху.

Перевагами запропонованого підходу є зменшення імовірності проходження траєкторії апарата через точки локальних мінімумів функцій відштовхування та можливість коригування траєкторією руху в реальному режимі часу. Додатковою перевагою запропонованого методу автоматизації руху є можливість огинання підводним апаратом рухомих перешкод.

Ключові слова: метод потенційних полів, траєкторія руху, обхід перешкод, підводний апарат.

ВСТУП

Одним з найбільш поширених засобів моніторингу підводної обстановки, а також проведення підводно-технічних робіт є телекеровані підводні апарати (ПА). Застосування підводних апаратів обумовлено багатьма причинами, серед яких безпека життя людини, швидкість приведення в дію, велика глибина роботи, більш низька вартість проведення робіт тощо [5, 9, 20].

В наш час телекеровані підводні апарати мають автоматичну або автоматизовану систему керування [15], що дозволяє більш ефективно виконувати поставлені перед ним задачі без високої кваліфікації оператора. В свою чергу деякі задачі, що виконує підводний апарат, не можуть бути реалізовані в повному обсязі людиною-оператором. Тому кожний підводний апарат має систему керування, що забезпечує виконання поставлених перед ним завдань.

Найбільш складною задачею для автоматичної або автоматизованої системи керування ПА є керування його рухом, оскільки на ПА завжди діють зовнішні збурення, а також в зоні роботи знаходяться перешкоди [5]. В якості перешкод можуть виступати статичні (рельєф дна, гідротехнічні споруди, підводне сміття тощо) та рухомі (інші ПА, водолази, підводні агрегати) об'єкти. Тому система автоматичного керування

(САК) повинна вміти не тільки забезпечувати проходження ПА по завчасно визначеному маршруту, а й мати можливість самостійно змінювати траєкторію руху ПА в залежності від ситуації.

Питання керуванням траєкторією руху розглядається в сферах комп'ютерного моделювання [1, 17], автомобільної промисловості [11, 13, 14], авіації [2, 12] тощо. Існує багато варіацій методів обходу перешкод [3, 4, 19], що доводить необхідність подальшого дослідження проблеми. Найчастіше задачу обходу перешкод розглядають в горизонтальній площині [3, 5] та при статичних перешкодах [17].

При наявності в зоні роботи ПА рухомих перешкод виникає необхідність розробки методу, який зможе забезпечити коректування траєкторії руху ПА для усунення можливості зіткнення ПА з рухомою перешкодою. Ефективним в даному питанні є метод потенційних полів [2], але даний метод потребує удосконалення оскільки при великій кількості перешкод збільшується можливість попадання в точку локального мінімуму, а також на керування траєкторією руху ПА впливають всі перешкоди, навіть ті що не лежать на його шляху.

МЕТА ТА МЕТОДИ

Розробка концепції керуванням траєкторією руху ПА в тривимірному просторі, на основі методу потенційних полів.

РЕЗУЛЬТАТИ

Під час руху підводного апарата в товщі води на нього діють зовнішні збурення, величину яких не можливо передбачити заздалегідь (течія, рухомі перешкоди, хитавиця тощо), тому жорстке слідування по завчасно заданій траєкторії руху в даному випадку неможливе. Тому для руху підводних апаратів в умовах невизначеності для завдання траєкторії руху ПА використовують контрольні точки, до яких від повинен

дістатися. Чергуванням контрольних точок задають бажану траєкторію руху ПА.

В залежності від завдань, що поставлені перед автоматичною системою керування (САК) ПА, змінюється густина контрольних точок в просторі. Так якщо необхідно доставити робочий або вимірювальний інструмент в задану точку достатньо лише однієї контрольної точки, а якщо необхідно провести огляд гідротехнічної споруди кількість точок збільшується в залежності від допустимого віддалення від цілі.

При підготовці ПА до місії розставляються контрольні точки, які повинен пройти ПА опираючись на підводні карти зони обстеження. Якщо інформація про дану зону відсутня, то в якості контрольних точок визначаються координати доставки обладнання (для однієї цілі) або крайні точки зони обстеження (для обстеження водної товщі за допомогою галсів).

Для встановлення контрольних точок існує дві вимоги: контрольна точка не повинна лежати в середині нерухомої перешкоди або в безпосередній близькості від неї та контрольна точка повинна лежати всередині робочої зони (для прив'язних ПА). Для прив'язних ПА друга вимога визначається за формулою:

$$\frac{X_k^2}{L_{\max}^2} + \frac{Y_k^2}{H_{\max}^2} + \frac{Z_k^2}{L_{\max}^2} \leq 1; \quad (1)$$

де X_k, Y_k, Z_k – координати контрольної точки; L_{\max} – максимальна довжина віддалення ПА від судна-носія; H_{\max} – максимальна глибина занурення ПА. Найчастіше L_{\max} та H_{\max} однакові та дорівнюють довжині кабель-тросу при відсутній течії.

Для прокладання безпечного маршруту між контрольними точками доцільно використовувати метод потенційних полів. Цей підхід не вимагає ні квантизації простору, ні повних попередніх розрахунків. Сутність методу полягає в тому, що кожна перешкода має навколо себе відразливе потенційне поле, сила якого обернено пропорційна відстані від нього; так само існує однорідна сила притягання до цілі. Через близькі пос-

тійні інтервали часу обчислюється сума векторів притягання та відштовхування. Результуючий вектор вказує напрям та швидкість руху [17].

Детальне дослідження показало, що метод потенційних полів здатний провести апарат в будь-яку точку. Причому основним недоліком методу потенційних полів є попадання в локальні мінімуми, але це зустрічається рідко [18].

В якості сигналу керування, зважаючи на досвід минулих досліджень [1, 13, 19], обирається вектор миттєвої швидкості ПА. Отже результуючий вектор руху буде представлений у векторному вигляді:

$$\vec{v}_p = k_m \vec{r}_m + \frac{k_0}{l_0} \vec{r}_0 + \frac{k_1}{l_1} \vec{r}_1 + \dots + \frac{k_i}{l_i} \vec{r}_i; \quad (2)$$

де \vec{v}_p – результуючий вектор швидкості; k_m – коефіцієнт притягання контрольної точки або об'єкта моніторингу; $k_{0..i}$ – коефіцієнт відштовхування кожної перешкоди; $l_{0..i}$ – відстань від кожної перешкоди до ПА; r_m – орт направленості дії сили притягання; $r_{0..i}$ – орт направленості дії відштовхування.

При використанні класичного методу потенційних полів виникає декілька недоліків:

- при наявності великої кількості перешкод збільшується час для розрахунку необхідного вектору швидкості, а також можливість попадання в точку локального мінімуму;

- при використанні на реальному ПА виникає необхідність застосування гідролокатора кругового огляду, що призведе до збільшення часу сканування простору або використання більш дорогого обладнання [3].

В якості удосконалення методу пропонується використання відштовхуючої дії лише тих перешкод, що лежать на шляху руху ПА. Для визначення чи лежить перешкода на шляху ПА, використовується промінь, який направлений до цілі (основний промінь). При такому підході до огинання перешкод, у свою чергу, виникає можливість зіткнення ПА з перешкодою при невеликій відстані від маршруту руху та краю перешкоди за рахунок власних розмірів ПА.

Таким чином, необхідно ввести допоміжні промені, що будуть враховувати дану можливість та будуть розташовані на з деяким кутом відхилення від основного направляючого променя (Рис.1) [16]. Допоміжні промені, в свою чергу, поділяються на горизонтальні та вертикальні. Горизонтальні допоміжні промені корегують відстань від краю перешкоди до ПА, коли основний промінь не перетинає дану перешкоду. Задачею вертикальних допоміжних променів є корекція висоти руху над ґрунтом, над або під перешкодами, а також можливість огинання невисокої перешкоди.

Простір, що знаходиться навколо ПА представимо замість ґрунту дна плоский диск з необмеженим радіусом на якому знаходяться перешкоди (рельєф, гідротех-

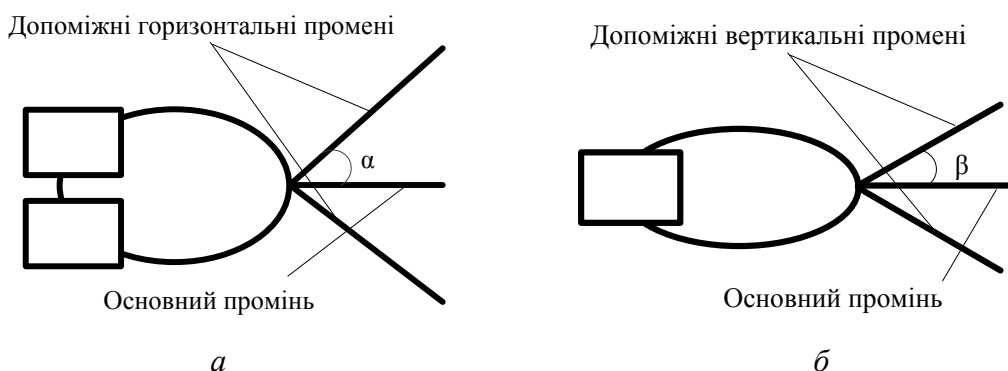


Рис.1. Розміщення допоміжних променів відносно основного
Fig. 1. The layout of secondary rays in relation to primary ray

нічні споруди тощо), що представлені в моделі циліндрами, таку ж саму форму мають рухомі об'єкти, що знаходяться в товщі води, на її поверхні або на дні. Таким чином перешкода матиме лише невелику кількість необхідних параметрів: координати центру основи (x_i, y_i) , глибину на якій вона знаходиться (z_i) , висоту (h_i) та радіус перешкоди (R_i) .

Тоді рівняння (1) [6] в векторному виді для поточного моменту часу матиме вигляд:

$$\bar{v}_p = \bar{v}_m + \sum \bar{v}_i + \sum \bar{v}_{iz} + \sum \bar{v}_{ixy}; \quad (2)$$

де \bar{v}_m – вектор швидкості притягання цілі; \bar{v}_i – вектор відштовхування перешкоди по основному промені; \bar{v}_{iz} – вектор відштовхування допоміжних вертикальних променів; \bar{v}_{ixy} – вектор відштовхування допоміжних горизонтальних променів.

Для руху в тривимірному просторі складаємо систему рівнянь прямої бажаного напрямку руху ПА [10]:

$$\begin{cases} x = x_{na} + dx \cdot t; \\ y = y_{na} + dy \cdot t; \\ z = z_{na} + dz \cdot t; \end{cases} \quad (3)$$

де x_{na}, y_{na}, z_{na} – поточні координати підводного апарата; dx, dy, dz – складові бажаного вектору швидкості ПА; t – час руху.

Складові вектору руху $\bar{v}_m(dx, dy, dz)$ визначаються за формулами:

$$\begin{aligned} dx &= \frac{x_{na} - x_t}{l_t}; \\ dy &= \frac{y_{na} - y_t}{l_t}; \\ dz &= \frac{z_{na} - z_t}{l_t}; \\ l_t &= \sqrt{(x_{na} - x_t)^2 + (y_{na} - y_t)^2 + (z_{na} - z_t)^2} \end{aligned} \quad (4)$$

де x_t, y_t, z_t – координати контрольної точки; l_t – відстань від ПА до контрольної точки.

Для визначення результуючого вектору швидкості ПА перш за все необхідно визначити які перешкоди або їх проекції лежать на шляху ПА в горизонтальній площині, для цього запишемо рівняння кола, що характеризує перешкоду:

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 - R_i^2 = 0. \quad (5)$$

Таким чином підставивши (3) в (5) отримаємо:

$$\begin{aligned} (x_{na} + dx \cdot t - x_i)^2 + (y_{na} + dy \cdot t - y_i)^2 - R_i^2 &= 0; \\ dx^2 \cdot t^2 + 2dx \cdot t \cdot (x_{na} - x_i) + (x_{na} - x_i)^2 + dy^2 \cdot t^2 + 2dy \cdot t \cdot (y_{na} - y_i) + (y_{na} - y_i)^2 - R_i^2 &= 0; \\ (dx^2 + dy^2) \cdot t^2 + (x_{na} - x_i)^2 + (y_{na} - y_i)^2 + 2 \cdot [dx \cdot (x_{na} - x_i) + dy \cdot (y_{na} - y_i)] \cdot t - R_i^2 &= 0; \end{aligned} \quad (6)$$

Приведемо (6) до канонічного виду:

$$At^2 + Bt + C = 0; \quad (7)$$

де:

$$\begin{aligned} A &= dx^2 + dy^2; \\ B &= 2[dx \cdot (x_{na} - x_i) + dy \cdot (y_{na} - y_i)]; \\ C &= (x_{na} - x_i)^2 + (y_{na} - y_i)^2 - R_i^2. \end{aligned} \quad (8)$$

При розв'язанні квадратного рівняння (7), якщо дискримінант більше нуля – перешкода лежить на шляху руху ПА, якщо рівний нулю – перешкода та маршрут дотикаються, якщо дискримінант менше нуля – перешкода не лежить на шляху руху ПА і тому не діє на його рух. Якщо корні рівняння мають від'ємне значення то перешкода лежить позаду руху ПА і її дія також не враховується. У випадку коли одне рівняння має додатній корінь, а другий від'ємний то це можливо лише коли ПА знаходиться над або під перешкодою.

Отримавши значення часу, через який відбудеться зіткнення між ПА та перешкодою підставивши його в систему рівнянь (3), отримуємо одну або дві точки перетину маршруту та перешкоди. Знаходимо відстань від ПА до точок:

$$l_i = \sqrt{(x - x_{na}) + (y - y_{na})^2}; \quad (9)$$

де x, y – розраховані координати точки зіткнення.

В якості наступних розрахунків обирається таке значення x та y , при яких значення відстані було найменшим.

Після цього визначається вектор головного променя, для корегування маршруту руху. Якщо ПА знаходиться на одному рівні з визначеною перешкодою, тоді справедливий вираз:

$$z_i \leq z_{na} \leq z_i + h_i, \quad (10)$$

в іншому випадку вектор відштовхування головного променя буде рівним 0. При справедливій нерівності (10) вектор відштовхування від перешкоди розраховується відносно центра перешкоди:

$$l_g = \sqrt{(x_i - x_{na}) + (y_i - y_{na})^2};$$

$$\vec{v}_i = \left(\frac{x_i - x_{na}}{l_g^2}, \frac{y_i - y_{na}}{l_g^2}, 0 \right); \quad (11)$$

де l_g – відстань від ПА до центра перешкоди.

Для вертикальної складової корегування руху необхідно визначити точки перетину допоміжних вертикальних променів з перешкодою. Вертикальний промінь може перетинати стінкою перешкоди, верхньою або нижньою основу.

В такому випадку точки перетину промінню та перешкоди буде визначатися за формулою:

$$z = \begin{cases} z_{na} \pm l_i \cdot ctg\beta & \text{при } t_1 > 0, t_2 > 0; \\ z_i + h_i & \text{при } z_{na} > z_i \text{ та} \\ & t_1 > 0, t_2 < 0; \\ z_i & \text{при } z_{na} < z_i \text{ та} \\ & t_1 > 0, t_2 < 0; \end{cases} \quad (12)$$

де β – кут відхилення допоміжних вертикальних променів.

У випадку коли ПА заходиться над або під перешкодою розраховується лише одна координата z відносно якої буде проводиться коректування маршруту руху за формулою:

$$dz_i = \frac{z_{na} - z}{l_z^2} = \frac{(z_{na} - z) \cdot \sin^2 \beta}{(z_{na} - z)^2} = \frac{\sin \beta}{z_{na} - z}; \quad (13)$$

де l_z – довжина променю.

У випадку коли перешкода знаходиться перед апаратом ($t_1 > 0, t_2 > 0$) необхідно визначити обидві точки перетину z_1 та z_2 . Та визначити їх силу відштовхування спроектовану на вертикальну вісь dz_1, dz_2 за аналогічно формулі (13), якщо точка z_1 або z_2 не входить в проміжок $(z_i; z_i + h_i)$ то сила відштовхування від точки буде рівною нулю. Результируюча сила відштовхування dz_i буде сумою dz_1, dz_2 :

$$dz_i = dz_1 + dz_2; \quad (14)$$

Вертикальний вектор корегування маршруту матиме вигляд $\vec{v}_{iz}(0, 0, dz_i)$.

Для допоміжних променів, що лежать в горизонтальній площині рівняння (4) будуть мати вигляд:

$$dx_n = \cos(\arccos(dx) \pm \alpha);$$

$$dy_n = \sin(\arccos(dx) \pm \alpha); \quad (15)$$

де dx_n, dy_n – орти направленості променя; α – кут відхилення допоміжного променя від основного.

Розрахунок сили відштовхування допоміжних променів розраховується аналогіч-

но силі відштовхування основного променя. Для того, щоб допоміжні промені не впливали на маршову швидкість ПА їх дія проектується на поперечну складову до головного вектору.

$$l_o = \sqrt{(x_o - x_{na})^2 + (y_o - y_{na})^2};$$

$$\bar{v}_{xyi} = \begin{pmatrix} \frac{(x_o - x_{na})}{l_o^2} \cdot \sin \alpha, \\ \frac{(y_o - y_{na})}{l_o^2} \cdot \sin \alpha, \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (16)$$

де x_d, y_d – найближчі координати точки перетину допоміжного променя та перешкоди, l_d – найменша відстань від перешкоди до ПА у напрямку променя.

Сума векторів \bar{v}_p через проміжки часу t формує траєкторію руху в зоні зі статичними та рухомими перешкодами в оперативному режимі. Траєкторія руху в даному випадку формується тільки під час руху ПА, таким чином не вимагає попередніх розрахунків, які включали би в себе додаткові характеристики перешкод такі, як швидкість їх руху, прискорення тощо.

ВИСНОВОК

Використання даної математичної моделі дозволить більш ефективно будувати маршрут руху ПА в порівнянні з класичним методом потенційних полів, зі збереженням переваг даного методу. Траєкторія руху, в порівнянні з класичною, є більш прямолінійною та має меншу вірогідність попадання в точку локального мінімуму.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Borenstein J., Koren, Y., 1989.** Real-time Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots. IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics, Vol.19, Nr. 5, 1179-1187.

2. **Ge S.S., Cui Y.J., 2000.** Path Planning for Mobile Robots Using New Potential Functions, Proceedings of Asian Control Conference.
3. **Moravec, H.P., Elfes, A., 1985.** High Resolution Maps from Wide Angle Sonar. IEEE Conference on Robotics and Automation, Washington D.C., 116-121.
4. **Rimon E., Koditschek D.E., 1992.** Extract robot navigation using artificial potential function. IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol.8(5), 501-508.
5. **Агеев М.Д., 2003.** Автономные подводные роботы: системы и технологии. Москва, Наука, 398.
6. **Анго А., 1965.** Математика для электро- и радиоинженеров. Москва, Наука, 780.
7. **Бессонов Л.А., 2001.** ТОЭ. Электромагнитное поле: учебник, 9-е изд. Москва, Гардарики, 264.
8. **Блінцов В.С., Клочков О.П., 2016.** Рівняння існування самохідної прив'язної підводної системи як оцінка можливості її створення. Підводні технології, Вип.03, 25-30.
9. **Блінцов В.С., 2014.** Теоретичні основи автоматичного керування автономними підводними апаратами. Миколаїв, Вид-во НУК, 242.
10. **Бронштейн И.Н., Семендяев К.А., 1981.** Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. Москва, Наука, Главная редакция физ.-мат. литературы, 704.
11. **Кабанов Д.С., Крашенинников Б.А., 2005.** Оптимальное управление траекторией движения автомобиля с объездом препятствий. Тезисы докладов 10 междунар. конференции: Системный анализ, управление и навигация, Москва, Изд-во МАИ, 53.
12. **Кирсанов А.П., Сузанский Д.Н., 2013.** Способ траекторного движения летательным аппаратом в горизонтальной плоскости при облете им неподвижной опасной зоны. Радиотехника, Вып.1, 73-76.
13. **Платонов А.К., Кирильченко А.А., Колганов М.А., 2001.** Метод потенциалов в задаче выбора пути: история и перспективы. Препринт ИПМ, Вып.40, Москва (Режим доступа http://www.keldysh.ru/papers/2001/prep40/prep2001_40.html).
14. **Пшихопов В.Х., 2009.** Позиционно-траекторное управление подвижными объектами. Таганрог, ТТИ ЮФУ, 183.
15. **Сірівчук А.С., 2014.** Структура системи керування рухом прив'язного підводного апарата. Проблеми автоматики та електрообладнання транспортних засобів. Матеріали

Vserossiyskogo soveschaniya po problemam upravleniya. Moskva, 19 (in Russian).

20. **Shostak V.P., 2011.** Podvodnyie apparaty-roboty i ih manipulyatory. Chikago, Megatron, 134 (in Russian).

The development of a mathematical model for motion trajectory control of an underwater vehicle

Andrey Sirivchuk

Summary. Manual control of the process of the movement of a tethered underwater vehicle is a complicated task which requires hard work of operator. In some situations the completion of underwater operations with exclusively manual control is even impossible. On the other side while in movement underwater vehicle may encounter static or moveable obstacles located on its trajectory that makes the automation of the control of the movement of a tethered underwater vehicle a complicated scientific task.

In this paper the overview of modern approaches to the control of trajectory motion of mobile units is presented. To define the trajectory of the movement of an underwater vehicle the use of modified potential field method is proposed. To increase the effectiveness of obstacle avoidance the additional pairs of sonar beams in horizontal and vertical movement planes are used.

Advantages of proposed approach are in the decrease of probability of crossing of points of local minimums of repulsion function by the trajectory of an underwater vehicle and the possibility to correct the trajectory of movement in real time. Additional advantage of proposed method of movement automation is the ability of an underwater vehicle to avoid mobile obstacles.

Key words: potential field method, the trajectory of movement, obstacle avoidance, underwater vehicle.

Метод расчета конструктивных параметров горизонтальных классификаторов

Андрей Бондаренко

ГВУЗ Национальный горный университет
просп. Карла Маркса, 19, Днепропетровск, Украина, 49005
bondarenkoa@nmu.org.ua, orcid.org/0000-0002-7666-6752

Аннотация. Процесс гравитационной переработки зернистых материалов в горизонтальном потоке пульпы сопровождается течением несущего потока в пределах разнонаклонных поверхностей, а также оттоком вниз сгущенной пульпы.

В работе обоснован метод расчета конструктивных параметров горизонтального классификатора, который основан на построении траектории движения твердых частиц. Траектории движения элементарной частицы жидкости или твердой частицы получены путем определения текущей координаты частицы в соответствии с методом Лагранжа.

Достоверность полученных теоретических зависимостей подтверждена с применением лабораторного оборудования на базе классификатора горизонтального многосекционного при питании струйным питателем.

Ключевые слова: гравитационное разделение, классификатор горизонтальный, траектория движения.

ВВЕДЕНИЕ

Выделение из исходной массы глинистых или илистых частиц традиционно выполняется в гравитационных аппаратах с горизонтальным движением несущего потока: горизонтальные классификаторы, дешламаторы, спиральные классификаторы, декантаторы, горизонтальные отстойники и др. Предпочтительным устройством, позволяющим эффективно выделять

мелкодисперсные примеси крупностью менее 0,16 мм, является классификатор гидравлический горизонтальный (Рис.1).

Классификатор гидравлический горизонтальный состоит из проточной части, разделенной на участки: разделения 1, осаждения 2, истечения 3 и бункера для накопления зернистого материала 4. Схема проточной части классификатора приведена на Рис.2. Процесс гравитационной переработки зернистых материалов в горизонтальном потоке пульпы сопровождается течением несущего потока в пределах разнонаклонных поверхностей, а также оттоком

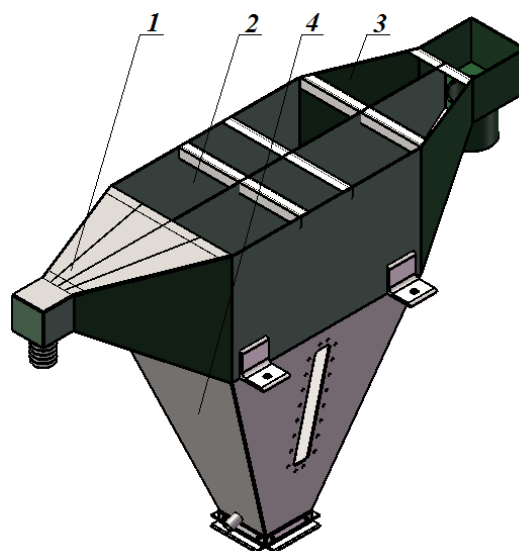


Рис.1. Модель горизонтального классификатора

Fig. 1. Model of the horizontal classifier

вниз сгущенной пульпы в пределах участков: разделения, осаждения, истечения. Для обоснования конструктивных параметров горизонтального классификатора требуется разработка метода расчета, основанного на математической модели движения потока в проточной части классификатора с учетом известных моделей распределения скорости потока по его глубине.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка метода расчета конструктивных параметров горизонтального классификатора, основанного на математической модели движения несущего потока пульпы, включающей твердые частицы, в его проточной части учитывающей известные модели распределения скорости потока по его глубине.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ОСАЖДЕНИЯ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ,
ДВИЖИМЫХ УСКОРЕННЫМ
НЕСУЩИМ ПОТОКОМ ПУЛЬПЫ

Известно, что при разделении зернистого материала крупностью менее 2 мм рационально применение гидравлических классификаторов с горизонтальным перемещением потока [1 – 5].

