

Київський національний університет
будівництва і архітектури

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

Виходить 2 рази на рік

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

Михайло Сукач, д-р техн. наук, проф.

ЗАСТУПНИК РЕДАКТОРА

Андрій Бондаренко, д-р техн. наук, проф.

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР

Дмитро Міщук, канд. техн. наук, доцент

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Олександр Безверхий, д-р фіз.-мат. наук, проф.

Володимир Блінцов, д-р техн. наук, проф.

Олена Волошкіна, д-р техн. наук, проф.

Віктор Гайдайчук, д-р техн. наук, проф.

Анатолій Гончар, чл.-кор. НАНУ,

д-р техн. наук, ст. наук. співр.

Дмитро Гончаренко, д-р техн. наук, проф.

Віктор Грінченко, акад. НАНУ, д-р техн. наук

Леонід Заміховський, д-р техн. наук, проф.

Олена Іванік, д-р геол. наук, проф.

Володимир Ковбаса, д-р техн. наук, проф.

Святослав Кравець, д-р техн. наук, проф.

Павло Кривенко, д-р техн. наук, проф.

Микола Кузьмінець, д-р техн. наук, проф.

Петро Куліков, д-р екон. наук, проф.

Олександр Менейлюк, д-р техн. наук, проф.

Олексій Митропольський, чл.-кор. НАНУ,

д-р геол.-мінер. наук, проф.

Володимир Михайлов, д-р геол. наук,

проф.

Володимир Надутий, д-р техн. наук, проф.

Іван Назаренко, д-р техн. наук, проф.

Сергій Половка, д-р геол. наук, проф.

Віталій Плоский, д-р техн. наук, проф.

Ігор Ребезнюк, д-р техн. наук, проф.

Володимир Самуся, д-р техн. наук, проф.

Володимир Симоненко, д-р техн. наук, проф.

Володимир Снісаренко, д-р техн. наук,

проф.

Геннадій Тонкачєв, д-р техн. наук, проф.

Олександр Трофимчук, чл.-кор. НАНУ,

д-р техн. наук, проф.

Олександр Холопцев, д-р техн. наук, проф.

Сергій Шнюков, д-р геол. наук, доцент

Роман Шульц, д-р техн. наук, проф.

Олександр Щипцов, д-р геогр. наук, проф.



ПІДВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

01/2015

ПРОМИСЛОВА ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

Заснований у серпні 2015 року

ПРОБЛЕМАТИКА

Геоінформаційні системи та управління
Розробка корисних копалин
Архітектура та будівництво
Механізація, автоматизація, енергетика
Інформаційні технології, логістика
Інженерні системи та екологія

МІЖНАРОДНА РАДА

Гюран Брюнтсе, д-р, ас. проф., голова Асоціації альтернативної енергетики SERO, Швеція

Ян Глінські, чл.-кор. ПАН, д-р, проф., Польща

Максим Гоц, д-р, техн. директор корпорації Skyjack Inc., Канада

Карстен Дребенштедт, д-р, проф., TU Фрайбергська гірнична академія, Німеччина

Крішна Каястха, д-р, координатор гідротехнічної комісії, Непал

Еугеніуш Красовські, д-р, проф., голова комісії з моторизації та енергетики ЛВ ПАН, Польща

Михайло Нікітенко, д-р техн. наук, проф., Білоруський НТУ, Білорусія

Паоло Орсіні, президент міжнар. компанії IRD Engineering, Італія

Генрик Собчук, д-р, проф., директор Представництва ПАН в Києві, Польща

Євген Харченко, д-р техн. наук, проф., Вармінсько-Мазурський університет в Ольштині, Польща

Атестовано Державною акредитаційною комісією України. Постановою Президії ДАК України внесено до переліку наукових фахових видань України

Затверджено Вченою радою Київського національного університету будівництва і архітектури 26 червня 2015 р., протокол № 35

Мови видання українська, російська, англійська

Для науковців, виробників та фахівців

Зміст

Геоінформаційні системи та управління

- Михайло Сукач**..... 3
Перша міжнародна науково-практична конференція «Підводні технології, 2015»
First international scientifically-practical conference «Underwater technologies, 2015»