Описание движения потока жидкости в горизонтальном классификаторе выполнено с применением уравнения Эйлера для идеальной (невязкой) жидкости [6 – 10] в результате чего разработана математическая модель движения жидкости в проточной части классификатора гидравлического горизонтального и получены значения скоростей u_x, u_y, u_z и ускорений потока

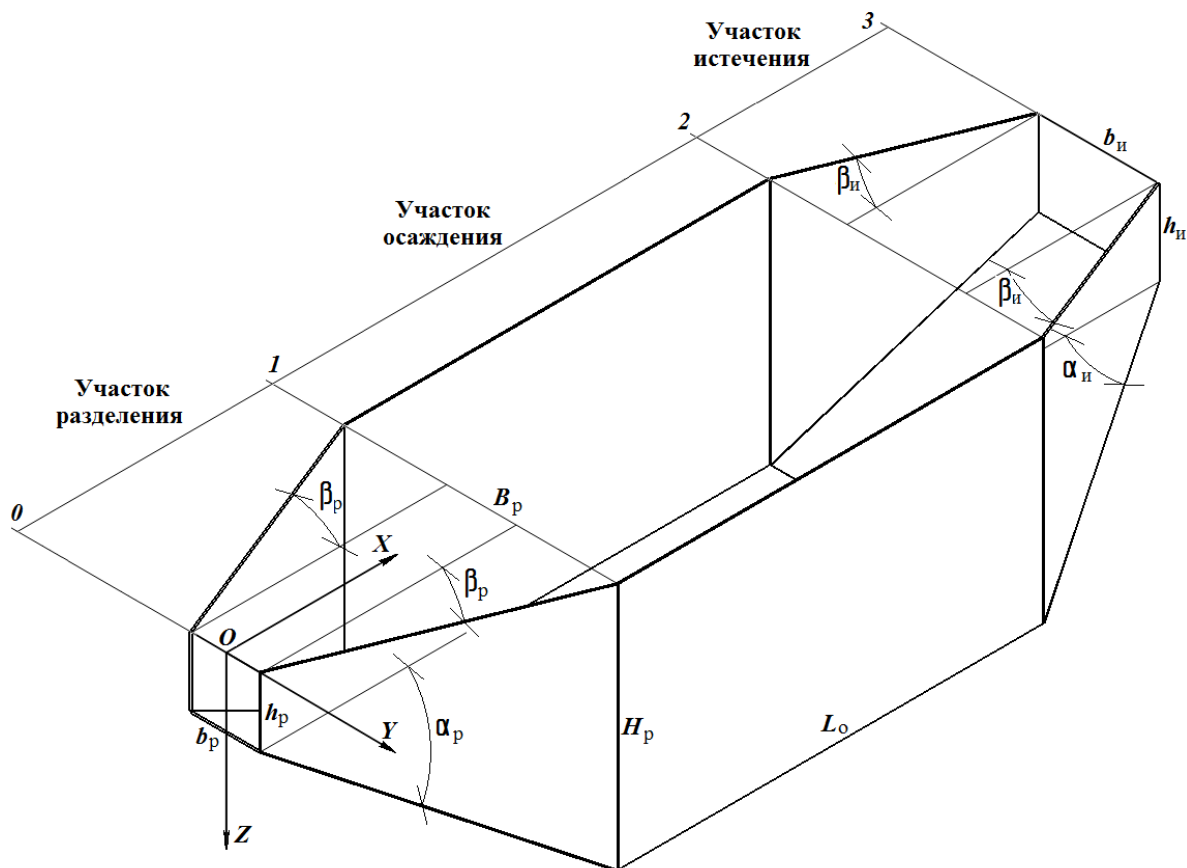


Рис. 2. Схема проточной части классификатора гидравлического горизонтального
Fig. 2. Chart of running part of hydraulic horizontal classifier

$\frac{du_x}{dt}$, $\frac{du_y}{dt}$, $\frac{du_z}{dt}$ в характерных участках процесса. Полученная модель предназначена для описания процесса осаждения твердых частиц, движимых ускоренным несущим потоком пульпы и обоснования рациональных параметров устройств, применяемых для гравитационной переработки зернистых материалов.

Для описания процесса движения несущей среды введены обозначения:

$Q_p, Q_o, Q_{и}$ – производительности по пульпе на участках разделения, осаждения и истечения m^3/c ; $Q_{пес}$ – производительность по сгущенной пульпе на участке осаждения, m^3/c ; b_o, h_o – ширина и высота потока в начальном сечении участка разделения, м; B_p, H_p – ширина и высота потока в конечном сечении участка разделения и начальном сечении участка осаждения, м; $b_{и}, h_{и}$ – ширина и высота потока в конечном сечении участка истечения, м; α_p, β_p – углы расширения потока по осям $O-Z$ и $O-Y$ на участке разделения; $\alpha_{и}, \beta_{и}$ – углы сужения потока по осям $O-Z$ и $O-Y$ на участке истечения.

При движении твердой частицы в несущем потоке возникает ее перемещение относительно жидкости, значит $U_{ч} = u - v$, в результате сама жидкость приобретает дополнительное движение. Л. Прандтль [11 – 13] назвал силу, возникающую при ускоренном движении тела относительно жидкости, гидродинамическим дальнодействием. Для оценки режима взаимодействия твердой частицы и потока несущей среды при скоростях, характерных для горизонтального классификатора (Рис. 1), предположим, что поток обтекает неподвижную твердую частицу. В этом случае значения числа Рейнольдса ($Re = \frac{ud}{v}$) не превысят

30. В приведенном диапазоне неравномерность движения тел относительно жидкости не приводит к их вращению или колебанию, то есть они двигаются без определенной ориентации [11]. Известно также, что в

малоскоростных потоках, несущих твердые частицы малых размеров, влияние сил Сафмена и Магнуса-Жуковского на параметры движения твердых частиц будет незначительным [10]. При указанных режимах движения твердых частиц будут минимальными также гидродинамические силы сопротивления, возникающие при значительных ускорениях твердых частиц за счет пульсаций, поэтому силы Басе также не учитывались.

В реальности твердые частицы движутся увлекаемые потоком при малых относительных скоростях v . Допустим, что в пределах крупностей 0,15...5 мм режим обтекания потоком твердой частицы будет ламинарным. Движение твердой частицы относительно жидкости при малых числах Рейнольдса ($Re < 1$), то есть при ламинарном обтекании, может быть описано известным уравнением Г. Стокса [11]

$$v_{\Gamma} = \frac{g(\rho_{\Gamma} - \rho_{\text{ж}})d^2}{18\mu},$$

где ρ_{Γ} – плотность твердой частицы, $кг/м^3$; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, $кг/м^3$; μ – динамический коэффициент вязкости, $кг/м \cdot с$.

Приведенное уравнение применимо при падении твердой частицы в неподвижной жидкости после окончания начального неустановившегося режима ее движения, в течение которого твердая частица падает с ускорением, то есть после достижения конечной скорости. Очевидно, что движение твердой частицы в ускоренном горизонтальном несущем потоке находится в области неустановившегося движения, когда на скорость движения твердой частицы значительное влияние оказывает ускорение несущего потока. Тогда, обозначив

$$\lambda = \frac{\rho_{\Gamma}d^2}{18\mu},$$

получим выражение для относительной скорости твердой частицы и ускоренного потока жидкости в виде системы уравнений

$$v_x = \lambda \left(\frac{du_x}{dt} \right);$$

$$v_y = \lambda \left(\frac{du_y}{dt} \right);$$

$$v_z = \lambda \left(\frac{du_z}{dt} \right).$$

Зная скорость потока, получим выражение для определения абсолютной скорости твердой частицы. Движение частицы вниз сопровождается дополнительным влиянием гравитационных сил, которые учитываются скоростью свободного падения v_{Γ} . Тогда абсолютная скорость твердой частицы будет равна

$$U_{\dot{x}} = u_x - \lambda \left(\frac{du_x}{dt} \right);$$

$$U_{\dot{y}} = u_y - \lambda \left(\frac{du_y}{dt} \right); \quad (1)$$

$$U_{\dot{z}} = u_z - \lambda \left(\frac{du_z}{dt} \right) + v_{\Gamma}.$$

Очевидно, что при известном экспериментальном значении скорости свободного падения ω твердой частицы в неподвижной воде систему уравнений (1) можно записать в виде

$$U_{\dot{x}} = u_x - \lambda \left(\frac{du_x}{dt} \right);$$

$$U_{\dot{y}} = u_y - \lambda \left(\frac{du_y}{dt} \right); \quad (2)$$

$$U_{\dot{z}} = u_z - \lambda \left(\frac{du_z}{dt} \right) + \omega.$$

В качестве составляющей уравнения u и $\frac{du}{dt}$ применим полученные ранее зависимости для скорости и ускорения потока [7 – 10]. Траекторию движения элементарной частицы жидкости или твердой частицы получим путем определения текущей координаты частицы. Следует указать, что в

данном случае интересно определение текущих координат частицы только в плоскости $X-Z$. Для этого рассмотрим процесс перемещения элементарной частицы жидкости в составе потока. В соответствии с методом Лагранжа, текущая координата частицы является функцией исходной координаты и времени [6]. Траектория движения частицы жидкости при плоском движении описывается системой уравнений

$$x = f_1(x_0, z_0, t);$$

$$z = f_2(x_0, z_0, t).$$

Известный метод рассматривает движение частицы жидкости за единицу времени dt со скоростью $U_x = \frac{dx}{dt}; U_z = \frac{dz}{dt}$. Проекция текущей координаты частицы жидкости на ось X, Z описывается системой уравнений в виде $dx = U_x dt; dz = U_z dt$. Решая приведенную систему на плоскости получим

$$\frac{dx}{U_x} = \frac{dz}{U_z}.$$

Зная, что координата z показывает глубину осаждения частицы, а x проекцию длины пути на ось $O-X$ текущее приращение глубины осаждения частицы можно определить из выражения

$$dz = \frac{U_z}{U_x} dx. \quad (3)$$

Приращение глубины осаждения частицы определим путем подстановки известных выражений для определения абсолютной скорости твердой частицы (2), тогда

$$dz = \frac{u_z - \lambda \left(\frac{du_z}{dt} \right) + \omega}{u_x - \lambda \left(\frac{du_x}{dt} \right)} dx.$$

Зная, что в соответствии с исследованиями, приведенными в [7 – 10], для участка разделения скорость потока

$$u_{zp} = \operatorname{tg}\alpha_p u_{xp},$$

а ускорение потока

$$\frac{du_z}{dt} = \operatorname{tg}\alpha_p \frac{du_x}{dt}.$$

После подстановки получим выражение (3) в виде

$$dz_p = \frac{\operatorname{tg}\alpha_p u_x - \operatorname{tg}\alpha_p \lambda \left(\frac{du_x}{dt} \right) + \omega}{u_x - \lambda \left(\frac{du_x}{dt} \right)} dx_p.$$

Отсюда, текущее приращение глубины осаждения частицы на участке разделения будет равным

$$dz_p = \frac{\operatorname{tg}\alpha_p U_{чxp} + \omega}{U_{чxp}} dx_p.$$

Скорость движения сгущенной пульпы по всему сечению участка осаждения имеет постоянное значение $u_{zo} = \frac{q}{B_p}$ [7 – 10], то-

гда приращение глубины осаждения твердой частицы на участке осаждения получим из выражения

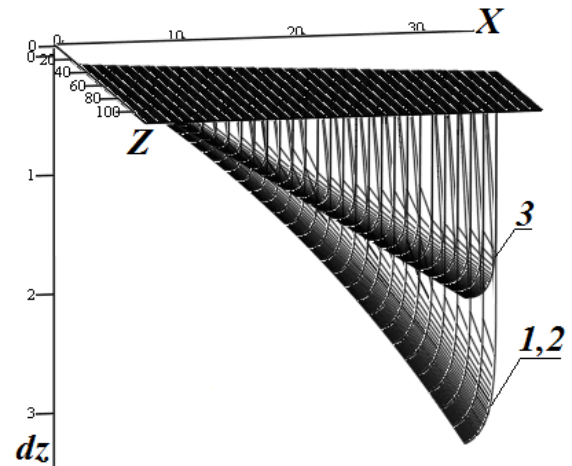
$$dz_o = \frac{\frac{q}{B_p} + \omega}{U_{чxo}} dx_o.$$

Для описания осаждения твердых частиц, путем определения текущего приращения, воспользовавшись описанием, приведенным в [7 – 10], аналогично участку разделения, получим выражение

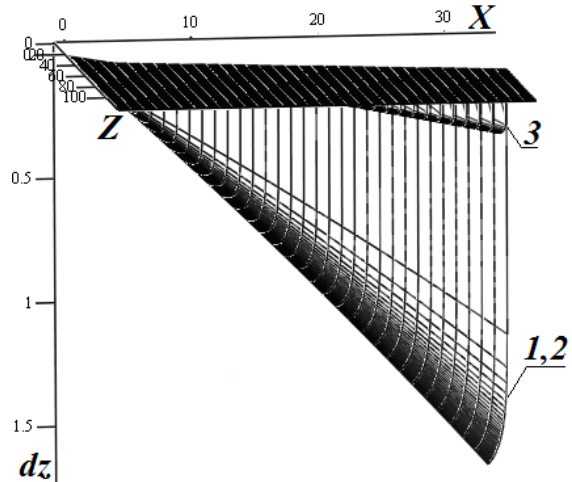
$$dz_{и} = \frac{\operatorname{tg}\alpha_{и} U_{чxi} + \omega}{U_{чxi}} dx_{и}.$$

ПОСТРОЕНИЕ ТРАЕКТОРИИ ОСАЖДЕНИЯ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ

Пользуясь выражениями для определения значений приращения глубины осаждения твердых частиц на участках разделения и осаждения можно построить траектории движения твердых частиц, пример которых приведен на Рис. 3. Траектория построена только для участков разделения и



а



б

- 1 – твердые частицы с учетом движения относительно потока жидкости;
- 2 – твердые частицы без учета движения относительно потока жидкости;
- 3 – поток жидкости

Рис. 3. Траектория движения частиц на участках: а – разделения; б – осаждения

Fig. 3. Trajectory of motion of particles on areas: а – classification; б – besieging

осаждения, так как на их протяжении происходит процесс классификации зернистых материалов. На участке истечения из процесса классификации выносятся взвешенные твердые мелкодисперсные частицы, построение траектории осаждения которых в данной работе не вызывает интереса.

На рисунке видно, что уже на участке разделения жидкость и твердые частицы движутся по разным траекториям, ввиду влияния на твердые частицы сил тяжести, интегрально учтенных в известном экспериментальном параметре – гидравлическая крупность ω . Твердые частицы двигаются по криволинейной траектории, причем из-за малых значений перемещений твердых частиц относительно потока жидкости ν , разница в описании их движения, с учетом и без учета движения относительно потока жидкости, невелика. На участке осаждения наблюдается более прямолинейная траектория движения твердых частиц. Характерно, что разница в траекториях движения потока жидкости и твердых частиц увеличивается.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ДВИЖИМЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ НЕСУЩИМ ПОТОКОМ

Изучение закономерностей поведения зернистого материала при его разделении на классы в ходе гравитационной переработки в горизонтальном потоке пульпы с целью подтверждения достоверности полученных теоретических зависимостей выполнены с применением лабораторного оборудования на базе классификатора горизонтального многосекционного КГМ при питании струйным питателем (Рис. 4).

В ходе лабораторных экспериментов изучалось влияние на процесс движения твердой частицы: совместно протекающего относительного вертикального и горизонтального движения частиц; стесненность движения частиц; перемещение частиц относительно несущего горизонтального по-

тока. Всего было выполнено 36 циклов экспериментов, при этом обработано 153 порции зернистого материала [10].

В результате лабораторных исследований изучен процесс осаждения частиц кварца окатанной формы в диапазоне крупностей 0,2 мм и 1,8 мм. Обработка данных экспериментов показала, что в диапазоне крупностей 0,2 мм более 90 % твердых частиц садились в отсеки, находящиеся в теоретической области осаждения окатанных частиц кварца крупностей 0,2...0,1мм.



Рис. 4. Лабораторная установка для исследования гравитационного разделения зернистых материалов

Fig. 4. Laboratory setting for research of gravity classification of grainy materials

Таким образом, минимальное значение вероятности попадания окатанной частицы кварца крупностью 0,2...0,1 мм в теоретическую область осаждения составляет 90%. А при учете наличия в применяемом сырье частиц крупностью менее 0,1 мм теоретическая область расширяется и вероятность стремится к 100%. Изучение движения твердых частиц кварца крупностью менее

1,8 мм показало, что при концентрации твердого в питании пульпы в пределах от 0 до 20%, изменение значения средней крупности осажденного в отсеках зернистого материала не выходит за значение 5%, а в средняя погрешность составляет 1,6%. Процесс осаждения протекал при средней скорости горизонтального потока 0,03 м/с.

ВЫВОД

Конструктивные параметры горизонтального классификатора, рационально определять выполнив построение траектории движения твердых частиц в характерных участках проточной части, получаемой путем определения текущего приращения глубины осаждения твердой частицы.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бондаренко А.А., 2007.** Обоснование способа обогащения кварцевых песков при их гидромеханизированной добыче. Днепропетровск, Обогащение полезных ископаемых, Вып.29(70) - 30(71), 70-84.
2. **Бондаренко А.А., 2008.** К обоснованию рациональной технологии обогащения мелкозернистых материалов. Днепропетровск, Обогащение полезных ископаемых, Вып.33(74), 9-15.
3. **Бондаренко А.А., 2008.** Освоение месторождений строительных песков в маловодных районах. Днепропетровск, Обогащение полезных ископаемых, Вып.34(75), 25-30.
4. **Бондаренко А.А., 2013.** Математическое моделирование движения частиц под влиянием скоростного напора. Днепропетровск, Metallurgical and mining industry, Vol. 1, 66-68.
5. **Бондаренко А.А., 2013.** Физические основы процесса гравитационного разделения зернистых материалов в горизонтальном потоке пульпы. Днепропетровск, Обогащение полезных ископаемых, Вып.52(93), 77-80.
6. **Бондаренко А.А., 2013.** Обоснование параметров горизонтального классификатора путем изучения взаимодействия твердой частицы с потоком жидкости. Днепропетровск, Сборник научных трудов Днепро-

дзержинского государственного технического университета. Технические науки, Вып.3(23), 114-119.

7. **Франчук В.П., Бондаренко А.А., 2014.** Теоретические основы процесса движения жидкости в классификаторе гидравлическом горизонтальном. Днепропетровск, Геотехническая механика, Вып.114, 185-191.
8. **Франчук В.П., Бондаренко А.А., 2013.** Разработка математической модели движения потока в классификаторе гидравлическом горизонтальном. Житомир, Вестник ЖГТУ. Технические науки, Вып. 3(66), 140-149.
9. **Франчук В.П., Бондаренко А.А., 2015.** Математическая модель движения несущего потока в классификаторе гидравлическом горизонтальном. Днепропетровск, Підводні технології, Вып.02, 24-31.
10. **Франчук В.П., Бондаренко А.А., 2016.** Горизонтальные классификаторы. Основы теории и расчета. Днепропетровск, НГУ, 111.
11. **Богомолов А.И., Михайлов К.А., 1972.** Гидравлика: учебник для вузов. Москва, Стройиздат, 648.
12. **Кизевальтер Б.В., 1979.** Теоретические основы гравитационных методов обогащения. Москва, Недра, 295.
13. **Прандтль Л., 1949.** Гидроаэромеханика. – Москва, Недра.

REFERENCES

1. **Bondarenko A.A., 2007.** Obosnovanie sposoba obogashhenija kvarcevyh peskov pri ih gidromehanizirovannoj dobyche. Dnepropetrovsk, Processing of minerals, Vol. 29(70) - 30(71), 70-84 (in Russian).
2. **Bondarenko A.A., 2008.** K obosnovaniju racional'noj tehnologii obogashhenija melkozernistykh materialov, Dnepropetrovsk, Processing of minerals, Vol. 33(74), 9-15 (in Russian).
3. **Bondarenko A.A., 2008.** Osvoenie mestorozhdenij stroitel'nyh peskov v malovodnyh rajonah. Dnepropetrovsk, Processing of minerals, Vol. 34(75), 25-30 (in Russian).
4. **Bondarenko A.A., 2013.** Matematicheskoe modelirovanie dvizhenija chastic pod vlijaniem skorostnogo napora. Dnepropetrovsk, Metallurgical and mining industry, Vol. 1, 66-68 (in Russian).
5. **Bondarenko A.A., 2013.** Fizicheskie osnovy processa gravitacionnogo razdelenija zernistykh

- materialov v gorizontal'nom potoke pul'py. Dnepropetrovsk, Processing of minerals, Vol. 52(93), 77-80 (in Russian).
6. **Bondarenko A.A., 2013.** Obosnovanie parametrov gorizontal'nogo klassifikatora putem izuchenija vzaimodejstvija tverdoj chasticy s potokom zhidkosti. Dneprodzerzhinsk, Sbornik nauchnix trudov DDTU, Vol. 3(23), 114-119 (in Russian).
 7. **Franchuk V.P., Bondarenko A.O., 2014.** Teoreticheskie osnovy processa dvizhenija zhidkosti v klassifikatore gidravlicheskom gorizontal'nom. Dnepropetrovsk, Geotechnical mechanics, Vol. 114, 185-191 (in Russian).
 8. **Franchuk V.P., Bondarenko A.O., 2013.** Razrabotka matematicheskoy modeli dvizhenija potoka v klassifikatore gidravlicheskom gorizontal'nom. Zhitomir, Visnik ZDTU. Engineerings sciences, Vol. 3(66), 140-149 (in Russian).
 9. **Franchuk V.P., Bondarenko A.O., 2015.** Matematicheskaja model' dvizhenija nesushhego potoka v klassifikatore gidravlicheskom gorizontal'nom. Underwater technologies, Vol.02, 24-31 (in Russian).
 10. **Franchuk V.P., Bondarenko A.O., 2016.** Gorizontal'nye klassifikatory. Osnovy teorii i rascheta. Dnepropetrovsk, NMU, 111 (in Russian).
 11. **Bogomolov A.I., 1972.** Gidravlika. Moscow, Stroytekhizdat, 648 (in Russian).
 12. **Kizelvatser B.V., 1975.** Teoreticheskie osnovy gravitacionnyh metodov obogasheniya. Moscow, Nedra, 295 (in Russian).
 13. **Prandtl L., 1949.** Gidrojermehnika. Moscow, Nedra (in Russian).

Method of calculation of horizontal classifiers structural parameters

Andrii Bondarenko

Summary. The process of gravitational treatment of granular materials in pulp horizontal flow features carrying flow being limited by surfaces of different inclination values, also condensed pulp flowing downwards.

The method to calculate design parameters of horizontal classifier, based on solid particles motion trajectories taking into consideration, is proved in the article. The trajectories of liquid or hard elementary particle motion are got by determination of current coordinate of particle in accordance with the method of Lagrange.

Got theoretical dependences validities with the use of laboratory equipment on the base of horizontal classifier at a feed by stream feeder.

Key words: gravitational separation, horizontal classifier, motion trajectory.

Дослідження механізму збудження коливань рухомого решета відсаджувальної машини

Андрій Небатов

ДВНЗ Національний гірничий університет
просп. Карла Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, Україна, 49005,
Nebatov_A@nmu.org.ua, orcid.org/0000-0003-0851-5909

Анотація. У статті здійснений аналіз залежностей траєкторії руху і амплітуд коливань рухомого решета від конструктивних параметрів механізму збудження коливань відсаджувальної машини. Проаналізовано залежність можливого відхилення розмаху вертикальних коливань, залежність розмаху вертикальних та горизонтальних коливань від величини ексцентриситету механізму привода решета. Зроблені висновки по наданню рухомому решету прямолінійної траєкторії руху.

Ключові слова: відсаджувальна машина, рухоме решето, напрямні.

ВСТУП

Розробка родовищ корисних копалин відбувається в умовах дефіциту води, електроенергії і інших ресурсів. Особливо це відчутно при розробці вторинних родовищ корисних копалин (хвостохранилищ і відвалів). Для таких умов підходять апарати малої і середньої продуктивності з низьким енергоспоживанням. У цьому плані звертають на себе увагу відсаджувальні машини з рухомим решетом (Рис. 1) [1...4].

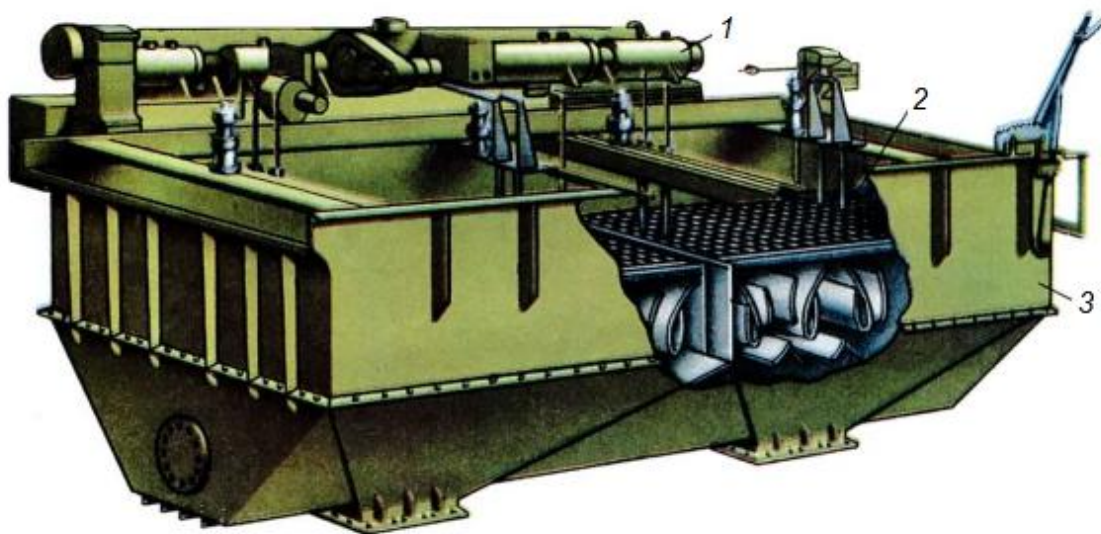


Рис.1. Відсаджувальна машина

Fig. 1. Jigging machine

У корпусі 3 відсаджувальної машини розташоване рухоме решето 2, якому передаються коливання від привода 1.

Найбільш широко відомою конструкцією відсаджувальної машини з рухомим решетом є машина типу "Штаух". Проте, через відсутність аналізу її конструкції, а точніше механізму збудження коливань, невідомі можливості регулювання траєкторії переміщення решета, амплітуд вертикальних і горизонтальних коливань і співвідношення між ними. Останнє особливо важливе при оцінці можливості переробки корисних копалини, виходячи з їх фізико-механічних властивостей, і визначення продуктивності машини без проведення лабораторних досліджень [5 – 8].

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Для отримання необхідних відомостей розглянемо механізм збудження коливань рухомого решета відсаджувальної машини типу "Штаух" представлений на Рис. 2 [9 – 11].

Він встановлений на нерухомій ванні, в якій розташоване рухоме решето 1. Рухи рухомому решету 1 передаються від джерела збудження коливань 2 (ексцентриковий привід) через систему важелів, що складається з шатуна 3, тяги 4 та коромисел 5, 6. Довжину шатуна 3 можна змінювати за допомогою регулюючого пристрою 7, а дов-

жину тяги 4 - регулюючого пристрою 8.

Положення ланок в просторі визначається їх розмірами, відстанями h і l , а також кутом повороту кривошипа $\varphi_{кр}$.

Кут $\varphi_{ш}$ повороту шатуна відносно горизонталі визначається з вираження:

$$\varphi_{ш} = \arccos\left(\frac{l_{ш}^2 - l_{к}^2 - S^2}{2l_{ш}S}\right) + \arctan\left(\frac{-\varepsilon \sin(\varphi_0 + \varphi_{кр})}{-\varepsilon \cos(\varphi_0 + \varphi_{кр}) + l_1}\right) - \varphi_0, \quad (1)$$

де: $l_{ш}$ – довжина шатуна; $l_{к}$ – довжина плеча O_2C коромисла; ε – ексцентриситет приводу; φ_0 – кут між відрізком O_1O_2 і горизонталлю; S – відстань між точками E і O_2 .

Відстань між точками E і O_2 визначається з виразу:

$$S = \sqrt{l_1^2 + \varepsilon^2 - 2l_1 \cos(\varphi_0 + \varphi_{кр})}, \quad (2)$$

l_1 – відстань між точками O_1 та O_2 .

Кут $\varphi_{к}$ повороту плеча O_2A коромисла відносно горизонталі, визначається з вираження:

$$\varphi_{к} = \arccos\left(\frac{l_{ш}^2 - l_{к}^2 + S^2}{2l_{ш}S}\right) + \arctan\left(\frac{-\varepsilon \sin(\varphi_0 + \varphi_{кр})}{-\varepsilon \cos(\varphi_0 + \varphi_{кр}) + l_1}\right) - \varphi_0 - \alpha, \quad (3)$$

де: α – кут між плечима коромисла.

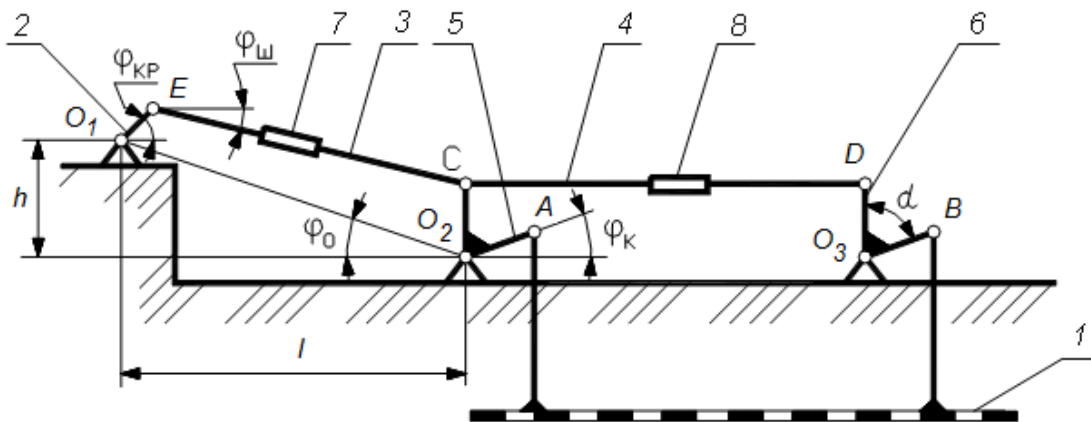


Рис.2. Схема відсаджувальної машини типу "Штаух"

Fig. 2. Chart of jigging machine of type «Stauch»

Решето, зазвичай, встановлене горизонтально. Конструкція механізму збудження коливань не передбачає регулювання кута його нахилу уздовж машини. Тому, змінити кут нахилу решета можна, лише внівши зміни в конструкцію його короба.

Регулюючий пристрій 8 призначено для виконання умов працездатності механізму: $/O_2O_3/ = /CD/ = /AB/$, і дозволяє за рахунок зміни довжини тяги 4 усунути неточності виготовлення і складання.

Конструкція механізму така, що траєкторія руху рухомого решета така ж, як і точки A коромисла 5, що є дугою, радіус якої визначається довжиною плеча O_2A .

Вертикальна складова коливань рухомого решета 1 забезпечує розпушування матеріалу і обумовлена ефективністю процесу відсадження. Горизонтальна складова коливань забезпечує раціональне просування матеріалу уздовж решета до місця розвантаження.

Розмах вертикальних коливань визначимо як

$$S_y = \frac{y_{Amax} - y_{Amin}}{2}, \quad (4)$$

де: y_{Amax} , y_{Amin} – максимальна і мінімальна координата точки A по вертикалі за період коливання решета.

Положення точки A відносно осі Y визначимо з вираження:

$$y_A = l_{k1} \sin(\varphi_k), \quad (5)$$

де l_{k1} – довжина плеча O_2A коромисла.

Розмах горизонтальних коливань визначимо як:

$$S_x = \frac{x_{Amax} - x_{Amin}}{2}, \quad (6)$$

де: x_{Amax} , x_{Amin} – максимальна і мінімальна координата точки A по горизонталі за період коливання решета.

Положення точки A відносно осі X визначимо з вираження:

$$x_A = l_{k1} \cos(\varphi_k), \quad (7)$$

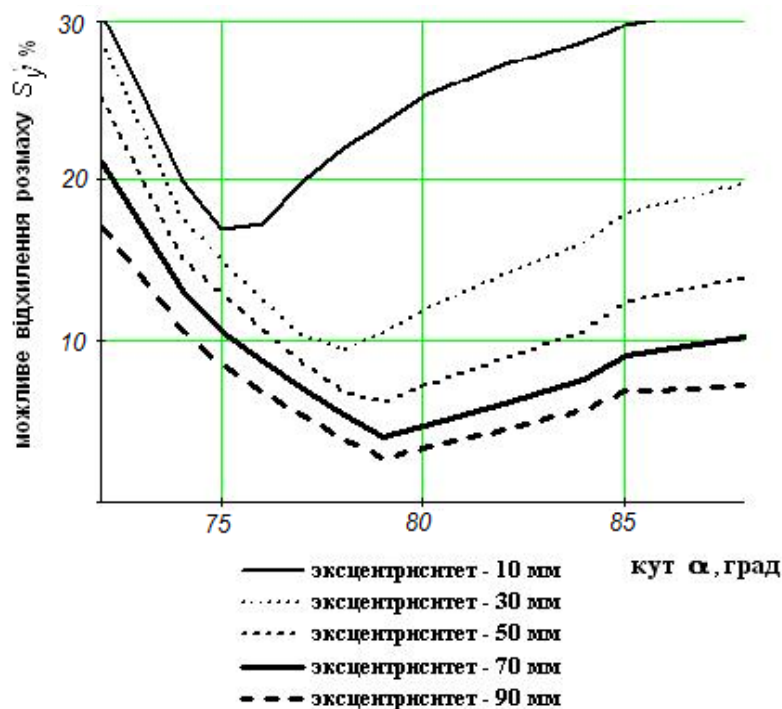


Рис. 3. Залежності можливого відхилення розмаху вертикальних коливань S_y від кута α і величини ексцентриситету ε

Fig. 3. Dependences of possible rejection of scope of vertical vibrations of S_y on a corner α and size of excentricity ε

Зміна величини ексцентриситету приводу і довжини шатуна 3 робить значний вплив на траєкторію коливання решета 1 і розмах його вертикальних і горизонтальних коливань. Проте, для забезпечення стабільної роботи машини потрібне незалежне регулювання вертикальних і горизонтальних коливань решета [12 – 14].

Проведені дослідження дозволили визначити раціональне значення кута α коромисла 5, при якому регулювання амплітуди вертикальних коливань можна здійснювати тільки зміною ексцентриситету приводу 2. При цьому, зміна довжини шатуна не робить на амплітуду вертикальних коливань решета 1 істотного впливу (Рис. 3).

Виходячи з графіків на Рис. 2, рекомендується кут α приймати в діапазоні $75...79^\circ$. Причому, вибирати його виходячи з великості передбачуваного для збагачення класу матеріалу. Для кута $\alpha = 77^\circ$ залежність розмаху вертикальних коливань S_y від величини ексцентриситету ε представлена на Рис. 4.

Зміною амплітуди горизонтальних коливань регулюється швидкість транспортування матеріалу уздовж машини. У свою чергу, регулювання величини горизонтальних коливань робиться за рахунок зміни довжини шатуна 3.

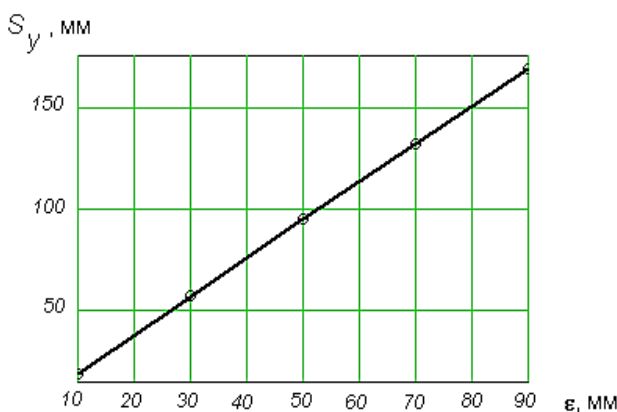


Рис. 4. Залежність розмаху вертикальних коливань S_y від величини ексцентриситету ε
Fig. 4. Dependence of scope of vertical vibrations of S_y on the size of eccentricity ε

Довжина шатуна 3 обмежується умовами:

- працездатності механізму;
- ефективності процесу відсадження.

Умовами працездатності ε :

$$\begin{aligned} l_{3\min} &= l_1 - l_k + \varepsilon, \\ l_{3\max} &= l_1 + l_k - \varepsilon \end{aligned} \quad (8)$$

Умови ефективності процесу відсадження обумовлені наступним:

- кут φ_k повороту коромисла не має бути менше 0° , оскільки це приведе до зміни напрямку транспортування матеріалу взагалі, або зміни напрямку транспортування матеріалу за період циклу відсадження.

- кут φ_k повороту коромисла має бути менше 90° . Інакше, це приведе до утворення ще двох екстремумів за період у вертикальних коливань решета, що, в свою чергу, негативно відображається на процесі розшарування матеріалу.

Можливості регулювання розмаху горизонтальних коливань за рахунок зміни довжини шатуна 3 при різних значеннях ексцентриситету 2 представлені на Рис. 5.

Зміна довжини шатуна 3 в межах 100...200 мм здійснюється за допомогою регулюючого пристрою 7. Значніші зміни довжини необхідно робити заміною шатуна або його деталей.

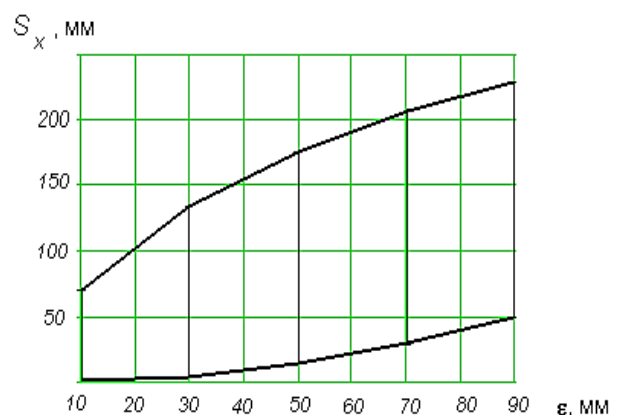


Рис. 5. Залежність розмаху горизонтальних коливань S_x від величини ексцентриситету ε
Fig. 5. Dependence of scope of horizontal vibrations of S_x on the size of eccentricity ε

ВИСНОВКИ

Виходячи з проведених досліджень, можна сказати, що параметри машини підібрані для забезпечення траєкторії руху решета, максимально наближеної за формою до прямолінійної. Проте вихрові потоки, що виникають навіть при такій траєкторії, не дозволяють ефективно переробляти дрібні класи корисних копалини.

Для збагачення великих класів вугілля потрібно збільшення амплітуди вертикальних коливань решета. Це призводить до значної відмінності форми траєкторії руху решета від прямолінійної. Що, у свою чергу, посилює вихрові потоки, що переміщують матеріал та знижують показники збагачення.

Тому розробка відсаджувальної машини з прямолінійною траєкторією руху решета та оперативним регулюванням його вертикальних і горизонтальних амплітуд коливань є актуальною проблемою.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Басс К.М., Небаатов А.В., 2001.** Проблемы повышения эффективности отсадочных машин с механическим приводом подвижного решета. Днепропетровск, Збагачення корисних копалин, Вып.11, 123-125.
2. **Небаатов А.В., Басс К.М., 2002.** Регулирование параметров движения решета в отсадочных машинах с подвижным решетом. Днепропетровск, Вибрации в технике и технологиях, Вып. 5, 41-44.
3. **Басс К.М., Небаатов А.В., 2001.** Оперативное регулирование процесса обогащения в отсадочных машинах с механическим приводом подвижного решета. Днепропетровск, Збагачення корисних копалин, Вып.13, 26-28.
4. **Франчук В.П., Бондаренко А.А., 2016.** Горизонтальные классификаторы. Основы теории и расчета. Днепропетровск, НГУ, 111.
5. **Пилов П.И., 2003.** Гравитационная сепарация полезных ископаемых. Днепропетровск, 123.
6. **Шохин В.Н., Лопатин А.Г., 1993.** Гравитационные методы обогащения, Москва, 350.

7. **Верхотуров М.В., 2006.** Гравитационные методы обогащения. Москва, 351.
8. **Берт Р.О., Миллз К., 1990.** Технология гравитационного обогащения. Москва, 574.
9. **Кусков В.Б., 2001.** Гравитационные методы обогащения. Санкт-Петербург, 75.
10. **Смірнов В.О., Білецький В.С., 2005.** Донецьк, Гравітаційні процеси збагачення корисних копалин, 300.
11. **Егоров В.Л., 1986.** Обогащение полезных ископаемых. Москва, 421.
12. **Франчук В.П., Бондаренко А.А., 2014.** Теоретические основы процесса движения жидкости в классификаторе гидравлическом горизонтальном. Днепропетровск, Геотехническая механика, Вып.114, 185-191.
13. **Франчук В.П., Бондаренко А.А., 2013.** Разработка математической модели движения потока в классификаторе гидравлическом горизонтальном. Житомир, Вестник ЖГТУ, Технические науки, Вып.3(66), 140-149.
14. **Франчук В.П., Бондаренко А.А., 2015.** Математическая модель движения несущего потока в классификаторе гидравлическом горизонтальном. Днепропетровск, Підводні технології, Вып.01, 21-28.

REFERENCES

1. **Bass K.M., Nebatov A.V., 2001.** Problemy povysheniya jeffektivnosti otsadochnyh mashin s mehanicheskim privodom podvizhnogo resheta. Dnepropetrovsk, Mineral processing, Vol. 11, 123-125 (in Russian).
2. **Nebatov A.V., Bass K.M., 2002.** Regulirovanie parametrov dvizheniya resheta v otsadochnyh mashinah s podvizhnym reshetom. Dnepropetrovsk, Vibration in Technics and Technology, Vol.5, 41-44 (in Russian).
3. **Bass K.M., Nebatov A.V., 2001.** Operativnoe regulirovanie processa obogashheniya v otsadochnyh mashinah s mehanicheskim privodom podvizhnogo resheta. Dnepropetrovsk, Mineral processing, Vyp.13, 26-28 (in Russian).
4. **Franchuk V.P., Bondarenko A.O., 2016.** Gorizonta'nye klassifikatory. Osnovy teorii i rascheta. Dnepropetrovsk, NMU, 111 (in Russian).
5. **Pilov P.I., 2003.** Gravitacionnaja separacija poleznyh iskopaemyh. Dnepropetrovsk, 123 (in Russian).

6. **Shohin V.N., Lopatin A.G., 1993.** Gravitacionnye metody obogashhenija, Moskva, 350 (in Russian).
7. **Verhoturov M.V., 2006.** Gravitacionnye metody obogashhenija. Moskva, 351 (in Russian).
8. **Bert R.O., Millz K., 1990.** Tehnologija gravitacionnogo obogashhenija. Moskva, 574 (in Russian).
9. **Kuskov V.B., 2001.** Gravitacionnye metody obogashhenija. Sankt-Peterburg, 75 (in Russian).
10. **Smirnov V.O., Bilec'kij V.S., 2005.** Gravitacijni procesi zbagachennja korisnih kopalin. Donec'k, 300 (in Ukrainian).
11. **Egorov V.L., 1986.** Oboga-shhenie poleznyh iskopaemyh. Moskva, 421 (in Russian).
12. **Franchuk V.P., Bondarenko A.O., 2014.** Teoreticheskie osnovy processa dvizhenija zhidkosti v klassifikatore gidravlicheskom gorizonta'nom. Dnepropetrovsk, Geotechnical mechanics, Vol. 114, 185-191 (in Russian).
13. **Franchuk V.P., Bondarenko A.O., 2013.** Razrabotka matematicheskoy modeli dvizhenija potoka v klassifikatore gidravlicheskom gorizonta'nom. Zhitomir, Visnik ZDTU, Engineerings sciences, Vol. 3(66), 140-149 (in Russian).
14. **Franchuk V.P., Bondarenko A.O., 2015.** Matematicheskaja model' dvizhenija

nesushhego potoka v klassifikatore gidravlicheskom gorizonta'nom. Underwater Technologies, No 1, 21-28 (in Russian).

Research of excitation mechanism of vibrations movable sieve of jiggging machine

Andrii Nebatov

Summary. In the article a realizable analysis of dependences of trajectory of motion and amplitudes of vibrations of movable sieve is from the structural parameters of mechanism of excitation of vibrations of jiggging machine. Dependence of possible rejection of scope of vertical vibrations is analyzed, dependence of scope of vertical and horizontal vibrations on the size of eccentricity mehanyzmu drive sieves. Drawn conclusion on a grant to the movable sieve of rectilinear trajectory of motion.

Key words: jiggging machine, mobile sieve, directing.

Building protection in conditions of simultaneous availability of soil base substantial differential settlements and seismic hazard origins

Denys Khokhlin

Kyiv National University of Construction and Architecture
Povitroflotskyy prosp., 31, Kyiv, Ukraine, 03680
den_a_khokh@rambler.ru, orcid.org/0000-0002-0128-8515

Summary. The problem of possible combination of soil base substantial differential settlements and seismic action is characterized. This theme is extremely urgent subject to significant negative influence of soil base substantial differential settlements evolution on the construction system seismic stability and also to possibility of continuation of base settlements after earthquake. The article's aim is to consider of building protection features in conditions of both complex influence simultaneous availability. Sequence of theme uncovering in the article consists of the building protection strategy selection in conditions under consideration; straight consideration of recommended protection measures; approaches to the calculation analysis of developed measures. Differentiation of building protection strategies and approaches to the calculation analysis is occurred on basis of the building responsibility class CC-1, CC-2, CC-3 and possible consequences and costs from damages and collapse of buildings. Approaches for building protection methods from separate influences of base settlements or seismic and also results of pre-existing investigations of such influences combination features are analyzed for separation of proposed possible protection measures complex.

Key words: differential base settlements, seismic loads, combination, construction system, protection.

INTRODUCTION

Complex geotechnical natural and anthropogenic conditions (undermined territories, slumping soils, creeps, karst and other suffosion kinds, new building influence, etc.) which result in substantial differential settlements of base (SDSB) are widely spread on large areas of Earth's surface. Significant seismic hazard that is basically associated with a tectonic activity are spread on Earth too and has consequential activization on all planet. Combination of such complex influences is common and natural. Thus, the protection of constructions affected by such combination is relevant.

Both substantial differential settlements of base and earthquake create significant load influence on the construction system and stress-strain state (SSS) with a high risk of constructions or all system collapse. It is logical to consider a possibility of such influences combination.

An increased complexity of research and consideration of substantial differential settlements of base and seismic combination results, as a rule, either in all-out removal of

SDSB causes (typical of West Europe or North America) or in avoidance of problem consideration by a standardized negation of such combination possibility (typical of the post-Soviet countries).

Individual attempts of studying seismic and different SDSB kinds combination occur on the exSoviet Union territory, for example, papers [1 – 5]. Series of studies [5 – 9] et al., which had been performed by Ukrainian Kyiv Zonal Scientific and Research Design Institute of Civil Engineering (KyivZNIIEP) from 1982 to 2009 with interruptions, was the most thorough for this theme. This series was started for the purpose of developing of protection methods for buildings in the slumping soils conditions of Odessa seismic region. Eventually, the range of problems had thoroughly been highlighted, the series of substantial differential base stiffness influence effects on the building seismic reaction had been revealed and the propositions for building analysis and protection in the slumping soils conditions in seismic areas had been suggested. However, a great number of questions and problems remained unexamined, for example, consideration of other substantial differential settlements of base causes, taking into account a standardized prohibition of peculiar (abnormal) influences combination, applied engineering analysis methods development, more solid theoretical substantiation of the problem and its solutions, development of universal complex of buildings protection subject to their responsibility class. In this connection the author conducts a complex of studies to solve the above problems (some results are presented in the article).

MATERIALS AND METHODS

The article's aim is development and substantiation of features of buildings protection in conditions of simultaneous availability of soil base substantial differential settlements and seismic hazard origins. Methods of analysis and synthesis of data from scientific and normative sources and also previously investigations of author are used in the article.

RESULTS AND DISCUSSION

Development of building protection system in compound conditions under consideration has to include complex, which consists of:

- general strategy, which depend on, for example, from the building responsibility class;
- measures, which are determined by their technical and economic efficiency;
- analysis and refining of taken protection system.

Meanwhile it is necessary to specify features of protection for designed and for existing buildings separately.

It is necessary by selection and development of building protection measures complex in conditions under consideration to adhere next strategies (subject to the building responsibility class):

- for class CC-3 [10] it isn't recommended to allow necessity for capital repair and(or) levelling after complex influences under consideration (1st – 2nd category of technical condition after influence in conformity with DBN V.1.2-14:2009 [11]);

- for class CC-2 it is allowed necessity for planned capital repair and(or) levelling after complex influences but without emergency condition of a building (2nd – 3rd category of technical condition after influence);

- for class CC-1 it is recommended to allow of limited deformations and damages corresponding with 3rd category of technical condition after complex influences with carrying out of capital repair and(or) levelling (3rd category of technical condition after influence).

Introduced approach has base on assumption of too substantial costs and consequences (economic, social et al.) from necessity for restoring of CC-3 class building over the all period of operation, which will exceed additional costs for protection in the phase of building or reconstruction. Approach of allowance of reasonable and controlled damages and deformations from peculiar (episodic) influences for middle and low responsibility level (CC-2 and CC-1) buildings is general known and used [12].

Introduced connection of building damages and deformations level to corresponding category of technical condition is founded on base of essence each such category [13]:

- normal (1st) technical condition – total correspondence to requirements of working norms and building project, absence of substantial defects and damages;

- satisfactory (2nd) technical condition – presence of defects and damages, insignificant departures from requirements of norms and building project, which don't soundly limit using of building according to its intended purpose or can be ignored or removed by in-line repair;

- non-serviceable (in conformity with norms) (3rd) condition – there are defects and damages, departures from requirements of norms and building project, which don't permit to use building or its part in normal duty (without limitations), there is necessity in limited operating regime, capital repair or reconstruction, but safety can be guaranteed before achievement of 1st or 2nd technical conditions.

- emergency (4th) technical condition – defects and damages, departures from requirements of norms and building project create straight threat for safety at building (there is direct danger for life, health, environment, safety of valuable property).

General approaches and principles have to be characterized for detection of specific protection measures.

Following rules and regulations have to be taken into account for development of building protection measures in conditions of possibility soil base substantial differential settlements and seismic hazard simultaneous influence:

- to combine protection rules, provided by norms and standards for designing and protection in seismic hazard conditions and availability of substantial differential settlements of base origins [3, 12, 14] et al., which are useful for protection from both influence kinds, for example: to provide simple plan form; symmetry of stiffnesses and masses; to reduce construction and building mass for vertical and horizontal gravity and inertial loads abatement; to provide stability and geometry

immutability of construction system (to use rigid construction system); to create fail-safe conjunction of floor and envelope rigid disks with vertical bearing structures;

- not to apply building protection methods, which are effective and permissible for protection from one complex influence kind, but are weakening for other influence, for example: not to use yielding and combined construction systems; to limit damages and yielding deformations spreading for more responsible building subject to expected combination of influences under consideration; not to use non-girder reinforced concrete frames; not to use enlarged column grids.