Розробка корисних копалин

- Олена Іванік**..... 13
Моделювання впливу небезпечних геологічних процесів на функціонування транспортних природно-техногенних систем в умовах морського середовища
Modeling the impact of hazardous geological processes on functionality of offshore transporting nature-technical systems

Архітектура та будівництво

- Евгеній Горбатенко, Ирина Братасюк, Владимир Шаров**..... 23
Мобильные сооружения в береговой гидротехнике
Mobile building is in coastal hydraulic engineering
- Iryna Ustinova**..... 33
Theoretical principles of wave urbanistics
Теоретические основы волновой урбанистики

Інформаційні технології, логістика

- Григорій Іванченко**..... 43
Критичний стан взаємодії хвилі сильних розривів у воді з пружним екраном
Critical state of the wave interaction of heavy breaks in the water with elastic barrier
- Олександр Безверхий**..... 50
Динаміка підводних розгалужених тросових систем
The dynamics of submarine branched cable systems
- Николай Жук, Мирон Назарян, Юрий Стельмахов**..... 59
«Великий шелковый путь»: современные проблемы реконструкции
«Great silk road»: modern problems of reconstruction

Інженерні системи та екологія

- Кришна Каястха**..... 65
Применение скважины с гравийно-зонтичным фильтром уширенного контура
Application of bell type water well with wide gravel filter
- Тетяна Кривомаз**..... 77
Вплив техногенного навантаження на іхтіофауну коралового рифу
The impact of technogenic loading on ichthyofauna of coral reef
- Інформація**..... 84

Перша міжнародна науково-практична конференція «Підводні технології, 2015»

Михайло Сукач

Київський національний університет будівництва і архітектури
Повітрофлотський просп, 31, Київ, Україна, 03680, e-mail: msukach@ua.fm

Анотація. В Київському національному університеті будівництва і архітектури проведено Першу Міжнародну науково-практичну конференцію «Підводні технології, 2015». Представлено результати діяльності та перспективи міжнародного співробітництва науковців і фахівців галузі. Наголошено на актуальності подальших досліджень та впровадженню новітніх технологій з підводної тематики. Започатковано науково-виробничий журнал «Підводні технології. Промислова та цивільна інженерія».

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

Шановні читачі!

Ви тримаєте в руках новий журнал «Підводні технології. Промислова та цивільна інженерія», заснований Першою Міжнародною науково-практичною конференцією «Підводні технології, 2015», яка відбулася в Київському національному університеті будівництва і архітектури з 26 до 28 травня поточного року.

Форум присвячено глобальному впливу **води на життя та інноваційні технології**. Насамперед, це моніторинг і дослідження акваторій, видобування та збагачення корисних копалин, у тому числі з альтернативних джерел, гідротехнічне будівництво, архітектура і дизайн споруд, механізація та автоматизація технологічних процесів, інженерні системи й енергетика підводних робіт, інформаційне та програмне забезпечення, транспортування і логістика, біоресурси та екологія навколишнього середовища.

Організаторами конференції виступили Міністерство освіти і науки України, Київський національний університет будівництва і архітектури, Польська Академія наук (Представництво в Києві), Інститут гідромеханіки Національної академії наук України, Академія будівництва України (Рис. 1). Вона відбувалася за адресою: 03680, Київ, Повітрофлотський проспект, 31 у залі Вченої ради КНУБА, ауд. 466.

До організаційного комітету увійшли голова конференції, ректор КНУБА Петро Куліков, заступник голови професор Михайло Сукач, почесний співголова, директор Представництва ПАН в Києві Генрик Собчук, голова комісії з моторизації та енергетики Відділу ПАН в Любліні Єугеніуш Красовські (Рис. 2).

Науковий комітет очолили його голова професор Михайло Сукач, віце-голова, проректор з наукової роботи КНУБА Віталій Плоский, віце-голова, член-кореспондент ПАН Ян Глінські та професор ДВНЗ Національний гірничий університет (Дніпропетровськ) Всеволод Франчук.

Ідеєю форуму була інтеграція українських, закордонних фахівців і наукових шкіл з питань розробки теорії, проведення досліджень, створення нової техніки і методів, практичного застосування інноваційних енергоощадних та екологічно безпечних технологій. Головна **мета** конференції – аналіз та оцінка стану проблем в галузі підводних технологій, результати наукових і практичних досліджень та впровадження їх у виробництво.