Three following approaches for protection of buildings by projecting in conditions of seismic and substantial differential settlements of base possible combination can be extracted:

- full removal of substantial differential settlements of base origins and earthquake-resisting projecting without their accounting (necessity in repairs can be in future after earthquake);

- partial reduction of possible substantial differential settlements of base and seismic influence (active seismic protection, preparation of base course et al.) together with building structural protection from reduced level of complex level (in future – limited necessity in repairs and(or) levelling of construction system);

- completely structural perception of complex influences (in future – rigorous necessity in repairs and(or) levelling of construction system).

Under their selection potential total building and future repairs costs have to be taken into account.

Similar approaches have to be used for existing buildings, which were builded before putting into operation of the rules under consideration and don't conform with them: reconstruction and strengthening of system foundation-soil base and also measures for levelling are used for removal or reduction of substantial differential settlements of base influence; arrangement of different active seismic protection kinds – for seismic influence

reduction; strengthening and reconstruction of construction system – for its stability rise.

Analysis of existing requirements to building protection by availability of seismic hazard or substantial differential settlements of base origins [12, 14 – 16] et al. and also results of already conducted investigations on theme of building in conditions of complex environment (under consideration) combination, which are presented in the present article and in [3, 6 – 9] et al., has allowed to develop series of conditions for structural requirements, that are introduced below.

It is necessary to provide compulsory arrangement of buried basement and(or) undergrounds storeys (with height not less than 1.8 m) under all solum, the stories can't be taken into account as overground according to DBN V.1.1-12:2014 [12]. This storey (storeys) acts the part of buried rigid girt, which reinforces general construction system and reduces substantial differential settlements of base on overground part. In addition, appropriate systems for levelling and(or) active seismic protection of building.

Using of continuous panel-wall foundation (with or without piles) has to be effective for reduce of substantial differential settlements of base level. Herewith pressure level on the base and appropriate deformations (especially yielding and from slumping) are reduced. Effective load redistribution on neighbouring preserving base areas occurs by limited in plan crater or gap. Cantilevers along the building contour with overhung arris- prolongation of walls (the foundation has to be arranged in the form of continuous base plate) are also necessary by availability of formation factors for gaps and craters at the basis (karst, undermined territories etc.). These measures can redistribute the load even on basis outside the main spots of the building in plan.

It is useful and necessary to provide for the separation of complex or extended forms of buildings in the plan and also substantially different on the building decisions parts by deformation seams along the entire height of the structural system. Limiting seam step has to be taken with a combination of rules for seismic protection and protection from relevant

substantial differential settlements of base origins, and width of the seam – as the sum of width for seismic and deformation seam. Increase of the limited step between deformation seams in terms of substantial differential settlements of base perception can be used for single-storey and low-rise buildings by calculation validation and arrangement of rigid buried storey(s).

It is necessary to apply the most stable designs such as monolithic reinforced concrete or composite systems by extreme (9-point) seismic hazard with accounting of possible substantial differential settlements of base pre-load of construction system.

Soils with III [12] (and worse) category of seismic properties are one of the negative factors that increases seismic load and can be substantial differential settlements of base origin. Removing, replacing or strengthening (with upgrade of the base soil seismic properties) of such soils have to be used for effective building protection.

Following measures for buildings with bearing walls have to be applied:

- at least one longitudinal wall, which increases overall system reliability for perception of complex influences and usually has fewer openings and also reduces system spans in the transverse direction, has to be arranged for buildings with height 3 and more floors. Walls fractures have to be limited and offset by through ribs at the level of floors and covering;

- to combine structurally flat arches and walls floor belts;

- it is necessary to increase the minimum requirements for construction materials with taking to account increasing the level of efforts and stresses in comparing with norms for the protection from separate complex influences [12,14] et al., for example, for walls floor belts concrete class should be at least C16/20 and reinforcement at least 4ø12A400C;

- all joints of the walls have to be securely reinforced, as one of key factor for strength and stability of the construction system is the preservation of single spatial work of constructions located in different planes;

- masonry walls have to be strengthened by reinforced concrete or steel inclusions or reinforced cases, which have to be the basis for the perception of tensile (in different directions and planes) efforts at too weak for this stone walls. Prestressing of reinforcement and other inclusions at masonry walls areas with the most tensile or shear overload is recommended for increase of protection effectiveness from tensile or shear efforts [3, 17] et al., for example, as shown in Fig.1;

- sections of walls, weakened by vents, have to be considered as cuts, because have general form of wall construction, but due to significant weakening by holes these areas are not able to perceive significant load.

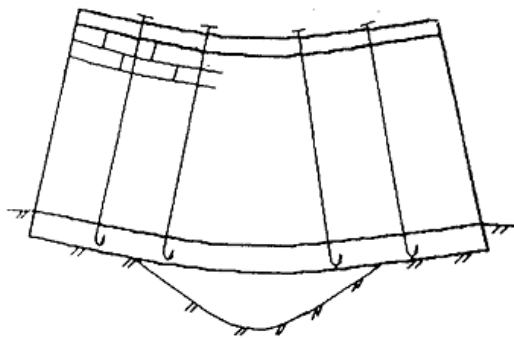


Fig.1. Using of prestressed vertical ties for strengthening of masonry walls by possible occurrence of basis gap: perception of tensile stresses in incline cuts and blocking of inclined cracks by prestressing (can be effectively complemented by horizontal ties)

Similar requirements for frame buildings:

- minimum class of structural concrete for frame linear elements – C20/25;

- diaphragms or braces have to be installed symmetrically and in extreme axes (rows of columns).

- near node section of columns have to be further strengthened (as at the node) on length at least 2 of the largest size of column cut. In this case all longitudinal rods have to be embraced by stirrups, because condition and serviceability of these areas have critical significance for efforts perception from horizontal and vertical skews in frames.

It is necessary to take into account possibility of substantial differential settlements of base

and building heeling extension by selecting and developing of active seismic protection. Analysis of the possibilities of active seismic protection using is presented in [8]. It was determined that systems with increased damping and adaptive systems of seismic protection are the most potentially suitable for use by the presence of substantial differential settlements of base.

Following rules have to be observed for analyze of buildings in conditions of possible simultaneous influence of substantial differential settlements of base and seismic loads.

Individual calculations of complex loads (under consideration) influence are allowed for objects of class responsibility CC-1. It is assumed in this case that the stability and strength of building construction system are sufficient for perception of the complex influences. Using of combination of design requirements and protection from both influences allows to predict low probability of building collapse in the case of various complex influence combination, which is considered as with low probability for this responsibility class (subject to usually low period of operation and carrying out of timely repairs).

It is necessary to perform calculations by complex influence separately for analysis and(or) checking of construction cuts for buildings with class responsibility CC-2. In this case yielding deformation coefficient $k_1 = 1,0$ has to be used for seismic analysis (appropriate flexibility coefficient $\mu = 1$, which implies the absence of yielding deformations) with the possibility of perception and structural testing system after earthquake. It can be allowed considering of combination of loads with seismic using following formula:

$$N_d = \gamma_n N_{stat} + \frac{N_p}{m\gamma_m}, \quad (1)$$

Where $\gamma_m \leq 1/k_1$ – safety coefficient for construction materials, other designations adopted by DBN V.1.1-12 [12]. That is characteristic values of materials physical and mechanical properties for bearing structures can be taken into account for seismic loads as

emergency load for this influence value reducing (allowed, for example [18]). But the effect of such reducing may not exceed the effect of yielding deformation of construction system. Additional analysis for checking of accepted design has to be applied subject to emergency combination with sequential loading by substantial differential settlements of base (as prestressing of construction system) and seismic with considering of characteristic physical and mechanical properties of construction materials (by the principles based on progressive destruction [19]) using nonlinear static analysis (DBN V.1.1-12 [12]). Ground of such necessity is based on permanent nature of building stress-strain state (prestressing is considered as dead load [21]) from substantial differential settlements of base and the need to guarantee absence of this class building collapse from potential combination of complex influences under consideration.

All rules as for CC-2 have to be applied for buildings with class responsibility CC-3 except of using the formula (1).

CONCLUSIONS

1. Despite a widespread disregard of the problem of possible combination of soil base substantial differential settlements and seismic action that is observed in regulations and practice, this theme is extremely urgent subject to significant negative influence of SDSB evolution on the construction system seismic stability.

2. Introduced building protection system from the combination of complex influences under consideration consists of: the building protection strategy selection in these conditions; protection measures, which selection is provided by their technical and economic efficiency; approaches to the calculation analysis and refinement of developed measures.

3. Common approaches and principles for introduced protective measures choice state for develop of these measures. For example, combining of protection rules, provided by norms and standards for designing and protection in seismic hazard conditions and

availability of substantial differential settlements of base origins, which are useful for protection from both influence kinds, is used and also building protection methods, which are effective and permissible for protection from one complex influence kind, but are weakening for other influence.

4. Common rules for building analysis in conditions of simultaneous availability of soil base substantial differential settlements and seismic hazard origins subject to the building responsibility class CC-1, CC-2, CC-3 are proposed.

REFERENCES

1. **Instructions** of projecting of non-frame residential buildings, which are built with complex of protective actions on slumping soils in seismic regions of Moldavian SSR, **1982**. Kyiv, KyivZNIIEP, 43 (in Russian).
2. **Matveev I.V., Kravchenko V.I., 1990**. Combination of soil base slumping and seismic influences in analysis of buildings. Structural mechanics and building's analysis, Moscow, Strojizdat, Vol. 4/1990, 28-32 (in Russian).
3. **Sapozhnikov A.I., 2001**. Basic foundation of construction and supply of karst-seismic stability of multistory buildings: Train aid for institutes of higher education. Astrakhan, AISI, 108 (in Russian).
4. **Banah V.A., Banah A.V., 2006**. Accounting of building strained scheme in calculated models for seismic analysis. Building constructions, Kyiv, NDIBK, Vol. 64, 132-139 (in Russian).
5. **Kusbekova M. B., 2013**. Features of object projecting in seismic regions on slumping soils. Training of engineers in the context of XXI century global challenges: Proceedings of the International scientific-practical conference, Almaty, KazNTU named after K.I. Satpaev, Vol. 4, 27-30 (in Russian).
6. **Scientific** research and development of propositions for selection of rational designs in residential buildings, which are built in the conditions of simultaneous influence of soil base slumping and seismicity, and preparation of task for the rational designs development: Final report about scientific research, theme № 12Б/1-Е, Arch. Nr.3403-0, **1984**. Kyiv, KyivZNIIEP, 91 (in Russian).
7. **Development** of references for supply of operational reliability of operated and newly projected

- residential buildings of south-west microdistrict of t. Izmail, phase II, part 2: Final report about scientific research, theme No 271n/88, arch. No 4743-0, **1990**. Kyiv, KyivZNIIEP, Vol. 1, 113 (in Russian).
8. **Khokhlin D.O., 2009**. Constructive protection of residential buildings of mass series used in the subsiding rock conditions in seismic areas. Dissertation Ph. D. in Engineering sciences, Candidate of Sciences in Engineering sciences: 05.23.01, Kyiv, KNUCA, 204 (in Ukrainian).
 9. **Khokhlin D.O., 2010**. Residential buildings of mass series in the conditions of slumping soils in seismic areas of Ukraine. Condition of modern building science – 2010, Poltava, Poltavskij CNTJeI, 159-167 (in Ukrainian).
 10. **General** principles of reliability and structural safety of buildings, structures and bases: DBN V.1.2-14:2009, **2009**. Kyiv, Minrehionbud Ukrainy, 30 (in Ukrainian).
 11. **Guidelines** for inspection of buildings and facilities for identification and evaluation of their technical condition: DSTU-NB V.1.2-18:2016, **2016**. Kyiv, Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy, 62 (in Ukrainian).
 12. **Construction** in seismic regions of Ukraine: DBN V.1.1-12:2014, **2014**. Kyiv, Minrehion Ukrainy, 110 (in Ukrainian).
 13. **General** recommendations for implementation of inspections of the technical condition of buildings and structures, **2015**. Kyiv, VHO Asotsiatsiia ekspertiv budivelnoi haluzi, 43 (in Ukrainian).
 14. **Buildings** and structures on undermined territories and slumping soils: DBN V.1.1-5-2000, **2000**. Kyiv: Derzhavnyi komitet budivnytstva, arkhitektury ta zhytlovoi polityky Ukrainy, 87 (in Ukrainian).
 15. **Eduard Petrenko, Mahdi Gharakhanlou, 2015**. Analysis of slope at increase of the static load. Underwater Technologies, Kyiv, Nr.02, 40-45.
 16. **Oleg Skoruk, 2016**. The strength and crack resistance fiber concrete slabs supported on four sides on repeated loads. Underwater Technologies, Kyiv, Nr.03, 83-93.
 17. **Azizov T.N., Ivanycky A.V., 2012**. Calculation of the bearing structures of the elements of the piece in a closed holder prestressed. Resource-saving materials, their properties and fabrication methods, Rivne, NUVHP, Vol. 24, 53-59.
 18. **Concrete** and reinforced concrete structures. General rules: DBN V.2.6-98:2009, **2011**. Kyiv, Minrehionbud Ukrainy, 71 (in Ukrainian).
 19. **Design** of high-rise residential and civic buildings: DBN V.2.2-24:2009, **2009**. Kyiv, Minrehionbud Ukrainy, 103 (in Ukrainian).
 20. **Nemchinov Ju.I., Mar'enkov N.G., Havkin A.K., Babik K.N., 2012**. Projecting of buildings with predetermined level of seismic stability supply: monography. Kyiv, Gudimenko S.V., 384 (in Russian).
 21. **Loads & actions**: DBN V.1.2-2:2006, **2007**. Kyiv, Ukrarkhbudininform: Minbud Ukrainy, 75 (in Ukrainian).

Защита зданий в условиях одновременного наличия источников значительных неравномерных деформаций и сейсмоопасности

Денис Хохлин

Аннотация. Охарактеризована проблема возможного совмещения влияний значительных неравномерных деформаций основания и сейсмике. Данная тема является особенно актуальной с учетом существенного негативного влияния развития значительных неравномерных деформаций на сейсмостойкость зданий, а так же возможность развития деформаций основания после землетрясения. Рассмотрены особенности защиты зданий при наличии возможности возникновения обоих сложных влияний с учетом выбора стратегии защиты зданий при рассматриваемых условиях; непосредственного рассмотрения рекомендованных мероприятий по защите; подходы по расчетной оценке разработанных мероприятий.

Разделение защиты зданий и подходов к расчету происходит на основании классов ответственности СС-1, СС-2 и СС-3, возможных последствий и затрат из-за повреждения и разрушения строительных объектов. Проанализированы методы защиты зданий от влияния деформаций основания и сейсмике отдельно, а так же результаты ранее проведенных исследований особенности их совместного действия на строительные объекты. Использовано объединение и усиление правил, полезных для защиты от обоих видов влияний, а так же выделены способы, являющиеся эффективными или допустимыми для защиты от одного вида сложного воздействия, но ослабляющими для другого.

Ключевые слова: неравномерные деформации основания, сейсмические нагрузки, совмещение, конструктивная система, защита.

Integrated monitoring the technical condition of large-scale building structure

Victor Gaidaychuk¹, Konstantin Kotenko^{1,2}, Ivan Tkachenko³

¹ Kyiv National University of Construction and Architecture
Povitroflotskyy prosp., 31, Kyiv, Ukraine, 03680

viktor_gaydaychuk@bigmir.net, orcid.org/0000-0003-2059-7433

² 1969box@mail.ru, orcid.org/0000-0002-3181-3819

³ International exhibition center

Brovarskoy prosp., 15, Kyiv, Ukraine, 02660

ivan-t@iec-expo.com.ua, orcid.org/0000-0001-7923-1319

Summary. The results of the equipping of the International exhibition center (IEC) building with comprehensive technical condition monitoring system are given. The characteristic features of the existing systems are formulated.

The first three basic frequency magnitudes and the natural modes of vibrations corresponding to them are the most informative.

The basic magnitudes of natural frequencies and the building vibration directions are determined by means of the calculation method using established adequate finite-element model and experimental verification. The directors of improvement suggested monitoring system were noted.

Key words: static monitoring, dynamic monitoring, frequencies and modes of vibrations, finite-element model.

INTRODUCTION

The building of International Exhibition Center was designed by the project of V.M. Shimanovsky Ukrainian Institute of Steel Construction, and the second phase of its construction was completed in 2006. The main purpose of the building is to show industrial and scientific achievements of domestic and foreign enterprises, to arrange summits, conferences, meetings, mass cultural events and more.

The total area of the building (57,477 m²) and the service equipment allow staying there over 15 thous visitors simultaneously. In this respect, the building construction is the largest object of the corresponding function in Ukraine.

The works on further improvement and development of the center's infrastructure are performed. The documentation of the third construction stage of its facilities is elaborated. The service equipment is improved in accordance with modern European standards.

BUILDING STRUCTURE

IEC is a large-scale engineering structure of the 5th difficulty category, CC3 (SS3) importance class. In regard to architectural and constructive issues, the building is a combination of three blocks (A, Б, B (A, B, C)), the coating of blocks Б (B) and B (C) are integrated by «Khvylya».

The metal frame of the building is made of shaped iron. Reinforced concrete solid-cast foundations. The roof is a classic pie: profiled sheeting, vapor barrier, insulator PAROC-AKL, EPDM and PVC roofing membrane. Walls of three-layer panels of "sandwich" type with ROCKWOOL mineral wool insulation.

PURPOSE OF WORK

According to the safety requirements the buildings and structures of CC3 (SS3) importance class to which the IEC building belongs are subject to mandatory system monitoring [1, 2] and must be equipped with the automated systems of monitoring and management [3, 4].

WORKING DATA

In 2012, when the implementation of the decree of public services [5], the IEC building was equipped with an automated system of

static monitoring of metal structures and foundations (ASM). A technique developed by French company SOLDATA and the National Geographic Institute of France (IGN) is the basis of the system implemented.

The system working principle is based on the determining of the spatial position of observation checkpoints with the use of laser guidance technology which is implemented by means of the appropriate surveying high-precision equipment and a special software package.

The structure and interaction of the system components and its communication with other systems is shown in Fig. 1.

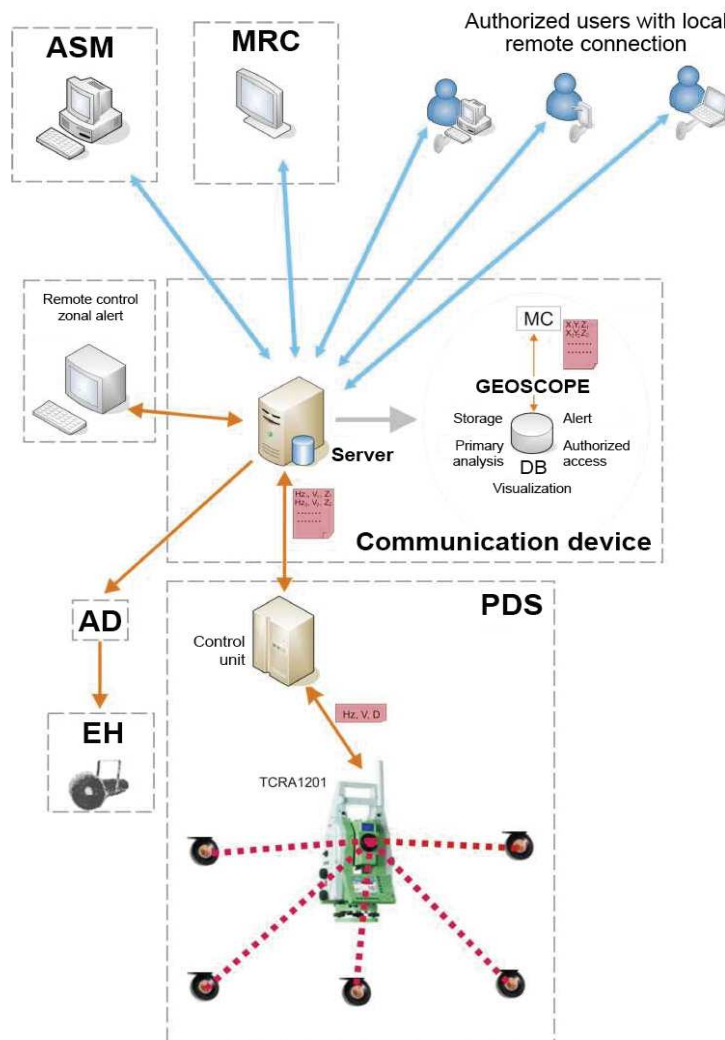


Fig.1. The structure and interaction of the ASM components:
 ACMS (ASM) – automated central monitoring system;
 MRC – maintenance remote control; AD – alert device;
 EH – end hardware; PDS – primary data sources

The target reflectors of special design (reference standard and monitoring) are used for remote measurement of the position of a checkpoint. The reference standards are placed outside the influence of possible deformation of the structures, and observation targets are mounted on the structural elements. The displacement values are measured using high-precision geodetic TCRA tachymeters of Leica production.

These measured data are stored in the minicomputer of the control unit and are transmitted via LAN channels to the ASM server for further calculations, and the checkpoint position calculations are performed using the ASM software.

ASM implemented allows for the observation of possible spatial displacements and deformations of various structural elements of buildings and the visualization of the results of measurements in a three-dimensional coordinate system. The monitoring is performed for 85 observation points.

ASM operates in continuous mode and provides a measurement of vertical deflections and horizontal displacements with an accuracy of ± 1 mm. Since the introduction of the system, it was found no irregularities in its work, and the observation results indicate a generally satisfactory state of the structures observed. However, some shortcomings in the constructions of the building are revealed; these shortcomings linked to faulty installation works during construction. For example, in 2012, in a case of significant snow load, the bottom chord of a secondary truss ПФ-6 (PF-6) is elastically deformed in the horizontal plane, as shown by analysis, because of the absence of deformation expansion joints in the form of oval holes of bolted-type connection which was promptly corrected.

However, the system specified displays the stress-strain behavior of the specific observed structures when they are exposed to static load and characterizes only its local situation, despite the considerable importance of these structures in the construction. The system indicators do not provide the information on the dynamic effects on the structure such as e.g. microseismic transients in the earth's surface,

wind impulses, background impacts associated with the movement of subway and other vehicles that make the diagnosis of the buildings poorly effective.

Therefore, in view of a large scale and structural fullness of the building (more than 200 groups of structural elements) and dynamic background effect on it, the finding ways to improve the monitoring efficiency was aimed at the monitoring globalization. The expediency of the preparation of a computational building model and the use of the dynamic characteristics in the monitoring system were provided.

There is a point of view according to which tool monitoring without support and comparison with a set of adequate mathematical models of objects have random-senseless nature, represents no practical value and does not reflect the reality of a problem [6 – 10], and a mathematical model implements the actual physical and mechanical properties of the material, geometrical forms of structural elements, actually characterizes the work of nodes and connections, and thus is an effective diagnostic tool of a technical condition of the building.

Based on this approach, the experts of Kyiv University of Construction and Architecture, National Transport University, and IEC performed preprocessor treatment and a finite-element model of the IEC building was created taking into account its structural and operational features [11 – 13].

NASTRAN and SCAD software systems were used. Further, the use of the NASTRAN finite element model which was proofed for adequacy and has been refined for possible calculations of dynamic characteristics including the addition of non-structural masses is envisaged.

The model created is universal and globally reflects the stress-strain behavior of the building structures. Provides the information according to static and dynamic characteristics, including axial forces, bending moments, shear forces, displacements, buckling, frequencies and modes of natural vibrations at different combinations of actual loads.

Nevertheless, objectivity of information may be inadequate due to possible changes in the technical condition of the building associated, for example, with the change of joints in the junctions (cropping of bolts, the appearance of flexible joints), sinking soil base under the foundation of load-bearing elements of the structure, vibration of the working process equipment and more [14 – 16].

Therefore, a preliminary assessment of the building integrity is a prerequisite. The dynamic monitoring [17 – 21] which characterizes the total (integral) state of the building using dynamic characteristic parameters (natural frequencies and modes of vibrations) seems effective in this regard.

The preliminary analysis gives preference and focuses on high priority of the evaluation of the building integrity. In a case of positive results of such evaluation the use of finite-element model is effective, and in a case of negative signals it is necessary to inform promptly the services responsible for the building safety.

This approach has been used in the development of dynamic monitoring methods for the IEC building. The certain provisions of the specified method were analyzed and refined according to the design and operational features of this building. The following dynamic characteristic parameters were used: the magnitude of frequencies and modes of natural vibrations, the parameters describing a low-frequency range of vibrations (the first three basic frequencies). The modes of vibrations were shown by means of directions and magnitudes of the amplitudes corresponding to the specified frequency range. The range of natural modes of vibrations was taken with regard

to permanent non-structural mass: process duty and a load of building envelope.

EXPERIMENTAL RESEARCH

The calculations were performed using SCAD and NASTRAN software, and full-scale frequency magnitudes were measured by an instrumental method of Kyiv National University of Construction and Architecture using ZET-048C seismograph (Table 1). The vibration accelerations of load-bearing structures were experimentally measured in real time with their further processing and determination of the natural vibration building frequency data. The registered vibrational records were processed using ZETLAB SEISMO software with spectral analysis by the discrete Fourier transformation method.

The resulting spectra (Fig.2) were analyzed in order to determine the frequencies of natural vibrations that correspond to the main peaks on the spectrograms and are the results of a response of the structures to external sources of dynamic action.

The spectral analysis allows filtering natural frequencies of the building and other effects of background. The spectral analysis is necessary, especially in the dynamic monitoring system of large-scale structures. But the using of natural frequencies can be ineffective if the construction defects do not violate its integrity. For example, subsidence of the soil base under the foundations of structures that did not cause cracks and other irregularities, local buckling of certain elements, a lateral tilt of a framework and so on. In this case, it is appropriate to use their natural modes of vibrations.