Рис. 1. Запрошення й робоча програма конференції
 Fig. 1. Invitation and executable code of conference

З вітальним словом до учасників Першої Міжнародної науково-практичної конференції «Підводні технології, 2015» звернувся проректор з наукової роботи і міжнародних зв'язків професор Віталій Плоский (Рис. 3). Свої привітання висловили Директор Представництва Польської академії наук в Києві професор Генрик Собчук, голова комісії з моторизації і енергетики відділу ПАН в Любліні професор Еугеніуш Красовскі, Президент Академії будівництва України Іван Назаренко.

Пленарне засідання розпочалося виступом професора Київського національного університету будівництва і архітектури Михайла Сукача «Проблеми та перспективи розробки мінеральних ресурсів Світового океану».

Робота Міжнародної науково-практичної конференції «Підводні технології, 2015» відбувалася за шістьма **напрямами**, в яких розглядалися такі питання.

1. Дослідження дна акваторій:
 - характеристики морського і річкового дна
 - геодезія, картографія, геоінформаційні системи.
 - методи і технічні засоби вивчення ґрунту
 - дослідні судна і підводні апарати
2. Видобування корисних копалин:
 - методи і засоби розвідки родовищ
 - технології видобування корисних копалин
 - глибоководні ґрунторозробні машини
 - транспортування і логістика.
3. Будівництво та прокладання комунікацій:
 - днопоглиблювальні та очисні роботи
 - бетонування і влаштування фундаментів
 - конструкції та матеріали споруд
 - підводні трубопроводи і лінії зв'язку.
4. Гідротехніка і обладнання:
 - розробка та освоєння підземних вод
 - водозабірні свердловини і обладнання
 - рекультивация водонасичених ґрунтів.



Рис. 2. Відкриття Першої Міжнародної науково-практичної конференції «Підводні технології, 2015»
Fig. 2. Opening of the First International scientifically-practical conference is «Underwater Technologies, 2015»

5. Розробка та відновлення морських біо-ресурсів:

- морські промислові об'єкти
- знаряддя і технології вилову та збирання
- відтворення морських біоресурсів.

6. Безпечність робіт і екологія водного середовища:

- водолазне спорядження і мала механізація
- енергетичне та інформаційне забезпечення
- безпечність днопоглиблювальних робіт
- охорона середовища від забруднень.

Запропоновано три форми участі у конференції:

➤ очна, в якій учасники презентували свої доповіді та повідомлення;

➤ заочна, із представленням результатів досліджень в галузі підводних технологій та опублікуванням у наукових фахових виданнях;

➤ в якості відвідувачів, яким було надано можливість надати рекламу та зразки своєї продукції, здійснити трансфер новітніх технологій за тематикою конференції.

Для обміну науковим досвідом до університету завітали представники з 8 країн світу. Серед них науковці зі Швеції, Польщі, Китаю, Росії, Непалу, Ізраїлю, Угорщини, Латвії. Разом з українськими вченими



Віталій Плоский



Генрик Собчук



Еугеніуш Красовські



Михайло Сукач

Рис. 3. На пленарному засіданні
Fig. 3. On plenary meeting

вони представили результати своїх наукових і практичних досліджень та впровадження їх у виробництво.

Під час подальшої роботи заслухано 9 пленарних і 35 секційних доповідей, розглянуто та обговорено 2 дисертації на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук, а також докторську дисертацію Андрія Бондаренка «Наукове обґрунтування параметрів комплексів нового технічного рівня для гідромеханізованого видобутку й переробки зернистих корисних копалин», яку невдовзі після закінчення конференції успішно захищено на спеціалізованій вечній раді у ДВНЗ Національний гірничий університет (Дніпропетровськ).

В конференції прийняли участь вітчизняні та іноземні науковці, проєктанти, виробники, бізнесмени, спостерігачі, а також студенти, магістранти й аспіранти з вищих навчальних закладів. Укладено декілька попередніх договорів про наміри по співробітництву, налагоджено ділові контакти та зв'язки.