Table 1. Specifications of ZET-048C seismograph

Sensor type	differential
The number of measured coordinates	3 (X, Y, Z)
Measurement parameter	vibration acceleration
Operating range, Hz	from 0,3 to 400
Responsivity	less than 10^{-5} m/s ²
Intrinsic relative error, %	less than ± 10
Operating temperature, °C	from -30 to +50



Fig. 2. The spectrum of natural vibrations of the IEC building

CONCLUSIONS

The dynamic monitoring of the total (integral) state using parameters of frequencies and modes of natural vibrations is quite an essential element of the diagnosis of the building technical condition.

The first three basic frequency magnitudes and the natural modes of vibrations corresponding to them are the most informative.

The basic magnitudes of natural frequencies and the building vibration directions are determined by means of the calculation method using established adequate finite-element model and experimental verification.

REFERENCES

1. **Sukach M. K., 2015.** First international scientifically-practical conference «Underwater technologies, 2015». Underwater technologies, Vol.01, 3-12 (in Ukrainian).
2. **Sukach M. K., 2016.** Second international scientifically-practical conference «Underwater technologies, 2016». Underwater technologies, Vol.04, 4-15 (in Ukrainian).
3. **DBN B.1.2-14-2009.** System reliability and

safety of construction projects. General principles of reliability control and constructional safety of buildings, structures and supports. Ministry of Regional Development of Ukraine. Kyiv, 43 (in Ukrainian).

4. **DBN B.1.2-2:2006.** System reliability and safety of construction projects. Loads and impacts. Design standards. Ministry of Construction of Ukraine. Kyiv, 75 (in Ukrainian).
5. **DBN B.2.5-76:2014** National Structural Rules and Regulations The automated systems of the early detection threats of the origin emergencies and notification the population. Ministry of Regional Development of Ukraine. Kyiv, 38 (in Ukrainian).
6. **Belostotsky A.M., Kalychava D.K., 2012.** Adaptive finite element models as the base of dynamic monitoring of tall buildings. Part 1: Theoretical basis of the developen technique: The basis of the developed computational and experimental methods. International Journal for Computation Civil and Structural Engineering, Vol. 8, 19-27 (in Russian).
7. **Belostotsky A.M., Kalychava D.K., Novikov P.I., Ostrovsky K.I., 2015.** Adaptive Finite Element Models as a Basis of Monitoring Systems of Load Bearing Structures of Unique Buildings. Strength of Materials and Theory of Sructures, Nr.94, 202-216 (in Russian).

8. **Gaydaychuk V.V., Kotenko K.E., Tkachenko I.A., 2016.** Dynamic monitoring of building structures of International Exhibition Center. Science and construction, Nr.3, 20-25 (in Ukrainian).
9. **Balagas D., Frizen C.P., Guemes A., 2006.** Struktural Health Monitorig, London, Publ. ISTE Ltd, 496.
10. **Kotenko K., Tkachenko I., 2016.** Means to enhance the diagnosis of technical condition in building constructions. «Build master class 2016». Proceedings of the International scientific-practical conference of young scientists. Kyiv, KNUCA, 123-124 (in Ukrainian).
11. **Perelmuterd A.V., Slivker V.I., 2002.** Computational models of structures and the possibility of their analysis. Kiev, Steel, 597 (in Russian).
12. **Szymanowski A.V., Ogloblya A.I., 2002.** Theory and Design of bearing elements span spatial structures. Kiev. Steel, 368 (in Russian).
13. **Vashchilina O.V., Borshch O.I., Kotenko K.E., Tkachenko I.A., 2014.** Finite-element monitoring of structures of International exhibition center. Visnyk National Transport University. Kyiv. National Transport University, Vol.31, 43-49 (in Ukrainian).
14. **Patrikeev A. V., 2007.** Improvement of Safety of Engineering Structures Exemplified by the Main Monument of Victory Memorial on Poklonnaya Hill in the city of Moscow. Problems of Urban Environment Quality Management. Collected works of 11-th Scientific Conference. Moscow, RAGS Publ., 82.
15. **Patrikeev A.V., Salatov T.K., 2011.** Dynamic Monitoring of Building and Structures as One of the Criteria or Their Safe Explotation. Technological Problems of Strength. Collected works of XVIII International Seminar. Podolsk, 78-81.
16. **Skoruk O., 2016.** The strength and crack resistance fiber concrete slabs supported on four sides on repeated loads, Underwater technologies, Vol.03, 83-93.
17. **Ana Paula Camargo Larocca, Jorge Alves Trabanco, Joao Olympio de Araújo Neto, André Luiz Cunha, 2014.** Dynamic Monitoring vertical Deflection of Small Concrete Bridge Using Conventional Sensors And 100 Hz GPS Receivers, Preliminary Results., Vol.04, Nr.9, 9-20.
18. **Savin S.N., 2012.** Dynamic monitoring of building structures by the example of the ramp of Pushkinskiy concert hall in Moscow. Magazine of Civil Engineering, Vol. 7, 58-63 (in Russian).
19. **Savin S.N., Demishin S.V., Sitnikov I.V., 2011.** Monitoring of unique buildings with using of dynamic parameters according to GOST R 53778-2010. Magazine of Civil Engineering, Nr.7, 33-39 (in Russian).
20. **Patrikeev A.V., 2014.** Dynamic monitoring of engineering structures as a key elevent of its technical security. Vestnik MGSU, Nr.3, 133-140 (in Russian).
21. **Doebling S.W., Farrar C.R., Prime M.B., Shevitz D.W., 1996.** Damage identification and health monitorig of structural and mechanical system from chages in their vibration characteristics: a literature review, Los Alamos, N M, Los Alamos National Laboratory, Report Nr. LA-13070-MS, 136.

Комплексный мониторинг технического состояния большеразмерного строительного сооружения

*Виктор Гайдайчук, Константин Котенко,
Иван Ткаченко*

Аннотация. Приведены результаты оборудования сооружения Международного выставочного центра комплексной системой мониторинга технического состояния. Сформулированы характерные особенности действующих систем. Наиболее информативными являются величины трех первых частот основного тона колебаний и соответствующие им формы собственных колебаний.

Расчетным методом, при помощи создания адекватной конечно-элементной модели и экспериментальной проверкой установлены базовые величины собственных частот и направления колебаний сооружения. Отмечены пути усовершенствования предложенных систем мониторинга.

Ключевые слова: статический мониторинг, динамический мониторинг, частоты и формы колебаний, конечно-элементная модель.

Model for effectiveness evaluation of planning measures for protection of areas surrounding main roads from the influence of environmental pressures of the Kyiv main road network

Oleksiy Priymachenko

Kyiv National University of Construction and Architecture
31 Povitroflotskyi ave., Kyiv, 03037, UKRAINE
priymachenko_a@ukr.net, orcid.org/0000-0001-5125-8472

Summary. Raising the requirements to the ecological state of the urban environment engenders the issue of efficient planning and functioning of protection elements of areas surrounding main roads. Surrounding main roads are areas situated along the main trunk road networks within the space from the main road to the building line. As defined, the building lines are the boundaries of placing houses and buildings relative to frontage lines [1]. They make up about 15 – 30 % of a town or city area [2].

Research of the methodological framework of the sustainable development of urbanized territories should be based on a complex problem-oriented approach of different related scientific researches. This is why the task of examining the environmental pressures of main road network is highly relevant for a city. An analysis of Ukrainian regulatory documents showed that the development and feasibility evaluation of urban development regulations are insufficient for evaluation of planning measures for protection of the areas surrounding main roads.

The mathematical and information models demonstrating the dependence of environmental pressures by factors and attributes in accordance with planning decisions were presented for the evaluation. On-sight surveys of a main road network with different planning criteria were conducted as exemplified by Kyiv, in the course of which data necessary for evaluating the efficiency of planning decisions were collected. On the basis of the obtained data recommendations on planning

decisions for respective urban areas have been given.

Key words: trunk road network, environmental pressures, urban area protection.

INTRODUCTION

The impact of automobile transport manifests itself most in an urbanized environment. A city or town is an indicator of sustainable development or adverse interconnection of automobile transport and urbanized environment. This research is based on the evaluation of the impact of the current state of automobile transport on the trunk road network and the area surrounding main roads to demonstrate the feasibility of adopted planning measures for protection and selection of the functional profile of the areas surrounding main roads by environmental pressures arising in the trunk road network. The technology-related atmospheric air pollution sources are mostly represented by emissions from the industrial enterprises and automobile transport.

PURPOSE OF THE RESEARCH

The purpose of this research is to develop a model for evaluating effective protection

measures and determining environmental pressures with due regard of their potential influence for further searches of new ways of solving the problem, scientifically grounded complex solutions and methods of urban area organization.

Such approach will enable to better understand the essence and consistent patterns of the manifestations and forecasting environmental pressures advance on a certain planning area with diverse development properties and their character depending on the relief, built-up density, planning organization of the trunk road network.

ANALYSIS OF THE LATEST RESEARCH AND PUBLICATIONS

Having analyzed the scientific works and effective regulatory documents on urban planning, it is possible to come to the following conclusions: to date, the growth in the number of vehicles together with the development of the trunk road network put environmental pressure on the existing built-up area with relevant engineering and design values of environmental pressures during a certain period of inter-main road areas. The ecological state of urban environment has been the object of the research conducted by such prominent scientists as B.V.Solukha [3], G.B.Fuks [3], O.S.Furmanenko [4], T.O.Shylova [5], I.I.Ustinova [6, 22], I.B.Solukha [7], M.M.Osyetrin [23, 24] and others, where the authors propose the methods for calculating environmental values. However, their works do not fully enough reflect the measures to protect areas from different planning methods influencing statutory indicators and functional areas of the territory.

METHODS FOR EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF MEASURES FOR PROTECTION OF AREAS SURROUNDING MAIN ROADS

The main task in determining the evaluation of effectiveness of planning decisions on

protection or areas surrounding main roads is the right choice of evaluation criteria in accordance with which the effectiveness of decisions will differ. As the trunk road network with all its traffic streams is an integral part of a city or town, its impact on environmental performance of urban area can undoubtedly be called dominating.

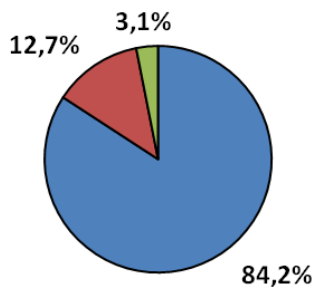
Among the main environmental pressures stemming from the functioning of the trunk road network, noise and atmospheric pollution should be pointed out. As the system of streets and roads is the key means of surface water collection and sewerage, it also directly influences the environmental state of hydrosphere objects, i.e. ground waters, sources, water bodies. Its environmental pressure on the urban environment lithosphere is also obvious – littering of the surface, lubricant and petrol residues pollute the soils when rain and snowmelt sewage waters are drained away. The harmful effect of electromagnetic loads imposed by rail transport functioning should also not be disregarded.

Therefore, the main trunk road network of a city or town may be called the main source of complex environmental pressures on urban area and environment, i.e. urban ecosystem, as a whole.

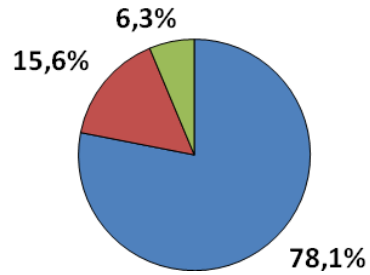
All natural components of urban environment, namely geological, atmospheric, hydrologic and other environments, suffer from harmful anthropogenic impact of the trunk road network. The state of atmospheric air, the degradation of which constitutes a worldwide problem, is considered to be the most critical.

The quality of atmospheric air in a modern developed city depends, in the first place, on the volume of pollutant emissions, with two sources there of – stationary and mobile (Fig.1).

During 2015, according to statistical studies, as much as 171 thousand tons of pollutants from stationary and mobile pollution sources were emitted into the atmosphere of Kyiv city, which is 51,58 % less in comparison with 2012. The dynamics of such drastic change of this index is largely explained by the decrease in the use of private vehicles due to the rapid growth of fuel prices and general



In 2012:
Automotive transport – 84,2 %.
Stationary sources – 12,7 %.
Railway, air and water transport and manufacturing technology – 3,1 %



In 2015:
Automotive transport – 78,1 %.
Stationary sources – 15,6 %.
Railway, air and water transport and manufacturing technology – 6,3 %

Fig. 1. Distribution of pollutants emitted into atmospheric air in 2012 and 2015 by emission sources

recessionary economic state of the country. However, a significant number of the emission sources remains mainly in the automotive transport segment [9, 10]. The density of emissions into the atmosphere per one square kilometer of the city territory amounted to 31,9 tons of pollutants, which exceeded the average value for Ukraine by factor 6,8 and is the highest in the country, the second place held by Donetsk oblast, the last place – by Volyn oblast, where the density of emissions reaches 34,6 and 2,5 tons per square kilometer respectively. The main zones of pollution are focused in the places surrounding main roads and in the areas of concentration of industrial complexes.

The example will be the city of Kyiv, which has a massive complex of enterprises of various industrial branches polluting atmosphere with emissions of contaminating gases and industrial dust.

During 2015 as many as 367 enterprises, institutions and organizations in the city were contaminating the urban air with their emissions. They emitted 26,7 thousand tons of contaminants, which is 4,7 thousand tons or 14,97 % less than in 2014 and 51,2 % less than in 1990 (Fig. 2).

In 2015 the density of contaminant emissions from stationary sources of contamination per 1 square kilometer of Kyiv city amounted to 31,9 tons, which is 6.8 times more than the

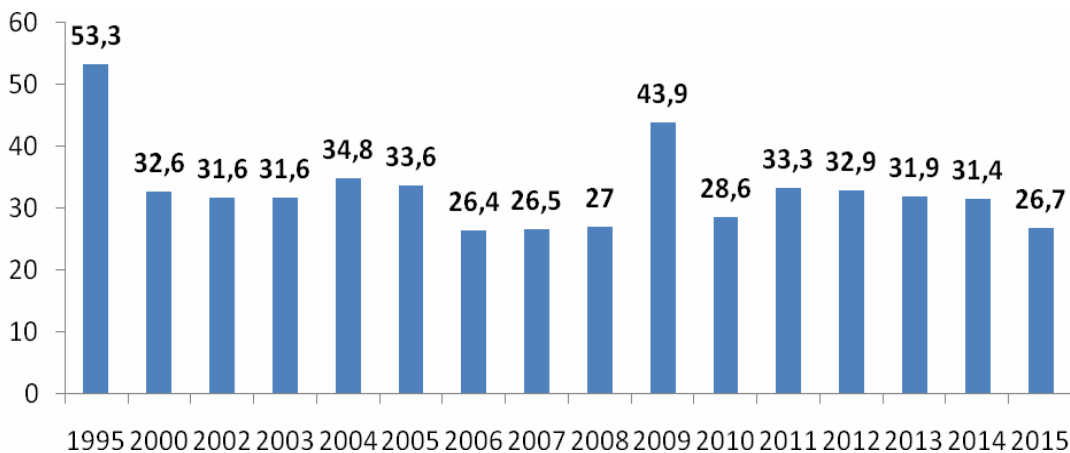


Fig. 2. Emissions of contaminants from stationary contamination sources into the atmosphere, thousand tons

country average (to compare, in some capital cities this density is as follows: 91,4 tons of emissions in Astana, 86,6 tons in Minsk and

Compared with other regions of Ukraine, Kyiv has the lead by the amount of emissions from mobile sources.

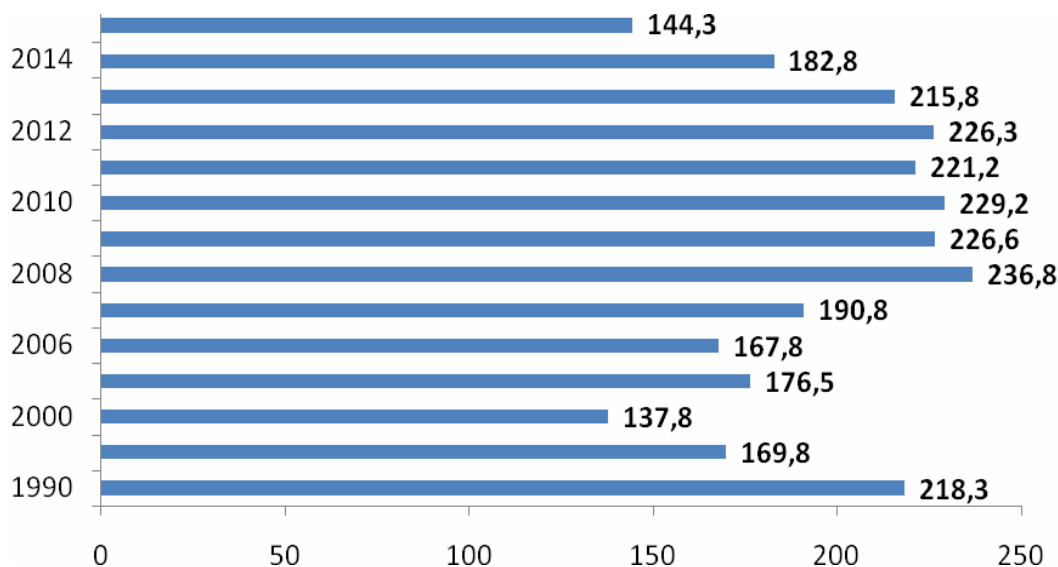


Fig. 3. Emissions of contaminants produced by the road transport into atmosphere, thousand tons

65,6 tons in Moscow). Around 12 kg of contaminants per capita in the capital is 8 times less than the country average (to compare, in some capital cities this density is 83 kg of emissions per capita in Astana, 14 kg of emissions in Minsk and 6 kg in Moscow).

In the total volume of contaminant emissions, emissions of methane and nitrogen oxide amounted to 624,8 tons and 20,5 tons respectively. Beside this, 5648,9 thousand tons of carbon dioxide, also having the greenhouse effect, was released into atmosphere. The main air contamination source in the capital city is mobile sources. In 2015 in Kyiv engines of mobile contamination sources accounted for 144,3 thousand tons of contaminants, which is 36,24% less in comparison to 2012 (Fig. 3).

Since 2012 this figure continues to decrease, which can primarily be explained by the economic crisis in the country. Nevertheless, a vast majority of those emissions – 133,6 thousand tons or 92,6 % – comes from the automotive transport, and 10,7 thousand tons or 7,4 % comes from the air, railway and water transport.

The automotive transport of the capital causes 78,1 % of all emissions into the atmosphere of substances harmful for human health.

For the most part, the automobiles used in our cities and towns, in Kyiv in particular, do not meet to international environmental safety and compliance standards. Most automobilists use the low-quality fuel; it is common that engines are obsolete and worn-out. This leads to the critical state of the urban ecology.

From the general amount of pollutant emissions into atmosphere by automotive transport, about 97.1 thousand tons (72.6 %) were emitted by the automobiles privately owned by general public, and the rest 36.6 thousand tons (27,4 %) are the emissions of the automotive transport of economic entities.

Distribution of pollutant emissions from separate kinds of automotive transport for 2012 and 2015 respectively (Fig.4):

- load carriers – 38,5 % and 43,5 %;
- special-purpose light motor vehicles – 2,7 % and 3,3 %;
- passenger light motor vehicles – 32,4 % and 37,2 %;
- special non-light motor vehicles – 6,7 % and 6,3 %;
- passenger buses – 19,7 % and 9,7 %.

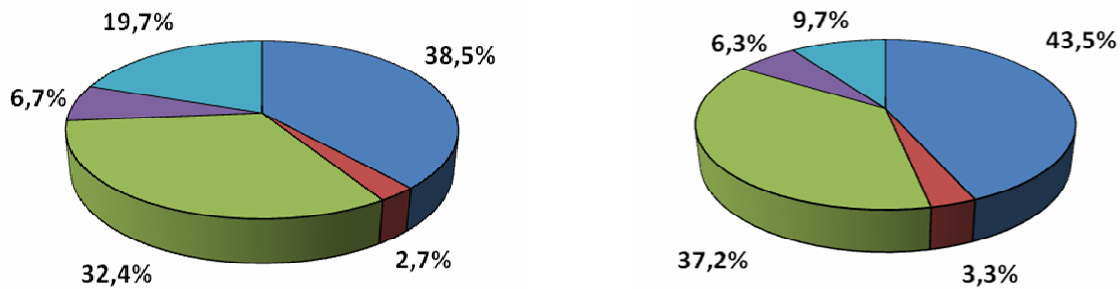


Fig. 4. Distribution of pollutant emissions into atmosphere in 2012 and 2015

Analyzing the above data of statistical observations, it is beyond dispute possible to emphasize the topicality of this issue, the necessity of constant monitoring of urban environment and implementation of planning protective engineering solutions to prevent negative impact on the urban ecology. The reconstruction of crossings of trunk road network with the increase of its traffic capacity as a hub and lineal inter-hub section of the street network increases the potential of environmental pressures on the existing area surrounding the main road. The estimate of the environmental pressure potential is formed by different environmental elements (e.g., noise, gas contamination, dirt accumulation, dust and light pollution) characterized by respective attributes (duration, propagation distance). Thus, it is possible to describe the environmental potential index as an *environmental pressure matrix E* and demonstrate it as follows:

$$E = \begin{bmatrix} E_{11} & E_{12} & \dots & E_{1m} \\ E_{21} & E_{22} & \dots & E_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ E_{n1} & E_{n2} & \dots & E_{nm} \end{bmatrix},$$

where E_{nm} is the environmental pressure with element n and attribute m .

Depending on the target of research, attributes have different capacity potential which, in its turn, depends on the planning properties of the urban area, namely on the planning solutions for main streets and areas surrounding main roads. Mathematically, the potential of

environmental pressures in space can be presented as the following formula:

$$E_{en.p.} = E_1P_1 + E_2P_2 + E_3P_3 + \dots + E_nP_m,$$

where E_n is the type of environmental pressure on the area, and P_m is the potential of pressure in space and time on the area.

Having studied the current state of the areas surrounding main roads and analyzed the obtained data, it is possible to present the environmental pressure as a model of influence of environmental pressures of the main trunk road network on the urban area (Fig.5).

The modeling of the anthropogenic influence – the curve of environmental pressure on the urban area is an important stage in evaluating the anthropogenic impact.

In the city-planning practice the anthropogenic pressure coefficient is used for calculations of various kinds [11].

In accordance with the proposed model, the level of environmental (anthropogenic) pressure depends largely on the quantity of automobile transport and its stable compliance with the present-day safety regulations, trends of new technological developments in automotive engineering, their interchangeability, on the balance of the environmental pressure with the existing buildings under the conditions of urban densification and new spatially planned building.

The potential (significance) of these parameters is determined, on the one hand, by the engine type, traffic intensity, road traffic

organization, and on the other hand, by the type of road surface, driveway grade, planning solutions for the area between main roads, the green coverage ratio and climatic conditions.

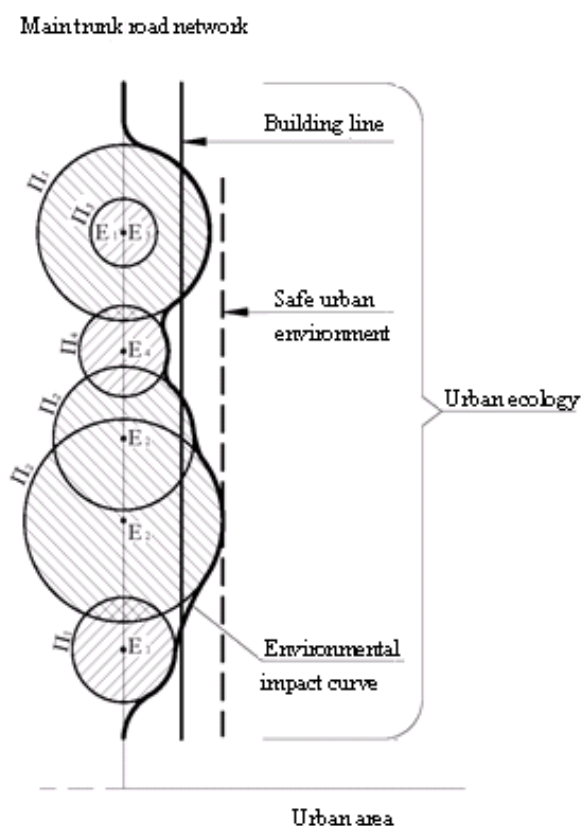


Fig. 5. Model of impact of environmental pressures of the main trunk road network on urban area (where E_n is the environmental pressure/attribute of a respective factor/, P_m is the potential of environmental pressure/effect of a respective factor)

CONCLUSIONS

The presented model serves as a framework for determining the potential of environmental pressures which will enable to evaluate the environmental state of urban environment and make respective planning decisions to afford quality of urban environment and choose of methods of engineering protection of urban areas in order to further study of territories against the backdrop of reconstruction and new development of territories with modeling of the environmental state of the areas surrounding main roads.

REFERENCES

1. **State Construction Norm 360-92**.** Town and City Planning. Planning and Development of Urban and Rural Settlements. Kyiv, Derzhbud Ukrainy, 113 (in Ukrainian).
2. General Planning Scheme of Kyiv for the period through to 2020. **Main Principles, 2001, 69** (in Ukrainian).
3. **Solukha B.V., Fuks G.B., 2003.** Urban Ecology. Kyiv, KNUCA, 337 (in Ukrainian).
4. **Furmanenko O.S., 1991.** Town and Country Cleaning and Refuse Disposal. Kyiv, Budivelnik, 144 (in Ukrainian).
5. **Osetrin M.M., Solukha B.V., Shylova T.O., 2010.** Environmental Evaluation of City Main Road Crossings on Different Levels. Kyiv, KNUCA, 108 (in Ukrainian).
6. **Ustinova I.I., 2016.** Methodological Framework of Sustainable Development of Environmental City Planning Systems. Synopsis of a thesis, Kyiv, KNUCA, 46 (in Ukrainian).
7. **Solukha I.B., 2016.** Methods of Urban Environmental Evaluation of Traffic Planning Hubs in Trunk Road Networks of Large Cities. Synopsis of a thesis, Kyiv, KNUCA, 22 (in Ukrainian).
8. **Igor Solukha, 2015.** The influence of longitudinal slope of main road carriage-way on the mass emission from road transport in the atmospheric air, MOTROL, Vol.17, Nr.8, 45-51.
9. **Annual Abstract of Statistics of Kyiv city, 2011.** State Statistics Service of Ukraine, 467 (in Ukrainian).
10. **Annual Abstract of Statistics of Kyiv city, 2015.** State Statistics Service of Ukraine, 434 (in Ukrainian).
11. **Ositnianko A.P., 2005.** Kyiv Development Planning. KNUCA, 385 (in Ukrainian).
12. **Priymachenko O.V., 2014.** Determining the Planning Measures for Noise Reduction in the Areas Surrounding Main Roads. City and Land-Use Planning: Collection of scientific and technical articles. Kyiv, KNUCA, Issue 51, 469-474 (in Ukrainian).
13. **Priymachenko O.V., 2014.** Analysis of Models of Noise Propagation in Space. City and Land-Use Planning: Collection of scientific and technical articles. Kyiv, KNUCA, Issue 53, 435-439 (in Ukrainian).
14. **Igor Solukha, 2015.** Intersectional junctions of the main roads in city SRN System (on the basis of Kyiv SRN system). Motrol, Vol.17, No 8, 53-59.

15. **Ivanov V.N., Storchev V.K., 1990.** Ecology and Automobilation. Kyiv, Budivelnyk, 129 (in Russian).
16. **State Construction Norm B.2.3-5-2001.** Streets and Roads of Urban and Rural Settlements. Kyiv, 50 (in Ukrainian).
17. **State Sanitary Rule 173-96, 1996.** State Sanitary Rules of Planning and Development of Settlements. Kyiv, Ministry of Healthcare of Ukraine, 84 (in Ukrainian).
18. **Guidelines on Development of the Chapter of Environmental Protection Project to Construction Norms and Regulations, 1.02.01-85, 1989.** Moscow, TSNII proekt Gosstroya SSSR, 187 (in Russian).
19. **State Construction Norm A.2.2.1-2003.** Composition and Content of the Materials of Evaluation of Environmental Pressures (EEP) in Designing and Building Enterprises, Houses and Constructions. Main Principles of Design. Kyiv, Derzhbud Ukrainy, 19 (in Ukrainian).
20. **State Construction Norm B.1.1-31:2013.** Protection of Territories, Houses and Constructions from Noise. Kyiv, Minrehion Ukrainy, 75 (in Ukrainian).
21. **State Standard of Ukraine DSTU-H Б В.1.1-33:2013.** Directive on Engineering and Design of Noise Protection of Residential Areas. Kyiv, Minrehion Ukrainy, 42 (in Ukrainian).
22. **Ustinova I, 2015.** Theoretical principles of wave urbanistics. Underwater Technology, Nr.01, 33-42.
23. **Osetrin M., Bondar O., 2016.** The town planning experience in implementing the principle of roundabouts on the approaches to bridges. Underwater Technology, Nr.03, 75-82 (in Ukrainian).
24. **Osetrin M., Dvorko O., 2016.** Environmental criteria in a model assessment of the effectiveness of simple intersections on the road network of Kyiv. Underwater Technology, Nr.04, 80-88 (in Ukrainian).

Модель оценки эффективности планировочных мероприятий по защите примагистральных территорий от влияния экологических нагрузок магистральной сети г. Киева

Алексей Приймаченко

Аннотация. Повышение требований к экологическому состоянию городской среды порождает проблему в эффективном планировании и функционировании элементов защиты примагистральных территорий. Магистральными называют такие территории, которые расположены вдоль магистральной улично-дорожной сети в пределах от магистрали до линии застройки. По определению, линия застройки является границей расположения зданий и сооружений относительно красных линий. Они составляют примерно 15 – 30% территории города. Исследование методологических основ устойчивого развития урбанизированных территорий должно основываться на комплексном, проблемно-ориентированном подходе различных смежных научных исследований. Поэтому задача исследования экологических нагрузок от магистральной уличной сети является актуальной для города. Проведя анализ нормативных документов Украины, было установлено, что для разработки и обоснования градостроительных регулирующих норм недостаточно для оценки планировочных мер защиты примагистральных территорий.

Для соответствующей оценки предложены математические и информационные модели, которые показывают зависимость экологических нагрузок по факторам и признакам в соответствии с планировочными решениями. Были проведены натурные обследования магистральной сети с различными планировочными критериями в Киеве, в ходе которых собраны данные, необходимые для оценки эффективности планировочных решений.

На основании полученных данных даны рекомендации по планировочным решениям соответствующих городских территорий.

Ключевые слова: улично-дорожная сеть, экологическая нагрузка, защита городских территорий.

Nanomodified natural aluminum silicates in technology treatment of industrial waste and the production of building materials

Peter Kuprienko¹, Svetlana Lapovska², Natalia Kuprienko^{2, 3}

¹ Kyiv National University of Construction and Architecture
Povitroflotskyi prosp., 31, Kyiv, Ukraine, 03680
pkuprienko@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3054-4976

² State Enterprise «Scientific Research and Design Institute of building materials and products», Kostyantynivska str. 68, Kyiv, Ukraine, 04080
mit@kievweb.com.ua, orcid.org/0000-0001-9637-2631

³ pkuprienko@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3820-3404

Summary. The article presents the results of cleaning galvanic drains, etching solutions, waters contaminated water soluble fractions of petroleum products, including seawater. Conducted data testing of technology for recycling products of water treatment in the technology of production of ceramic bricks.

Key words: galvanic drains, etching solutions, water soluble fractions of petroleum products.

INTRODUCTION

Sustainable development (SD) provides such a model of resource use that is aimed to meet human needs while preserving the environment so that these needs can be met not only for the present but also for future generations [1...4].

This paper presents the results of scientific studies and technological tests of sorbents for purification of industrial and household sewage water containing heavy metal ions and soluble fractions of petroleum products, including sea water, such as ballast water of ships [5...7].

Clay minerals have unique colloid-chemical properties and can therefore serve as basic material for adsorbents. Thanks to the large specific surface area, high values of dispersion

and cation-exchange capacity of clays, it is possible, after their physical or chemical treatment, to obtain products with an adjustable non-hydratable or hydrophobic surface balance, high adsorption and coagulating properties, which can be successfully used to purify water: industrial, economic, storm water, water containing a colloid-disperse suspensions, sea water containing crude oil and soluble oil products [8...11].

It is proposed to use as an adsorbent some clay modified with ferric hydroxide compounds selected from the series: montmorillonite, hydromica, kaolin.

The term “modified” means creation of a modifier nanolayer on dispersed clay mineral surface with a view to change the nature of the surface, its colloid-chemical and technological properties [12, 20].

The economic feasibility of usage of the nanomodified aluminum silicates at water treatment technologies is based on their effectiveness and low cost at cleaning of large volumes of water, simplicity and reliability of their production and application, possibility of closed manufacture cycle organization, and no less important possibility of spent sorbent and water purification product recycling.

The paper presents the assessing results of modifier impact on clay minerals colloid-chemical properties, as well as the results of scientific studies and industrial testing of clay minerals (natural and modified) used for purification of acid-alkaline, electroplating and domestic sewages and water contaminated with petroleum products (Tab.1).

Table 1. The list of technologies and products obtained by recycling industrial and household waste

The list of industrial waste to be disposed of	Production, derived products
The slurry that is formed by treatment of fresh and sea water contaminated by oil products	Getting organic nanomineral compositions. Raw materials for production of building ceramics
Sludge treatment halvanostokov	Ingredients charge in the production of building ceramics, brick tiles, sanitary ware
The slurry after neutralization etching solution in the production of steel pipes	The component in the production of building ceramics
Products of WWTP sludge	Production of technical ceramics: industrial premises, ceramic gravel
Oxidizer propellant, food processing	Getting nanocomposites batch ingredients in the manufacture of ceramic building materials, fertilizers

OBJECTS OF RESEARCH

Clay minerals with different crystal lattice structures, dispersion, natures of structure formation in aqueous dispersions: montmorillonite, hydromica from the Cherkassy field, kaolin from the Prosyankovskoe field (Ukraine).

THE MATTER THEORY AND THE

METHOD TO OBTAIN NANOMODIFIED FORMS OF CLAY

Getting nanomodified clay is based on FeCl₃ hydrolysis, theoretical views of the formation of ferric hydroxide colloidal particles α – FeOOH, namely, that part when a solid phase (a centre) is formed, which absorbs forming potential ions from the solution. As an ion absorption result the centre surface acquires a charge. Oppositely charged ions (counterions), presented in water, are grouped near the centre surface by electrical attraction of unlike electrical charges, forming a colloidal particle. Colloidal particles with surrounding diffuse layer are called micelles. If the dispersion medium is water, it is called hydrosol. Depending on the colloidal solution formation conditions the forming potential ions and counterions can change places. Depending on hydrolysis conditions for iron salts, aluminum, the formed sol is positive at low pH values of water and the negative at high ones.

The described above mechanism of hydroxide sol formation in the light of the theory of Muller [13] and the theoretical foundations of water technology [14] allows us to determine the conditions of coating formation on the surface of finely dispersed aluminum silicate made of hydroxide nanoparticles. At clay modifying with hydroxide, coagulation takes place mainly under the gravity force and the gradient coagulation induced by mixing of the system: water-clay-hydroxide [14, 15].

Nanomodified aluminum silicates or other finely dispersed materials can be used as efficient absorbents, fillers, structure-formers, as well as an ingredient for many modern composite materials.

RESEARCH METHODS

Clay mineral aggregate stability was determined by the volumetric method on the base of a sediment volume formed during kaolin sedimentation from dilute suspension. Rheological properties of modified clays at a critical concentration for structure formation were determined with a rotary viscosimeter «Rheo-

test-2". At a gas analyzer «Wleft» there were determined sorption capacity of water-soluble fractions of petroleum and benzene with a flame ionizer, and the presence of atomic adsorption metal cations and their number in water systems with a C-115 spectrophotometer.

RESULTS AND DISCUSSION

The modification of clay minerals. The sediment volume (V_{OC}) of the samples depends on clay mineral nature and a degree of modification (α). The degree of modification is defined as the ratio of the masses of ferric hydroxide and of clay minerals ($b\%$). At kaolin modifying with α from 0,1 to 0,7%, the sediment volume increases from 2,0 to 3,6 cm^3/g (Fig.1). With further α increase up to 5%, V_{OC} decreases, remaining at α 3,0 to 5,0% almost unchanged – 1,96...1,74 cm^3/g (V_{OC} for not modified natural kaolin is in the range of 2 $^\circ\text{cm}^3/\text{g}$ [16]).

Rheological studies to obtain information

about the process of structure formation of modified kaolin in aqueous dispersions were carried out at strain rate of 0,33...145,8 s^{-1} . The concentration of solids in the suspension was 33,0%, which corresponds to the concentration at which three-dimensional structuring of a system occurs. These conditions are the best ones to evaluate effectiveness of introduced additives or other type of system processing carried out in order to stabilize its properties.

Fig. 2 shows rheological curves of viscosity dependence on shear stress and curves of sample flow for modified kaolin suspensions. With increasing of a modification degree α from 0,1 to 5,0 % the coagulation structure strength increases also, as it is indicated by viscosity increase at low values of shear stress. The maximum value of shear stress, which is achieved in this range of strain rates, for samples modified on 0,1...1,5% is 3...4 times as high as than that for samples of natural kaolin and kaolin modified on 3,0 and 5,0%. This process is observed more clearly on rheological flow curves. The maximum structure strength in

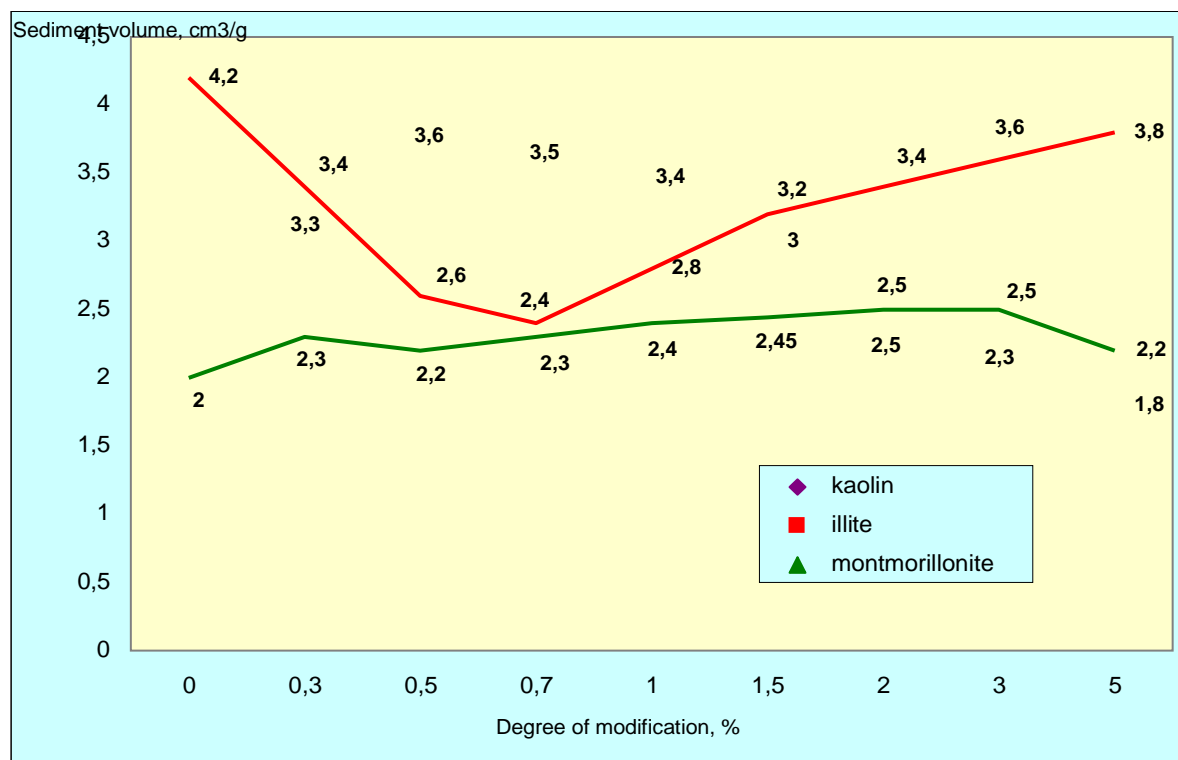


Fig. 1. The dependence of sediment volume for ferric hydroxide-modified clay minerals on the degree of modification

suspension with modified kaolin is achieved at $\alpha = 0,3\%$. At modifier increase from 0,3 to 5%, the strength is gradually reduced, and natural and modified 3% kaolin have practically identical rheological parameters.

At treatment of suspension with natural kaolin by ferric salt solution followed by FeOON precipitation on the kaolin surface, a degree of surface coating with the modifier plays a crucial role in the properties of the clay surface. In a case of partial covering, interaction between particles increases, reaching a maximum value at $-0,3\%$ (see Fig. 2). That is, formation of an uninterrupted hydroxide layer on the kaolin particle surface is completed when FeOON content is equal 3,0%. If $\alpha = 5,0\%$ structure formation is determined mainly by free hydroxide particles not bound

that the formation of a modifier layer provides stabilization of kaolin suspension.

Hydroxide modifying affects a sedimentation process for montmorillonite and hydromica in a less degree. At hydromica modifying with increasing modifier amounts, after hydroxide layer formation V_{OC} decreases firstly and then increases, that indicates more complex processes of coagulation structure formation. At montmorillonite modifying, a clear V_{OC} dependence on α was not established, but FeOON presence in the montmorillonite – water system has significant effect on suspension rheology, the process of structure formation and the aggregation state of dispersed mineral. At $\alpha < 3\%$, precipitation is completed within 5 h, and not modified mont-

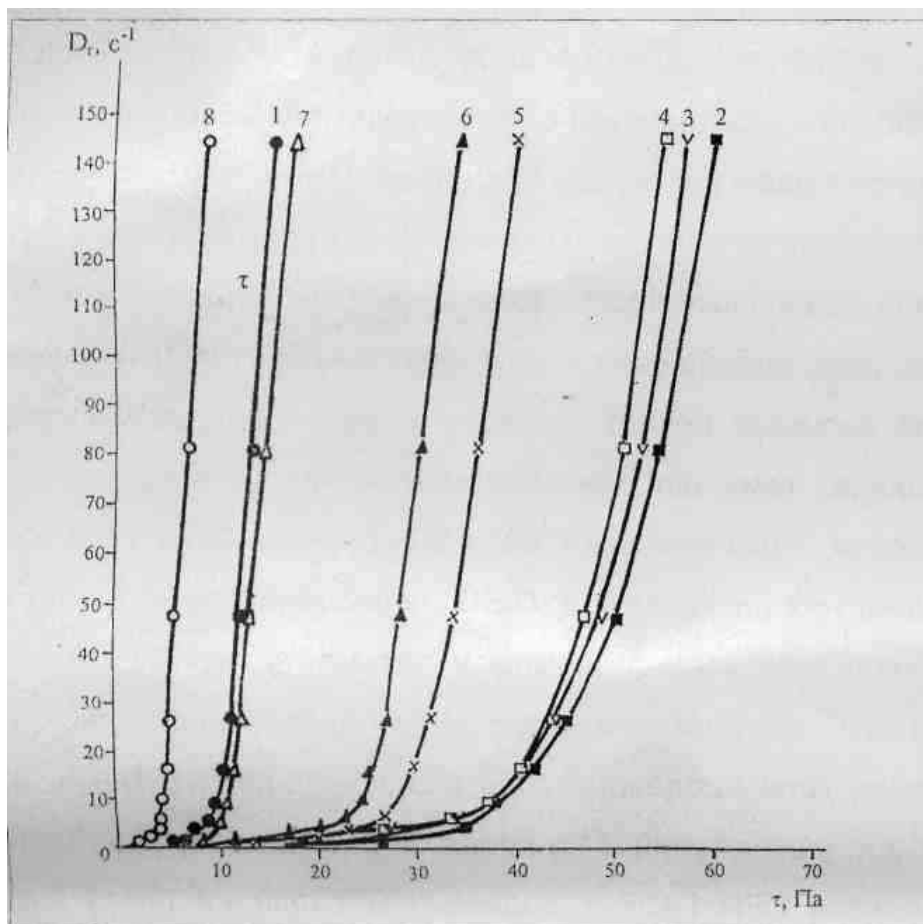


Fig. 2. Rheological flow curves ($D_r - \tau$) for suspensions with modified kaolin:

1 – natural kaolin; 2 – 0,3; 3 – 0,5; 4 – 0,7; 5 – 1,0; 6 – 1,5; 7 – 3,0;
8 – 5,0 % weight of FeOOH

to the surface of the main dispersed phase of ferric hydroxide aggregates. It can be assumed

morillonite and one with α of 5% are deposited over 30 days.

Industrial testing of natural and modified bentonite as adsorbent for industrial wastewater purification at existing facilities showed positive results, tests were carried out at the neutralization centre of the Antonov aircraft company (Kiev). The company "Dashukovskie Bentonity" together with the Research and Design Technological Institute of Municipal Services (Kiev) conducted studies of bentonite for domestic sewage treatment in one of the shops of the Nikopol stainless tube mill (Nikopol). There are also experimental results of assessment of possibility to use natural sorbents for water treatment from soluble fractions of petroleum products, made within the research program INTAS Call, 1996, Brussels, Belgium (Tables 2 – 5).

The purification scheme for chromium-bearing wastewater using modified bentonite is as follows: the adsorbent is fed to a reactor tank, where wastewater is stirred for 15 min, then it is pumped into settling tanks and deposited for 3 – 4 hours till water clarification (adsorbent amount required for wastewater treatment is determined by content of pollutant substances). Wastewater treated with adsorbent can be used again as purified water, or it can be discharged into a sewer network, because, under bentonite powder influence, pollutant content decreases and becomes several times lower than specified in sanitary norms or maximum permissible concentrations.

The purification scheme for domestic sewage is similar to the above described one: after rough machining or complete biological treatment, water is fed into tanks equipped with agitators (adsorbent amount is also determined by pollutant quantity). Then waste water enters into settling tanks for secondary settling, where impurities precipitate and water clears (at necessity, adsorbent is added). Such wastewater neutralization allows dumping of it into water bodies.

The results of the scientific and technological studies show viability, technological and economic feasibility of bentonite application for domestic sewage treatment.

Data obtained in the study of adsorption of water-soluble fractions from petroleum products are very interesting. Under adsorbent –

water system stabilization, organic matter adsorption increases. Sorption capacity with respect to toluene increases with increasing adsorbent specific surface area, such dependence for water-soluble fraction of kerosene is not observed. The adsorption value with modified clay minerals increases by several times, considerably exceeding the values of organic sorption (see Fig. 3) [19]. The results show high efficiency of water purification from soluble fractions of petroleum products.

At an optimal sorbent aggregative state in water, which corresponds to the system stabilization, an integral adsorption value of organic substances increases?

Depending on a nature and a method of sorbent preparation, its sorption capacity as for soluble fractions of petroleum products is within the range of (80...140) mg/l.

It should be noted that sludge obtained as a result of petroleum products purification can be recycled, which eliminates environment pollution.

Obtained slurry can be used in recycling technologies for building materials such as bricks or clayite. Laboratory studies to obtain bricks, clayite, and light-weight brick based on perlite were performed.

During studies, the next technological factors were controlled: water absorption, flexural and compression strength, porosity. These results indicate that sludge addition to bricks or clayite blend in the amount of (1...3) % of total mass leads to a higher fluctuation of these factors, in the range of (1...2) %, which does not affect significantly the product performance parameters. And at sludge content increasing, even some improvement of the parameters is observed.

Proposed sorbent application showed a new way to solve the problem of water treatment product disposal.

The sequence of technical operations for water treatment is presented in the next figure.

Table 2. Results of spent etching solutions treatment

Nr	Parameter name	Parameters of waste nitrogen-fluoric solution, g/dm ³	Parameters of purified etching solution, g/dm ³	Purification efficiency, %	Ingredient content in solid residue after treatment, %
1	Iron content	56,1	0,001	99,998	18,8
2	Chrome content	9,05	Less than 0,001	99,998	3,4
3	Nickel content	7,54	0,12	98,41	2,5
4	Iron total	50,18	0,00636	99,987	
5	Fluorides	100,4	3,7	96,32	

Table 3. The results of technological tests for modified bentonite for industrial waste water treatment at "Avianit" plant, Kyiv

Parameters of industrial wastewater	Before treatment, mg/l	After treatment, mg/l	Treatment time
Water of galvanic production			
Cr	28	<0,02	
Cu	34	<0,05	
Cd	2,4	absent	1,5-2,0
Fe	38	0,02	
Ni	12	<0,05	
Suspensions of different dispersion			
<0,1 μm	55	0,8	0,5
>10 μm	250	1,5	0,5
Polydisperse suspension	7500	4,0	1,0
Soluble fractions of petroleum products			
C ₈ – C ₂₆	5...35	0,03	2,0
Benzene	Up to 150	0,1	2,0

Table 4. Evaluating of sorbent effectiveness on the base of modified clays for water purification from soluble fractions of petroleum products

Soluble fractions of petroleum products	Quantity of fractions before treatment, mg/l	Quantity of fractions after treatment, mg/l	Treatment time, hours	Purification efficiency, %
C ₈ – C ₂₆	5...35	0,03	2,0	99,99...91,43
Benzene	Up to 150	0,1	2,0	99,99

Table 5. Bentonite effectiveness for domestic sewage treatment

Parameter	Value
Appearance	Light grey finely dispersed powder
Mass fraction of montmorillonite, %	50...70 and more
Mass fraction of clay component having particle sizes less than 0,02 mm, %	86...99
Residue, % not more, on sieves with mesh size, mm:	
- 0,4	3,0
- 0,16	10,0
Mass fraction of moisture, %	6,0...10,0
The reduction degree of contamination indexes for raw wastewater, %:	
- suspended matter	94...95
- biological oxygen demand in 5 days	92...93
- chemical oxygen demand	88
- phosphates	63...65
The reduction degree of contamination indexes for biologically treated wastewater, %:	
- biological oxygen demand in 5 days	74...82
- chemical oxygen demand	32...39
- phosphates	11...83

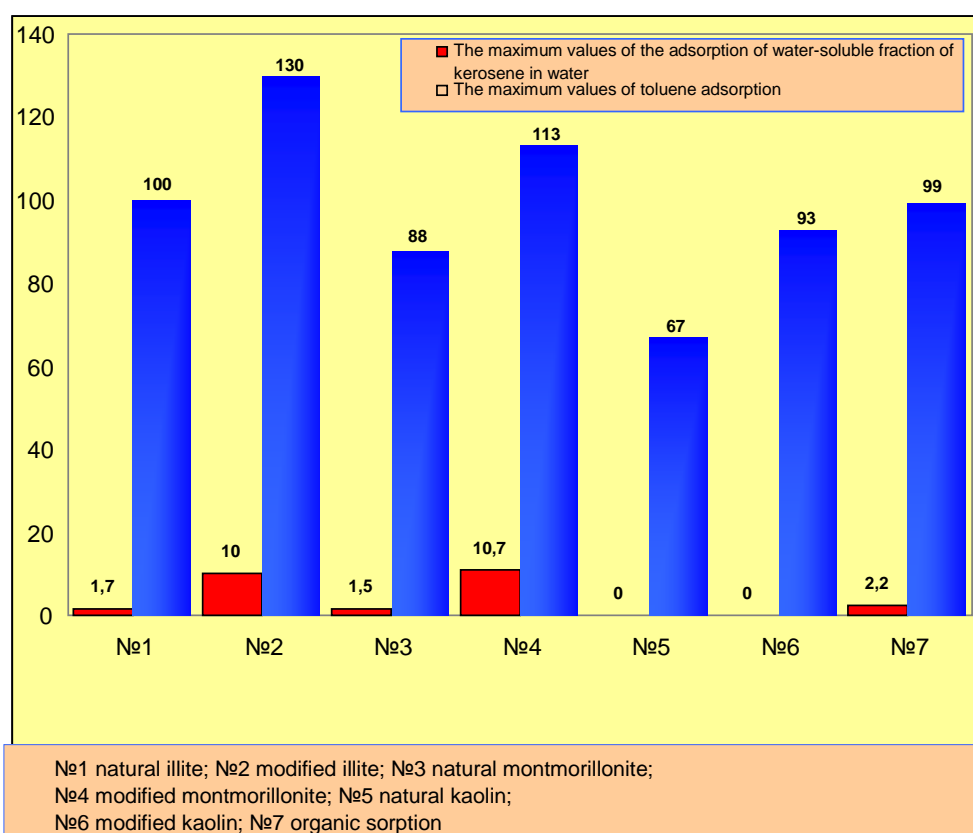


Fig. 3. The maximum values of the adsorption of toluene and soluble kerosene fractions out of water at the optimum degree of clay nanomodification

STAGES OF IMPLEMENTATION OF THE WATER TREATMENT TECHNOLOGY

- Industrial technology implementation requires passing a series of stages, namely:
- Estimation of pollutant chemical composition and drain flow volume
 - Familiarization with an existing technological scheme and equipment for industrial wastewater treatment
 - Selection of optimal ways to modify the selected sorbent according to the criteria of minimal mass picking by means of tests
 - Development of a technical project for modernization of the existing technological scheme of industrial wastewater treatment
 - Development of a new technological scheme for industrial wastewater treatment using new or existing equipment, if modernization is chosen
 - Development of production schedules for industrial wastewater treatment

ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF THE TECHNOLOGY

The technology usage will significantly improve employee working conditions due to the fact that the technology does not require chemicals that are usually needed at a reagent way of industrial wastewater treatment.