Перше секційне засідання відкрилося повідомленням професорів Петра Кулікова і Михайла Сукача «Про готовність України до вступу в Міжнародний консорціум з розробки та освоєння копалин Світового океану». Найбільш активні учасники конференції відтворили широку гаму проблем, специфіку й складність тематики нового форуму, сприяли продовженню досліджень, відтворенню та актуалізації розглянутих питань з підводних технологій (Рис. 4).

Насамперед, це професори Володимир Гришин, Володимир Снісаренко, директор НДІ Підземспецбуд Лев Гембарський, які надали слушну інформацію про «Деякі аспекти затоплення конструкцій новозведеного хвилелома в акваторії одеського порту», а також про «Існуючі й проєктовані штучні острови та їх призначення».

В доповіді «Мобільні споруди в береговій гідротехніці» старшого наукового співробітника Інституту гідромеханіки НАН України Євгена Горбатенко, Ірини Братасюк та директора ТОВ П'ятого гідротехнічного підводного загону Володимира Шарова зазначено специфіку їх використання, основні задачі вдосконалення берегового

захисту як у плані природоохорони в цілому, так і в сенсі виконання підводно-технічних робіт під час монтажу-демонтажу мобільних наносерегулювальних споруд.

Представник Міжнародної компанії «Krypton Ocean Group» Владислав Квятковський презентував «Розробку й використання підводного транспортного модуля для глибоководного видобування корисних копалин». Представлено технологію і технічні засоби, що дозволяють приступити до будівництва перших підводних транспортних модулів, які будуть використовуватись для глибоководного видобування поліметалевих ресурсів Світового океану.

Завідувач відділу Інституту механіки НАН України проф. Олександр Безверхий та Вікторія Корнієнко надали дві доповіді «Динаміка підводних розгалужених буксируваних тросових систем», «Коливання тросових систем з нелінійно-пружними характеристиками». В них було розглянуто динаміку і параметри коливань тросових елементів розгалужених конструкцій з урахуванням нелінійно-пружних характеристик матеріалів окремих елементів в умовах розвинутого морського хвилювання.

Доктор Кришна Каястха із Непалу в доповіді «Застосування свердловин з гравійно-парасольковим фільтром поширеного контуру» представив новий тип водозабірної свердловини, а також результати проведених досліджень з використанням фізичного і електричного моделювання в польових умовах. Професор Григорій Іванченко (КНУБА) звернув увагу на «Критичний стан взаємодії хвилі сильних розривів у воді з пружним екраном». Використовуючи нульове наближення променевого методу, чисельно досліджено перебудову геометрії сферичних фронтів підводної хвилі сильних розривів та зміну імпульсу, що переноситься ними, при подоланні хвилею пружного екрану.

Актуальними є представлені на конференції «Пропозиції про відтворення Дунайсько-Чорноморської ліхтеровозної системи» (доповідачі директор компанії «ПРО-ІНФО» Андрій Дмитренко та представник Міжнародного господарського суднохідного підприємства «Інтерліхтер» (Угорщина)



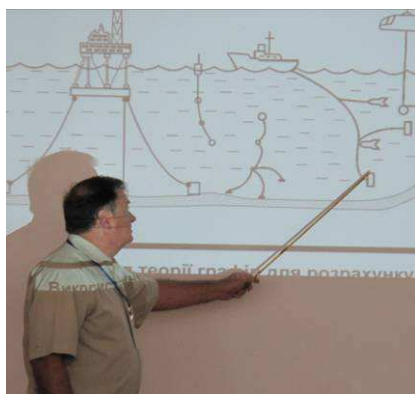
Андрій Бондаренко



Євген Горбатенко



Владислав Квятківський



Олександр Безверхий



Кришна Каястха



Юрій Стельмахов



Юлія Ульянівська,
Андрій Дмитренко



Олександр Трофимчук
(праворуч)



Григорій Іванченко,
Олександр Вольтерс



Ганна Чорнобай



Віктор Загривий



Відвідувачі конференції

Рис. 4. Перше секційне засідання
Fig. 4. First sectional meeting

Юлія Ульяновська, а також презентація технології намівання та спорудження штучних островів і портових споруд (на прикладі таможні в морі: Саудівська Аравія – Бахрейн).

Сміливу і наповнену технічними складностями подано ідею професора Миколи Жука, Мирона Назаряна (Славяно-Арійська академія) та к.т.н. Юрія Стельмахова (МНГЕО Інтер-Чорнобиль) щодо будівництва «Великого Шовкового шляху в суднохідному варіанті» з Китаю до Європи у вигляді комплексу гідротехнічних споруд, включаючи судноплавні канали від Китаю до Каспійського моря і від Каспійського до Чорного морів з тунелем під хребцем Кавказу.

Футуристичні та надзвичайно цікаві презентації студентів і магістрантів з Національного транспортного університету Ганни Чорнобай, Олександра Городецького та Віктора Загрівого, а також Романа Федорончука (ПАТ ДАК «Автомобільні дороги України»), які продемонстрували низку проєктів майбутнього: «Екологічний комплекс для очищення водного простору», «Футуродизайн плавучого науково-дослідницького центру екології та гідробіології», «Моделювання методу та робочого обладнання для підсилення основ транспортних споруд в умовах перезволожених ґрунтів».

Професор Роман Шульц з групою співавторів (Владиславом Павлоцьким, Олегом Телендієм, Павлом Старжинським, КНУБА) окреслили «Сучасний підхід до створення цифрових моделей дна внутрішніх водойм» та «Перспективи застосування лідарної батиметрії». Науковці Національного університету біоресурсів і природокористування професор Валерій Войтюк та доцент Іван Роговський розповіли про «Технічні засоби інформаційного забезпечення водного середовища в агропромисловому комплексі». Дмитро Кокарев і Леонід Ройберман представили «Енергоощадні технології підігріву води від ізраїльської компанії «Амкортек».

Заслухано доповіді з Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна» професора Віктора Малишева, доцента Валерія Косенка та Ніни Кушевської «Жароміцні композиції на основі нано-

порошкових силікатів тугоплавких металів для підводних конструкцій», «Корозійностійкі матеріали для пристроїв та обладнання, що працюють у хімічно-активному середовищі». Максим Кушнар'єв і Геннадій Тонкачев (КНУБА) розповіли про «Технологію влаштування монолітних стін у ковзній нерухомій опалубці», а Іван Назаренко, Анатолій Свідерський, Микола Ручинський та Олег Дєдов (КНУБА) – про «Наукові основи створення вібраційних систем з гідроприводом».

Цікавою інформацією про «Використання двигуна Стірлінга для промислового глибоководного видобування поліметалевих конкрецій в океані» поділився студент КНУБА Микита Мельниченко (керівники доценти Ігор Космінський та Юрій Баранов). Студенти Тетяна Погребняк, Яна Луценко і Вадим Печерський під керівництвом Миколи Клименко розглянули «Особливості приготування будівельних сумішей та виконання бетонних робіт при зведенні бетонних конструкцій під водою», а також «Призначення присадок підшипників кочення важко навантажених вузлів, що працюють в складних умовах при проведенні підводних робіт».

На засіданні **другої секції** представлено низку доповідей, презентацій і повідомлень з питань розробки, проєктування, випробування, досліджень та впровадження нової техніки і технологій (Рис. 5). Так, асистент Олександр Марченко і Світлана Комоцька (науковий керівник професор Михайло Сукач) розробили проєкт «Безтраншейного прокладання кабелів по дну протяжних водних об'єктів» та «Технології й обладнання для будівництва кабельних ліній по дну водоймищ».

Студенти Київського національного університету будівництва і архітектури Станіслав Лаврик і Микола Карпенко на чолі з професором Леонідом Пелевіним представили доповіді про «Особливості роботи бульдозерів з вібророзбудником при гідростатичному навантаженні» й «Розробку шельфів динамічними робочими органами». Доценти Євген Горбатюк та Володимир Волянчук разом зі студентом Артемом Владом обґрунтували «Математичні моделі рельєфу



Олександр Марченко



Євген Горбатюк



Дмитро Міщук



Микита Мельниченко



Микола Клименко



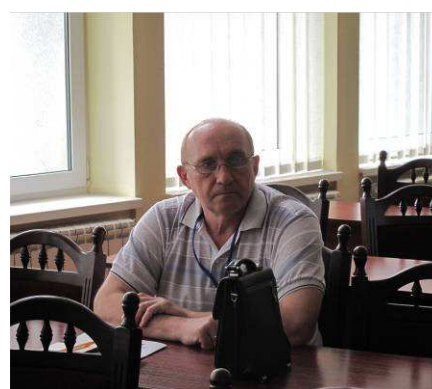
Тетяна Погребняк, Яна Луценко



Юрій Абрашкевич



Григорій Мачишин



Геннадій Тонкачєв



Олександр Костенюк
зі студентами



Максим Балака



Фото на згадку

Рис. 5. Друге секційне засідання
Fig. 5. Second sectional meeting

при взаємодії рушія будівельно-дорожніх машин з поверхнею ґрунту в прибережних зонах водоймищ».