Spent sorbent does not require special warehouses for storage, as it is required for highly toxic sludge obtained at a reagent method of industrial wastewater treatment.

Spent sorbent is not environmentally harmful materials and can be used as an additive for ceramic building material manufacture.

ECONOMIC PERFORMANCE OF THE TECHNOLOGY

At technology application, the cost of industrial wastewater treatment will be substantially less in comparison with the reagent purification method which is used now in industry.

Table 5. Testing processing properties of ceramic bricks charge, containing of sludge additives industrial waste water treatment

Name of the index	Batch index component content					
	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Forming humidity, %, a/b	23,35/20,2 2	24,63/19,8 0	25,19/20,8 0	24,49/19,7 0	25,24/19,8 0	25,80/20,4 0
Sensitivity to drying, C	>180	>180	> 180	>180	>180	>180
Air shrinkage, %	6,61	6,40	6,24	6,62	6,54	6,70
Overall shrinkage, %	6,70	6,54	6,74	6,72	7,04	7,02
The average density, g/cm ³	1,55	1,58	1,58	1,54	1,58	1,50
Ultimate compressive strength, MPa	18,4	19,2	20,0	19,8	20,4	21,8
water absorption, %	22,28	21,50	21,20	21,44	21,0	20,54

Note: X₀ – charge for ceramic brick factory;
 X₁, X₂ – samples of the charge additionally contains a slurry consisting of water treatment products of galvanic production wastes 1 and 3 % by weight respectively;
 X₃, X₄ – 1,3% by weight sludge after cleaning water contaminated with water-soluble fractions of oil;
 X₅ – 3% sludge after cleaning ballast water (seawater)

The cost of the modified sorbent, which will be made by an executive, will not be higher than 5,00 UAH per 1 kg.

Modified sorbent volumes used in the technology are ranged from 0,3 kg to 1,0 kg per 1m³ of industrial wastewater.

For example, an enterprise neutralization station with cleaning capacity from 20 m³ to 30 m³ of industrial wastewater per day requires about 20 kg of the modified sorbent.

The above data allow us to state with confidence that nanomodified natural aluminum silicates can generally be used for solving of global problems of water purification from heavy metal ions and soluble fractions of crude oil and petroleum products.

The obtained results of scientific studies and technological tests, part of which is shown in this report, provide a basis to offer them to interested parties as an innovative project to address specific problems at different industries and businesses.

In today received results of the preliminary assessment of the physical and mechanical, consumer properties of ceramic building materials samples, which charge as a plastic component along with clays containing sludge. As a batch of ingredients used in the sludge produced in the process of purification of water contaminated with water-soluble fractions of petroleum, electroplating industrial waste, ballast water (seawater) nanomodified natural aluminosilicates (NMPAS). Test samples of ceramic material on the basis of the charge for the ceramic brick, modified by the addition of sludge produced in the purification of industrial waste water, carried out in accordance with the State Standard 2.7-2695 BV, DTSU B.V.2.7-4297. Analyzing the results discussed above, it is possible to conclude that the proposed project has an innovative perspective of implementation. The effectiveness of cleaning effluent is high, cost-effective. Batch tests for ceramic bricks containing sorbents nanomodified samples showed the effect of increasing the mechanical strength during storage within an acceptable range of other important process parameters. There is an assumption that the manipulation of the composition of the basic charge and the number of NMPAS supple-

ments, carrying out preliminary testing technology will be able to find other useful, unpredictable effects that many scientists and technologists find when working with nanosystems. Optimization of the amount and nature nanomodifier when processing natural aluminum silicates (clays) makes it possible to consciously regulate technology, consumer properties of ceramic products for various purposes, to create modern cost-effective and environmentally appropriate innovative projects.

REFERENCES

1. **Kuprienko P.J., 2012.** Nanomodifikovani prirodni aljunosilikati u virishenni global'nih problem ochistki vody. Materialy 18 simpoziumu IGWT tehnologii ta innovacij dlja stalogo majbutn'ogo. Rim, Italija, 24-28.09 2012 (Elektronna versija).
2. **Kuprienko P.J., Lapovs'ka S.D., Djuzhilova N.O., Kuprienko N.P., 2016.** Algoritmichna poslidovnist' uzagal'nenih etapiv vikonannya masshtabnogo proektu «Kompleksne virishennja problem ekologii i utilizacii promyslovo-pobutovih vidhodiv». Kyiv, Budivel'ni materiali ta virobi, Nr.2-3, 16-20 (in Ukrainian).
3. **Kuprienko P.I., Djuzhilova N.A., Kuprienko N.P. 2016.** Nanomodificirovannye prirodnye aljunosilikaty v tehnologii ochistki promyshlennyh stokov i proizvodstva keramicheskikh stroitel'nyh materialov. Budivel'ni materiali, virobi ta sanitarna tehnika, Nr.57, 68-76 (in Russian).
4. **Kuprienko P., Pavlova L., Maes A., Savina N., Wilson M., 1999.** Targeted modification of Ukrainian Clays for water purification from organic pollutants. Conference of the European clays Groups Association, Krakow, Poland, 10.
5. **Pavlova L., Kuprienko P., Maes A., Wilson M., 1999** Targeted modification clays for water purification from organic pollutants. Scientific. Israel. Technological Advantages, Vol.1, Nr.3, 43-53.
6. **Kul'skij L.A., Strokach P.P., 1981.** Tehnologija ochistki vody. Kiev, Vyshha shkola, 328 (in Russian).
7. **Miron Nazarjan, Jurij Stel'mahov, 2015.** Nauchnye osnovy ochistki stochnyh vod promyshlennyh predpriyatij metodom jelektrokoaguljacii. Underwater Technologies, Vol.02, 72-78 (in Russian).
8. **Krishna Kajastha, 2015.** Primenenie skvazhin

- s gravijno-zontichnym fil'trom ushirennogo kontura, Underwater Technologies, Vol.01, 65-76 (in Russian).
9. **Zhuravskaja N., Malkin Je., 2015.** Jenergosbe-regajushhie tehnologii s ispol'zovaniem vody, obrabotannoj v magnitnyh poljah. Underwater Technologies, Vol.02, 79-83 (in Russian).
 10. **Kuprienko P., 2010.** Colloid-Chemical Science of materials in materials and Goods technology. Materialy 17-20 Simpoziumu IGWT, 21-25.09, Buharest, Rumunija, 969-975.
 11. Viktor Kuhar', Vitalij Kuz'minskij, Ol'ga Ovchinnikova, 2016. Rasshirenie vozmozhnosti setchatyh promyshlennyh vodjanyh fil'trov. Underwater Technologies, Vol.04, 60-71.
 12. **Kuprienko P., 2000.** Technical suspension. Kiev, Naukova Dumka. 287 (in Russian).
 13. **Muller H., 1928.** Koll. Chem. Beih Bd., 26, 129-136.
 14. **Zapol's'kij A.K., 2009.** Fiziko-himichna teorija koagul'jacionogo ochishhennja vody. Kyiv, NUHT, 39 (in Ukrainian).
 15. **Nazerenko V.A., Antonovich V.P., Nevskaja E.M., 1979.** Gidroliz ionov metallov v razbavlenykh rastvorah. Moskva, 192 (in Russian).
 16. **Melihov I.V., 1975.** Sokristallizacija. Moskva, Himija, 270 (in Russian).
 17. **Kouзов P.A., 1987.** Osnovy analiza dispersnogo sostava promyshlennyh pylej i izmel'chenykh materialov. Leningrad, Himija, 264 (in Russian).
 18. **Zapol'skij A.K., 2005.** Rol' nanostruktur v processe koagul'jacionnoj ochistki vody. Kolloidno-himicheskie osnovy nanonauki, 424-462 (in Russian).
 19. **Rudenko G.G., Gogronovskij I.T., 1976.** Udalenie primesej iz prirodnyh vod na vodoprovodnyh stancijah. Kiev, 206 (in Russian).
 20. **Kolloidno-himicheskie osnovy nanonauki, 2005.** Kiev. Akadempriodika, 462 (in Russian).

**Наномодифицированные природные
алюмосиликаты в технологии
очистки промышленных стоков
и производстве керамических строи-
тельных материалов**

*Петр Куприенко, Светлана Лаповская,
Наталья Куприенко*

Аннотация. Представлены результаты очистки гальванических стоков, травильных растворов, загрязненных вод, растворимых фракций нефтепродуктов, в том числе морской воды. Приведены результаты испытания технологии по утилизации продуктов очистки воды в технологии производства из керамического кирпича.

Ключевые слова: гальванические стоки, травильные растворы, водорастворимые фракции нефтепродуктов.

Проблеми та напрямки реконструкції історичних центрів малих населених пунктів Волинського регіону (на прикладі смт Клевани Рівненської області)

Євгенія Казакова

Kyiv National University of Construction and Architecture
Povitroflotskyi prosp., 31, Kyiv, Ukraine, 03680
jenyka@list.ru, orcid.org/0000-0003-0460-1535

Анотація. Розвиток та відродження Українського історичного минулого завжди було і залишається актуальною проблемою сьогодення. Велика кількість малих історичних міст Західної частини України знаходяться в занедбаному стані і потребують об'ємно-просторового та функціонального відтворення та оновлення. Насамперед це стосується регенерації історичних центрів малих населених пунктів з метою створення в них розвинутої інфраструктури, покращення рівня життя, тяжіння туристичних потоків. В роботі розглянуто актуальність даного питання, визначено основні положення та завдання при формуванні оновленого середовища міста.

Ключові слова: регенерація, історичний центр міста, розвиток, відродження, реконструкція.

ВСТУП

На сьогоднішній день значного розвитку набуває вивчення та вдосконалення історико-культурного напрямку в містобудівній практиці та теорії, актуальність вирішення ряду проблем, таких як відродження та розвиток національних особливостей та традицій планування й забудови, адаптація до сучасних умов та збереження архітектурно-містобудівної спадщини [8].

Реконструкція міста є безперервним процесом, адже соціально-економічні зміни викликають зміни просторової структури міста, адаптацію старих елементів та

функцій до нових умов оточуючого середовища та життя міста, якщо вони є актуальними на даному етапі розвитку міста.

На теперішній час архітектурна спадщина України збережена не у всіх містах, що формувалися століттями. Тому лише частина з них офіційно визначається історичними. У відповідності до Постанови Кабінету Міністрів України № 878 від 26 липня 2001 р. «Про затвердження списку історичних населених місць України» до такої категорії віднесені 256 міст і 135 селищ міського типу [14].

В Україні в наслідок урбанізації другої половини ХХ сторіччя та 2000-х років, значення містобудівної та архітектурної спадщини значно зменшилось у великих та середніх містах і сильно зросло в малих історичних населених пунктах, де достатньо добре збереглась історична містобудівна структура у вигляді ландшафту, оборонних укріплень, планувальної структури ринкових площ, прилеглих кварталів та вулиць, соборних площ, монастирів, замків, які і на сьогоднішній день зберегли своє важливе значення в структурі та організації сучасних центрів малих міст України.

В останній час інтерес до площі як невід'ємного структурного елементу традиційного міського середовища знову почав відроджуватись, виникла тенденція до повернення людського масштабу та урізноманітнення форм містобудівної структури.

Отже, після тривалого періоду «забуття», дослідження площі як особливого типу відкритого міського простору набуло важливого значення.

ПРОПОЗИЦІЇ

Пропозиція збереження та реконструкції історичного центру малих населених пунктів шляхом оновлення історичного середовища, надання йому нового об'ємно-композиційного та функціонального рівня розвитку в умовах сучасного розвитку.

МЕТА ТА МЕТОДИ

Метою дослідження є виявити проблеми та визначити напрямки регенерації історичних центрів та ринкових площ в умовах реконструкції та розвитку малих міст України.

Методика дослідження заснована на системному аналізі, який забезпечує облік основних факторів, які впливають на вибір меж реконструктивного втручання та форм сучасного використання пам'яток архітектури ринкових площ. Вагома частина відведена вивченню вітчизняного та зарубіжного досвіду реконструкції та розвитку сучасних ринкових площ малих історичних міст. В залежності від поставлених задач, використовувались конкретні методи дослідження: архітектурний, стилістичний та структурний аналіз ансамблів ринкових площ та їх окремих будівель та споруд, картографування, графоаналітичний аналіз, комп'ютерне моделювання, експериментальне проектування.

Характерною для смт.Клевань особливістю розпланування є невеликі розміри кварталів. Відповідно цим розмірам мають бути і габарити елементів забудови (оптимальний варіант – малоповерхова забудова). Враховуючи існуючу містобудівну ситуацію, слід зазначити, що допустима висота проєктованих будівель повинна бути 2 – 3 поверхи. Принциповим питанням є забез-

печення збереження існуючого історичного планування кварталів.

Вирішуючи композицію нових споруд, пропонованих для розміщення в історичному центрі, необхідно застосовувати такі прийоми формоутворення, які підкреслюватимуть спільні риси між новими об'єктами та наближеними до них елементами історичної забудови.

Важливо передбачити комплексний благоустрій території проектування. Належну увагу слід приділити вирішенню питання паркування автомобілів та створення по можливості підземного паркінгу, в цілях економії площі, оскільки територія історичного центру незначна.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ

Методологічною основою реконструкції історичного міста являється визначення ролі його ядра та ринкової площі в історичному еволюційному розвитку міста. Історичне ядро міста являється структурно-формуючою основою як в формуванні всього міста, так і в агломераційних процесах [4, 15, 17].

Дуже важливим аспектом є пошук оптимальних містобудівних прийомів і методів, що будуть забезпечувати оптимальне сполучення нової забудови зі сформованим історичним середовищем [8].

Місто є відкритою та динамічною системою, що постійно розвивається та адаптується до навколишнього середовища, має велику кількість функцій, що постійно змінюються та адаптуються до сучасних вимог. Єдиний і цілісний образ міста визначається характером його просторової й функціональної мереж, побудовою планувальної структури та архітектурної композиції [17].

Перед початком такого проєкту необхідним є проведення перед проєктного аналізу [9].

Літописне містечко Клевань знаходиться над річкою Стубла, на її правому березі. Ще в літописну добу містечка Клевань місцеві власники побудували на давньому городищі дерев'яний замок із земляними ва-

лами та дубовими частоколами на них, зі сторожовими вежами, бійницями, але все те було змито разом з Пересопницею, іншими волинськими містами Батиєвою повинню 1240 року [3].

У XIV ст. Волинська земля була у складі Великого князівства Литовського, і першу писемну згадку про Клевань тієї доби знаходимо під 1458 роком. Саме того року князь Михайло Чорторийський отримав від Великого князя Литовського Свидригайла дарчу грамоту на містечко, і з того часу аж до 1870 року Клевань був власністю князів Чорторийських, а самі князі стали називатися Чорторийські на Клевані [3].

Воно фактично складається з двох частин: старої Клевані – 1-ї та нової Клевані – 2-ї, яка виросла при залізничній станції після проведення колії Київ – Брест у 1873 році. Залізнична станція знаходиться в 4 км від історичного центру Клевані.

Селище розташовується на пограничній смузі лісової і степової зон – Полісся та Волині. Селище знаходиться на трасі Рівне-Луцьк, і є частиною транспортної мережі країни. Одним з головних критеріїв, є характеристики міста, як місця тимчасового відпочинку.

Також гостро стоїть проблема відсутності автопаркінгів на в'їздах до селища, оскі-

льки для Клевані, як для туристичного містечка, буде притаманна значна туристична міграція. Наразі немає жодного паркінгу для мігрантів, що не є привабливим для туристичних потоків.

Існують такі шляхи реконструкції історичних міст: збереження існуючої планувальної та просторової структури та реконструкція історично сформованої планувальної та просторової структури. Найкращим вирішенням цього питання буде поєднання обох підходів та трансформація міського середовища у відповідності до нових сучасних умов і потреб розвитку. Основою такого шляху вирішення питання є порівняння старої та нової планувальних структур, у результаті чого формується єдиний планувальний каркас міста (Рис.1). Він має загальні для всього міста центри тяжіння, функціональні зв'язки та просторові домінанти. Стара структура зберігається, вона залишається життєздатною і домінує в межах ареалу історичної забудови. Нова структура додає зовсім інші функціонально-просторові характеристики тим територіям, що попадають у сферу її активного впливу [4, 16, 18].

Важливу роль у формуванні міського каркасу грають місця перехрещення старої та нової планувальної структури міста. Вони



Рис.1. Сmt Клевань. Накладання старої і нової планувальної структури в центральній історичній частині міста

Fig. 1. Klevan. Blending old and new planning structure in the central historic part of the city

стають головними вузлами та центрами тяжіння оновленого плану міста, його важливим компонентом, де концентрується функціональна та містобудівна активність [2, 4, 16].

Проект передбачає створення архітектурно-просторових акцентів ринкової площі, яка стала б центром тяжіння для мешканців Клевани та сусідніх міст, туристів та об'єднала торговельну, адміністративну, рекреаційну, суспільну і духовну функції міста. Регенерація частини історико-культурного заповідника замку, відновлення торгових рядів зі зведенням Ратуші, реконструкція головної вулиці з відновленням ринкової площі, комплексний благоустрій території.

Роботи по реконструкції історичного центру зосереджені навколо Ринкової площі, яка в повоєнні роки була частково забудована і хаотично озеленена. Було виконано мощення, прокладені доріжки, газони та клумби, в результаті чого ринкова площа стала активним елементом міського середовища. Розроблення схеми розвитку площі в цілому й окремих його будинків з урахуванням сучасних вимог до них, обрання оптимальної об'ємно-планувальної композиції площі та прилеглих вулиць та кварталів, забудови, щоб максимально повернути центру міста його характерний історичний образ. Відновлення втрачених зв'язків між домінантами історичного центру, а також домінантою та будинками на кожній окремій площі. Важливим завданням є упорядкування планувальної структури міста та будинків рядової забудови, усунення дисгармонуючої забудови, удосконалення системи транспортних та пішохідних зв'язків. Розробка функціонального зонування історичного центру з урахуванням меж і режиму архітектурно-будівельної діяльності в межах охоронних зон і території пам'яток. Гармонійне поєднання сучасної та історичної забудови та благоустрій й озеленення ансамблю.

Згідно з вимогами Державних будівельних норм (ДБН 369-92, розділ 11): «Необхідно передбачати спадкоємність в архітектурно-містобудівному розвитку поселень,

враховувати особливості історичного середовища (комплекс планування, що склалося, та відповідної йому забудови), що характеризуються специфічними для конкретного поселення та етапів його розвитку співвідношеннями об'ємів архітектурних споруд і відкритих просторів, умовами зорового сприйняття пам'яток та їх комплексів, зв'язками з природним ландшафтом» [5].

НАПРЯМКИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО РОЗВИТКУ

Історичний центр поділяється на шість основних функціональних зон: житлова, торговельно-розважальна, навчально-виставкова, рекреаційна, готельний комплекс, музейна.

Крім основних функцій передбачено ряд заходів, що дозволять місту набути статус поліфункціонального туристичного містечка з розгалуженою системою послуг. Це дає змогу зацікавити інвесторів у співпраці та подальшому фінансуванні.

Одним з таких заходів є створення конєферми. Проектом передбачено її розміщення в замковому комплексі. Метою створення конєферми, крім фінансового аспекту, є історичний аспект.

Безліч дрібних крамничок, тематичних кафе та кав'ярень, що передбачені на перших поверхах забудови ядра історичного центру та замкового комплексу повинні створити справжній колорит туристичного містечка західного типу.

У зв'язку з тим фактом, що місто є досить маленьким, то проектом передбачено зосередження всіх функцій в малій кількості на території центральної ринкової площі, Хримої площі та на пров. Міцкевича.

Щодо планувальної структури ділянки, майже всі функціональні зони виходять на дві головні площі, одночасно формуючи об'ємом фасаду простір навколо них. Разом з пам'ятниками архітектури, які входять до ділянки, утворюється єдиний архітектурний ансамбль історичного центру, який треба врівноважити та знайти правильне співвід-

ношення між архітектурою пам'яток та сучасною архітектурою.

З цінної забудови залишились поодинокі окремо розташовані житлові та громадські будівлі. Індивідуальна (малоцінна) забудова представлена одно- та двоповерховими окремо розташованими садибними будинками.

Дисгармонуюча забудова займає велику кількість будівель та споруд, що розташовані в межах історичного центру.

Згідно історичним планам, зберігся основний планувальний каркас вулично-дорожньої мережі та система історичних кварталів. Були втрачені оборонні вали, центральна ринкова площа з ратушею та характерною історичною забудовою.

Рельєф території представлений кількома пагорбами, найвищі точки яких увінчані головними історичними пам'ятками, такими як: замок Чарторийських, церква Різдва Христового та костюл Благовіщення. Пагорб, на якому знаходиться замок, за часів середньовіччя був оточений ровом. Пагорби – окраса Клевани, суспільна цінність в історичному і культурному аспекті, а також зона ландшафту яка надає містечку індивідуального та незрівнянного образу.

В умовах історичного і культурного середовища слід особливо відповідально підходити до проектування нових споруд з метою не нашкодити вже існуючому середовищу.

На основі старого генерального плану міста (1891 року), на основі аналогів та кварталів що збереглися, пропонується відтворити організацію квартальної забудови історичної частини міста, зв'язавши її з містобудівними домінантами, що збереглися.

Забудова, що пропонується на відтворення: рядова безперервна, організована в замкнуті квартали з внутрішнім простором.

Центральну ринкову площу пропонується увінчати відтвореною ратушею. Розмістити в межах площі вело стоянки та організувати правильну пішохідну зону для комфортного перебування людей.

Також, в західній частині пропонується відновити частину оборонних валів, які є

невід'ємною частиною історичного образу міста.

Не менш гострою для містечка є проблема збереження історичних пам'яток. В місті є кілька привабливих, у туристичному сенсі, пам'яток архітектури, що знаходяться у занедбаному стані. Унікальні експонати, що в деяких випадках руйнуються, потребують негайного порятунку.

Зокрема замок, що знаходиться у містечку, є одним із найбільш збережених фортифікаційних споруд нашої країни. Деякі його частини були побудовані ще у XIV ст. [3]. За часів Радянського Союзу, певний час використовувався як школа, потім як місце позбавлення волі. Також яскравою архітектурною пам'яткою є Благовіщенський костел побудований в стилі раннього бароко з шикарним декорованим фасадом. Після реставрації 1747, 1830 та 1901 років костел дещо втратив свою первозданність. До того ж реставрація, що почалася після отримання Україною незалежності, повністю не завершена [6].

Головною задачею даного проекту є розробка функціональної схеми будівель і споруд та органічне розміщення їх в природному ландшафті та в умовах історичного міста, а також, пошук сучасних форм забудови історичного центру, на місці втраченої. Оновлена забудова повинна продовжити архітектурний розвиток унікального історичного населеного пункту Волинського регіону.

На в'їздах в історичний центр та в місцях найбільшого тяжіння людей пропонується обладнати автомобільні стоянки, а в межах центральної ринкової площі вело стоянки. Також пропонується розміщення під центральною площею підземного простору з паркінгом та технічними приміщеннями.

Згідно схеми функціонального зонування історичну частину пропонується відновити у вигляді мультифункціонального громадського центру з основними центрами тяжіння людей, якими залишаються головні історичні пам'ятки.

В складі проекту розроблено генеральний план регенерації та розвитку історич-

ного центру смт Клевань. Їм передбачено розміщення нової квартальної (житлової та громадської) забудови на основі лінійної організації житлових вулиць. Реставрація та ревіталізація історичних пам'яток. Відновлення історичного вигляду міста. В цілому архітектура будівель і ландшафтний дизайн повинні створити єдину гармонійну композицію підпорядковану оточенню та мають відповідати статусу історичного міста.

Проектом передбачена реконструкція частини історичного центру та відновлення ринкової площі, надання їй торгівельної та обслуговуючої функції тим самим повернення їй статусу загальноміського значення.

Забудова рядна, безперервна, виконана в масштабі існуючої історичної міської забудови. Побудована з сучасних матеріалів. Форми забудови історичні – стилізовані, оновлені, наприклад комбінація старої скатної черепичної покрівлі з сучасними скляними фасадами, наявність декоративних елементів на фасаді що нададуть сучасній забудові історичного образу. Високі цоколі, оздоблення вікон, дверей та покрівлі на манер старовинної забудови XVIII – XIX ст. Матеріали для оздоблення комбіновані (історичні та сучасні).

Важливим етапом оновлення історичного середовища міста є визначення ролі його ядра та історичної зони в історичному розвитку міста. Історичне ядро міста являється структуро-формуючою основою не тільки в формуванні всього міста, а і в агломераційних процесах [3, 13, 15]. В той же час історичний центр міста є не тільки композиційним центром тяжіння населення, а й центром та середовищем розвитку соціальної активності, культурного збагачення та розвитку, що впливає на формування функціонального насичення історичного центру міста.

Вдосконалення планування і забудови історичних міст пов'язане, насамперед, з розвитком їх індивідуальних планувальних першооснов в умовах територіального зростання міста, підсилення функціональних зв'язків між окремими зонами, збільшення

рухливості міського населення. Не втрачаючи своїх історично сформованих художніх якостей, вони одержують нове, набагато збільшене функціональне і соціальне навантаження [1].

Етапи реконструкції ринкової площі:

1. Порівняльний аналіз історичної та сучасної планувальних структур, створення історико-опорного плану та деструктивної схеми центральної частини міста та прилеглих вулиць та кварталів;

2. Визначення ступеню цінності центральної частини малого історичного міста, тенденцій формування та розвитку (стиль, характер забудови, період розквіту);

3. Визначення ступеню збереження, аналіз та висновки на скільки ринкова площа в цілому та будівлі зберегли свої архітектурні та функціональні характеристики; на скільки вони відповідають сучасним вимогам;

4. Визначення сучасних вимог та висновки яким повинно бути сучасне історичне середовище, чого не вистачає на ринковій площі, що потрібно додати та чим доповнити під час реставрації;

5. Формування задач реконструкції одночасно на трьох рівнях сприйняття – людина (відновлення втрачених візуальних зв'язків між домінантами історичного центру; упорядкування кварталів, планувальної структури; усунення дисгармонійних елементів; упорядкування й доповнення системи транспортних та пішохідних зв'язків), простір (формування та адаптація під сучасні умови та потреби пішохідних проходів, вулиць та площ; благоустрій території та внутрішніх дворів прилеглих кварталів; влаштування внутрішньоквартальних дворів з розвинутою інфраструктурою; створення парків та скверів; влаштування дитячих майданчиків та зон рекреації), будинок (упорядкування будинків рядової забудови; передбачити сучасне застосування окремими історичними будинками в ансамблі з урахуванням розробленого функціонального зонування ансамблю; вирішення питання по декоративному оформленню фасадів всіх будинків, що формують ансамбль);

6. Визначення мір реконструктивного втручання;

7. Формування комплексу методів реконструкції ринкової площі.

ВИСНОВКИ

Аналіз містобудівної еволюції історичних поселень показує, що взаємодія історичного середовища з сучасною забудовою є однією з найважливіших композиційних проблем.

Смт Клевань Рівненської області відноситься до визначних історичних населених пунктів Українського регіону Волині. Завдяки своєму вигідному розміщенню, на протязі всього свого існування відіграв важливу роль в транспортному сполученні та був торгівельним центром.

На сьогоднішній день, смт Клевань є типовим представником малих історичних міст України, яке зберегло свою цінність в масштабах всієї країни, у вигляді цілісного історично складеного архітектурного та містобудівного ансамблю.

В цих містах збереглася основна планувальна структура населених пунктів, яка складалась протягом всього їх формування, основні пам'ятки архітектури та містобудування, ринкові площі, елементи оборонної архітектури та історичного ландшафту, а також окремі історичні житлові будівлі.

Масова рядова історична забудова не збереглася і в повоєнні часи була замінена на типову та індивідуальну садибного типу. Повністю зникли історичні функції забудови, а сучасні не відповідають значенню збереженої культурної спадщини.

Важливим творчим завданням являється пошук містобудівних прийомів і методів, що забезпечують оптимальне сполучення нової забудови з історично сформованим середовищем.

Основною метою даної роботи є пошук сучасних форм та планувальних засобів, які замінять зниклі історичні містобудівні та архітектурні елементи. Вони дадуть змогу повернути унікальні міста на шлях подальшого розвитку та процвітання. Цьому має сприяти і нове функціональне рішення історичних центрів цих міст. Дуже важливим

є необхідність перетворення малих історичних міст України в туристичні центри, адже туризм є важливою складовою їх економічного розвитку.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Ахмедова Е. А., Шабанов В. А., 1989.** Городская среда, Проблемы реконструкции. Куйбишев, 108.
2. **Sergei Bronevitski, 2015.** Evolution of reforming of the civil construction industry management system in Ukraine. Motrol, Vol.17-8, 3-12.
3. **Юрій Бірюльов, Олександр Волков, 2002.** Замки Західної України. Львів, Центр Європи, 2-24.
4. **Гутнов А.Э., 1984.** Эволюция градостроительства. Москва, Стройиздат, 247.
5. **Державні будівельні норми України, 1999.** ДБН 360-92. Містобудування, планування і забудова міських і сільських поселень від 17 квітня 1999 р.
6. **Николай Жук, Мирон Назарян, Юрий Стельмахов, 2015.** «Великий шелковый путь»: современные проблемы реконструкции. Підводні технології, Вип.01, 59-64.
7. **Казакова Є.Г., 2013.** Реконструкція малих історичних міст України та підвищення їх туристичної привабливості. Науковий вісник будівництва, Збірник наукових праць, Вип.72, Харків, ХНУБА, 515.
8. **Кодин В.О., 2009.** Основи реконструкції історичних міст: навч. посібник. Харків, ХНАМГ, 172.
9. **Nellya Leshchenko, 2016.** Pre-project research cycle of the architectural environment of the small town's historical center as an analytical stage of it reconstruction. Underwater Technologies. Kyiv, Vol.03, 66-74.
10. **Лещенко Н.А., 2000.** Принципи реконструкції архітектурних споруд історичних ансамблів малих міст Західної України. Дис... канд. арх., Київ, 225.
11. **Лещенко Н.А., 2000.** Принципи реконструкції архітектурних споруд історичних ансамблів малих міст Західної України. Автореферат дис...канд. арх., 18.00.02, КНУБА, Київ, 20.
12. **Микола Осстрін, Олександра Бондар, 2016.** Містобудівний досвід реалізації кільцевого принципу організації руху транспорту на підходах до мостів. Підводні технології, Вип.03, 75-82.

13. **Парфенюк В.О., 2013.** Клевань, портрет на фоні епох. Історико-інформаційна розповідь. Рівне, ПП Лапсюк В.А., 552.
14. **Постанова** Кабінету Міністрів України № 878 від 26 липня **2001.** Про затвердження списку історичних населених місць України.
15. **Реконструкція** історических городів України: обзор, **1991.** Москва, ВНИИТАГ, 47.
16. **Соколов Л.И., 1992.** Центр города – функции, структура, образ. Москва, Стройиздат, 353.
17. **Тимохін В.О., 1996.** Основи містобудування: навч. посібник. Київ, ЗМН, 216.
18. **Iryna Ustinova, 2015.** Principles and strategies of sustainable development of regions. Motrol, Vol.17-8, 13-26.

REFERENCE

1. **Akhmedova E.A., Shabanov V.A., 1989.** Urban environment, the Problems of reconstruction. Kuibyshev, 108 (in Russian).
2. **Sergei Bronevitski, 2015.** Evolution of reforming of the civil construction industry management system in Ukraine. Motrol, Vol.17-8, 3-12.
3. **Yuri Brullov, Oleksandr Volkov, 2002.** Locks Sahana Ukraine. Lviv, The Center Europe, 2-24 (in Ukrainian).
4. **Gutnov A.E., 1984.** The evolution of urban development, Moscow, Strojizdat, 247 (in Russian).
5. **DNB 360-92, 1999.** Urban development, planning and construction of urban villages and several settlements dated 17 April 1999 (in Ukrainian).
6. **Nikolay Zhuk, Myron Nazarene, Yuri Stelmachov, 2015.** «Great silk road»: modern problems of reconstruction. Underwater Technologies, Nr.01, 59-64 (in Russian).
7. **Kazakova E.G., 2013.** Reconstruction of small historic cities of Ukraine and increasing their tourist attractiveness. Scientific Bulletin of construction, the Collection of scientific works, Vol.72, Kharkiv, KHNUCA, 515 (in Ukrainian).
8. **Kodin V.O., 2009.** Fundamentals of reconstruction of historic towns. Kharkiv, KHNAMG, 172 (in Ukrainian).
9. **Nellya Leshchenko, 2016.** Pre-project research cycle of the architectural environment of the small town's historical center as an analytical stage of it reconstruction. Underwater Technologies, Nr.03, 66-74.
10. **Leshchenko N.A., 2000.** Reconstruction principles for architectural constructions in historical ensembles of West Ukrainian small towns: dis. candidate. arch., 18.00.02, Kyiv, 225 (in Ukrainian).
11. **Leshchenko N.A., 2000.** Reconstruction principles for architectural constructions in historical ensembles of West Ukrainian small towns: thesis. dis. candidate. architect, 18.00.02, Kyiv, KNUCA, 20 (in Ukrainian).
12. **Mykola Osetrin., Olexandra Bondar, 2016.** Urban experience in the implementation of ring principle of the organization of traffic on the approaches to the bridges. Underwater Technologies, Vol.03, 75-82 (in Ukrainian).
13. **Parfenyuk, V.A., 2013.** Klevan, the portrait on the background of epochs. Historical and informational story. Exactly, SP, Lapchuk V.A., 552 (in Ukrainian).
14. **Resolution** of the Cabinet of Ministers of Ukraine Nr.878 dated 26 July **2001.** On approval of the list of historical settlements of Ukraine (in Ukrainian).
15. **Reconstruction** of historical cities of Ukraine: an overview, **1991.** Moscow, VNIITAG, 47 (in Russian).
16. **Sokolov L.I., 1992.** City center – functions, structure, image. Moscow, Stroyizdat, 353 (in Russian).
17. **Timokhin V.A., 1996.** Fundamentals of town planning: teaching manual. Kiev, ISMN, 216. (in Ukrainian).
18. **Iryna Ustinova, 2015.** Principles and strategies of sustainable development of regions. Motrol, Vol.17-8, 13-26.

Problems and directions of reconstruction of historical centers of small settlements of the Volyn region (on the example of Klevan, Rivne region)

Eugenia Kazakova

Summary. Development and revival of the Ukrainian historical past always was and still is the problem nowadays. Lots of small historical cities of Western part of Ukraine are in a bad state and needs space and functional reconstruction and updating. First of all it concerns the regeneration of the historic centers of small settlements, with the aim of creation in them developed infrastructure, improvement of standard of living, gravitation of tourist streams. Actuality of this question is considered in this article, substantive provisions and tasks are certain at forming of the renewed environment of the city.

Key words: regeneration, historical center of the city, development, revival, reconstruction.

Інформація

Про журнал

Міжнародний науково-виробничий журнал «Підводні технології: промислова та цивільна інженерія» (Underwater Technologies: Industrial and civil engineering) видається Київським національним університетом будівництва і архітектури спільно з асоційованими членами:

- ✓ інститутами Національної академії наук України
- ✓ Польською Академією Наук
- ✓ вищими навчальними закладами України, Німеччини, Польщі
- ✓ галузевими науково-дослідними інститутами
- ✓ громадськими організаціями та виробничими установами

Електронний архів

Зберігається на сайтах:

<p>www.uwtech.at.ua (журнал «Підводні технології»)</p> <p>www.usj.org.ua (веб-ресурс «Українські наукові журнали»)</p> <p>www.irbis-nbu.gov.ua (НБУ імені Володимира Вернадського)</p> <p>www.library.knuba.edu.ua, www.science.knuba.edu.ua (КНУБА)</p> <p>www.hydromech.org.ua/ru (Інститут гідромеханіки НАН України)</p> <p>www.igs-nas.org.ua (Інститут геологічних наук НАН України)</p> <p>www.geotm.dp.ua/index.php/ru (Інститут геотехнічної механіки імені Н.С.Полякова НАН України)</p> <p>www.itgip.org (Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України)</p> <p>www.panukraina.pl (Польська Академія Наук, Представництво в Києві)</p> <p>www.tu-freiberg (Technische Universität Bergakademie Freiberg)</p> <p>www.up.lublin.pl (Unwersytet Przyrodniczy w Lublinie)</p> <p>www.pollub.pl (Unwersytet Politechnika Lubelska)</p> <p>www.underwater.pg.gda.pl (Gdansk Unwersytet of Technology)</p> <p>www.geol.univ.kiev.ua/ua (Київський національний університет імені Тараса Шевченка)</p> <p>www.dnu.dp.ua/ru (Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара)</p> <p>www.kdu.edu.ua/ru/MAIN.php (Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського)</p> <p>www.kpi.ua/ru (НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»)</p> <p>www.lp.edu.ua (Національний університет «Львівська політехніка»)</p> <p>www.kpi.kharkov.ua (НТУ «Харківський політехнічний інститут»)</p> <p>www.opu.ua (Одеський національний політехнічний університет)</p> <p>www.pntu.edu.ua/ru (Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка)</p> <p>www.kntu.kr.ua (Центральноукраїнський національний технічний університет)</p> <p>www.nmu.org.ua (ДВНЗ Національний гірничий університет)</p>	<p>www.nuos.edu.ua (Національний університет кораблебудування імені академіка Макарова)</p> <p>www.nure.ua (Харківський національний університет радіоелектроніки)</p> <p>www.nung.edu.ua (Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу)</p> <p>www.nubip.edu.ua (Національний університет біоресурсів і природокористування)</p> <p>www.nuwm.edu.ua/ru (Національний університет водного господарства та природокористування)</p> <p>www.onmu.odessa.ua (Одеський національний морський університет)</p> <p>www.kstuca.kharkov.ua (Харківський національний університет будівництва і архітектури)</p> <p>www.nltu.edu.ua (Національний лісотехнічний університет України)</p> <p>www.ntu.edu.ua (Національний транспортний університет)</p> <p>www.khadi.kharkov.ua (Харківський національний автомобільно-дорожній університет)</p> <p>www.nuft.edu.ua (Національний університет харчових технологій)</p> <p>www.ru.knutd.com.ua (Київський національний університет технологій і дизайну)</p> <p>www.pgasa.dp.ua (Придніпровська державна академія будівництва та архітектури)</p> <p>www.kma.ks.ua (Херсонська державна морська академія)</p> <p>www.vmurol.com.ua (Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»)</p> <p>www.akadembud.org (Академія будівництва України)</p> <p>www.uan.ua (Українська академія наук)</p> <p>www.ndibv.kiev.ua (НДІ будівельного виробництва)</p> <p>www.niisk.com (ДНДІ будівельних конструкцій)</p> <p>www.ndibmv.kiev.ua (УНДІ будівельних матеріалів та виробів)</p> <p>www.undergeo.com.ua (НДІ Підземспецбуд)</p> <p>www.oceanmas.dp.ua (ООО Океанмашенерго)</p>
---	---

Імпакт-фактор журналу «Підводні технології», 05/2017 складає 2,33 (січень 2017)

Правила публікацій

В журналі публікуються оригінальні матеріали обсягом 8 – 12 сторінок, включно з таблицями, рисунками та списком літератури (склад авторів не більше трьох). Статті підлягають подвійному рецензуванню, у тому числі залученими редакцією незалежними фахівцями. 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 (uwtech@ukr.net) подають в електронному вигляді заявку, яка містить:

- 1) *Текст статті* (англомовної – з офіційно завереним перекладом)
- 2) *Довідку про авторів* (прізвище, ім'я, по-батькові; науковий ступінь, вчене звання; місце роботи, посада)
- 3) *Контактні відомості* (ідентифікатор ORCID, фото автора(ів) в .jpg, поштову й електронну адреси, мобільний телефон)
- 4) *Рецензію* (з повним ім'ям рецензента мовою, якою написано статтю)
- 5) *Угоду* (про вільне використання авторського права)

Вимоги до статті

Загальні правила:

- параметри аркуша: формат A4, верхнє та нижнє поля 2,5 см, лівє та правє 2 см; шриффт Times New Roman; колонтитули 1,3 см, абзацний відступ 0,5 см; розмір основного тексту 12, анотації і літератури 11, міжрядковий інтервал 1
- статтю (.docx) форматують у дві колонки по 8 см з проміжком 1 см; встановлюють автоматичне перенесення слів
- назви таблиць та підписи під рисунками (розмір 11) розміщують ліворуч графічного об'єкту; в кириличних текстах – дублюють англійською (рядком нижче)
- в списку літератури – не менше 20 посилань (у тому числі на журнал «Підводні технології»); після прізвищ зазначають рік видання
- в статтях, написаних кирилицею, в кінці дають анотацію англійською; в англомовних статтях – російською

Структурування:

- вихідні дані (шриффт Arial): назва рукопису (н/ж, ф.14), ім'я та прізвище автора (курсив, ф.12), місце роботи, поштова адреса, e-mail, ідентифікатор ORCID (ф.10); якщо авторів декілька – зазначають цифровими зносками; залишають по 5 пустих рядків між верхнім полем аркуша, вихідними даними і основним текстом статті
- структурні підрозділи статті:
 - АНОТАЦІЯ (150 – 200 слів)
 - КЛЮЧОВІ СЛОВА (5 – 8 слів)
 - ВСТУП
 - МЕТА І МЕТОДИ
 - РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ
 - ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ
- назва статті – інформативна та коротка; структура анотація – аналогічна структурі статті, без використання скорочень та аббревіатур, усі пояснення дають в тексті; посилання – не більше 5 джерел в одному місці
- таблиці та рисунки розміщують після першого згадування про них, великі (на повну ширину аркуша) – зверху або знизу сторінки (не розриваючи одночасно обидві колонки тексту)
- ілюстрації – у форматах .jpg, .tif з роздільною здатністю не менше 300 dpi

Оформлення:

- пишуть прямо – цифри, грецькі букви, кирилицю, тригонометричні функції (tan, sin та і.), усталені вирази (max, const та ін.), хімічні елементи; курсивом – англійські символи формул, римські цифри, номери експлікації
- між формулами, рисунками, таблицями і текстом залишають по 1 пустому рядку
- формули (розміром 12-9-7-16-12) набирають в Eq.3 або MathType 6.0 і центрують; нумерація – праворуч колонок; таблиці і рисунки – не перевищують область друку аркуша
- скорочені слова «Табл.» (Table), «Рис.» (Fig.) пишуть з великої букви (в тексті – світло, в назві – н/ж); текст на полі рисунків зводять до мінімуму, пояснення дають в підписах під рисунками
- список літератури дублюють англійською або за допомогою <http://translit.net>, вказуючи у дужках мову оригіналу (крім англійської, німецької, французької)
- в якості розділових знаків використовують тільки крапку і кому (стандарт APA); кількість сторінок (діапазон) вказують без їх позначення
- приклади оформлення статей у MS Word – на сайті www.uwtech.at.ua

Indexing

The journal «Underwater Technologies» is available in the following international databases:

Google academy – <http://scholar.google.com.ua>



Google Scholar is a freely accessible web search engine that indexes the full text or meta-data of scholarly literature across an array of publishing formats and disciplines. While Google does not publish the size of Google Scholar's database, third-party researchers estimated it to contain roughly 160 million documents as of May 2014 and an earlier statistical estimate published in PLOS ONE using a Mark and recapture method estimated approximately 80 – 90% coverage of all articles published in English

Index Copernicus – www.journals.indexcopernicus.com



IC Journals is a journal indexing, ranking and abstracting site. This service helps a journal to grow from a local level to a global one as well as providing complete web-based solution for small editorial teams. IC Journals helps to professionally manage your journal from your location and automatically delivers

JOUR Info – <http://jourinfo.com>



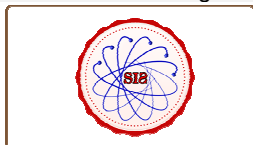
Jour Informatics is a non-profitable organization. It is a medium for introducing the Journals to the researchers. This service helps researchers to finding appropriate Journal for referencing and publishing their quality paper. In this global world, there are lots of Journals. So it is very difficult to find best relevant Journal which can be useful for us. Here anybody can find and also check the quality of particular Journal by Jour Informatics Rating, decided based on the different critical analytical parameters

Ei Compendex – <http://www.engineeringvillage.com>



Engineering Index was renamed “Ei Compendex”, and it is now published by Elsevier, which purchased the parent company Engineering Information in 1998. The name "Compendex" stands for COMPuterized ENgineering inDEX. Compendex currently contains over 18 million records as of July 28, 2015 and references over 5,000 international sources including journals, conferences and trade publications. Approximately 1,000,000 new records are added to the database annually from over 190 disciplines within the engineering field. Coverage is from 1970 to the present, and is updated weekly

Scientific Indexing Services – <http://www.sindexs.org>



SIS offering academic database services to researcher. SIS Provides Quantitative And Qualitative Tool For Ranking, Evaluating And Categorizing The Journals For Academic Evaluation And Excellence. The Evaluation Is Carried Out By Considering The Factors Like Paper Originality, Citation, Editorial Quality, and Regularity & International Presence

Global Impact Factor – <http://globalimpactfactor.com>



GIF the evaluation is carried out by considering the factors like peer review originality, scientific quality, technical editing quality, editorial quality and regularity

Ulrichs Web – <http://ulrichsweb.serialssolutions.com>



Ulrich's™ is the authoritative source of bibliographic and publisher information on more than 300,00 periodicals of all types academic and scholarly journals, Open Access publications, peer-reviewed titles, popular magazines, newspapers, newsletters and more from around the world. It covers all subjects, and includes publications

Web ИРБИС – <http://irbis-nbuu.gov.ua>



ИРБИС is the integrated library-informative system that is created on the base of the State scientific library of Ministry of higher educational establishments of the former USSR. One of the most systems, that is widely used by many libraries of Ukraine

The journal «Underwater Technologies» are published both in **online** and **print** versions

Автори публікацій

Vladislav Bogdanov – Senior Consultant of Serenidad Consulting Pty. Ltd., PhD Sciences, Senior Research Associate, Marsfield, NSW, Australia

Андрій Бондаренко – професор кафедри гірничих машин та інжинірингу ДВНЗ «Національний гірничий університет», доктор технічних наук, професор

Олександр Блінцов – докторант Національного університету «Львівська політехніка», кандидат технічних наук, доцент

Віктор Гайдайчук – завідувач кафедри теоретичної механіки Київського національного університету будівництва і архітектури, доктор технічних наук, професор

Євгенія Козакова – аспірант Київського національного університету будівництва і архітектури

Віктор Корицький – аспірант Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

Костянтин Котенко – аспірант Київського національного університету будівництва і архітектури

Наталія Купрієнко – завідувач лабораторією фізико-хімічних досліджень і будівельної кераміки державного підприємства «Український науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут будівельних матеріалів та виробів»

Петро Купрієнко – професор кафедри товарознавства і комерційної діяльності Київського національного університету будівництва і архітектури, доктор технічних наук, професор

Світлана Лаповська – заступник директора з наукової роботи державного підприємства «Український науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут будівельних матеріалів та виробів», доктор технічних наук

Сергій Лисак – викладач Миколаївського будівельного коледжу Київського національного університету будівництва і архітектури

Андрій Небатов – викладач ДВНЗ «Національний гірничий університет»

Сергій Половка – професор кафедри географії та методики її навчання Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини, доктор геологічних наук, професор

Олексій Приймаченко – доцент кафедри міського будівництва Київського національного університету будівництва і архітектури, кандидат технічних наук, доцент

Михайло Сукач – професор кафедри будівельних машин Київського національного університету будівництва і архітектури, доктор технічних наук, професор

Андрій Сірівчук – викладач Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

Іван Ткаченко – заступник генерального директора ТОВ «Міжнародний виставковий центр»

Денис Хохлін – докторант Київського національного університету будівництва і архітектури, кандидат технічних наук, доцент

Науково-виробниче видання

ПІДВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

ПРОМИСЛОВА ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

Випуск 05/2017

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

Sergii Bilyk
Volodymyr Gots
Mykola Nesterenko
Mykola Marienkov
Tetiana Shylova
Stan Tarnavskii
Валентин Ганкевич
Нелля Лещенко
Олексій Митропольський
Ігор Младецький
Юрій Жуков

Оригінал-макет виготовлено в редакції журналу «Підводні технології»

Лінгвістичний консультант *Олена Гавриленко*
Редагування і коректура *Віри Даніліної*
Макетування і обкладинка *Дмитра Міщука*

Редакція журналу

КНУБА, Повітрофлотський проспект, 31
лаб. корпус, оф. 2313, Київ, Україна, 03680
+38 044 2454217, +38 095 6297417
www.uwtech.at.ua, uwtech@ukr.net

Видавець і виготовлювач

Видавництво Ліра-К
Свідоцтво № 3981, серія ДК
вул. Ф.Пушиної, 27, оф. 20-22, Київ, Україна, 03115
+38 044 2479337, +38 044 4509196
www.lira-k.com.ua, lira-k@ukr.net

Підписано до друку 10.01.2017. Формат 60×84 1/8
Папір офсетний. Друк офсетний. Гарнітура Times New Roman
Ум.-друк. арк. 11,16. Наклад 100 прим.