Науковий секретар конференції Дмитро Міщук виконав «Кінематичне дослідження робочих рухів будівельного робота при проведенні підводних робіт», доценти Олександр Вольтерс, Василь Головань, Вячеслав Смірнов проаналізували «Обладнання для створення опор гідротехнічних споруд», Тетяна Щербина запропонувала «Використання вібраційних машин під час проведення підводно-технічних робіт».

Роботу Григорія Мачишина «Фінішна обробка гребних гвинтів полімерно-абразивними щітками» (науковий керівник професор Юрій Абрашкевич) на конференції було схвалено та через місяць потому захищено на засіданні вченої ради Д 26.056.08 при КНУБА й присуджено здобувачеві науковий ступінь кандидата технічних наук. Матеріали дослідження Олександра Тетерятника і Олександра Костенюка «Доцільність використання конусної фрези під час проведення підводних робіт» рекомендовано до виробничої апробації.

Професор Анатолій Фомін разом зі співавторами Олександром Костенюком, Тарасом Мартинюком, Олександром Тетерятником представили доповіді про «Зменшення опорів ґрунту зубу розпушника в режимі заглиблення робочого органу при розробці прибережних ґрунтів», «Підвищення ефективності розробки міцних матеріалів алмазними робочими органами в підводних умовах», «Динамічне руйнування підводних ґрунтів з керуванням потоками енергії у просторі й часі».

Доцент Володимир Рашківський та магістрант Микола Карпенко опікувалися «Технологічними особливостями механізованого руйнування підводних ґрунтів глибоководних озер» та «Використанням гідравлічного ударного молота для руйнування ущільнених шарів ґрунту під водою», а доценти Микола Пристайло й Микола Кузьмінєць – «Тривимірним моделюванням навантажень на металоконструкцію та робочим обладнанням плавучих засобів для розробки підводних ґрунтів». Доцент Олег Марков (Національний транспортний уні-

верситет) виклав «Теоретико-методологічні основи сфери сервісу технічних систем».

Низка доповідей стосувалася питань екології підводних робіт, це: «Методи очищення стічних вод нафтогазовидобувної промисловості», «Безпечність робіт і екологія водного середовища» асистентів Максима Балаки та Вячеслава Слободчикова, «Обладнання для очищення берегової лінії» й «Особливості охорони праці та безпеки життєдіяльності при роботі з водолазним спорядженням» авторів Олексія Москаленко, Олександра Тетерятника, Володимира Холявки.

Під час проведення конференції учасникам було надано можливість презентації своїх розробок, демонстрації зразків нової техніки, а також місце й час для реклами інноваційних технологій, залучення фахівців до переговорів, укладання двосторонніх і багатосторонніх угод про співпрацю, у тому числі міжнародних стосунків, демонстрації фахових та опублікованих видань (Рис. 6).

Відбулося нагородження Великою срібною медаллю Академії будівництва України переможців конкурсу в номінації «За кращу опубліковану роботу в галузі будівельної науки» 2014 року, яких привітав Президент АБУ академік Іван Назаренко.

За результатами роботи конференції 55 учасників відзначено персональними сертифікатами Першої МНПК «Підводні технології, 2015», про що розміщено повідомлення на університетському сайті www.knuba.edu.ua та Facebook.

Роботу конкурсної комісії очолював член-кореспондент НАН України, заступник директора з наукової роботи Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору професор Олександр Трофимчук. Переможцями конкурсу на кращу студентську науково-практичну роботу в 2015 році визнано команду Національного транспортного університету під керівництвом завідувача кафедри комп'ютерної, інженерної графіки та дизайну професора Миколи Кузьмінця.

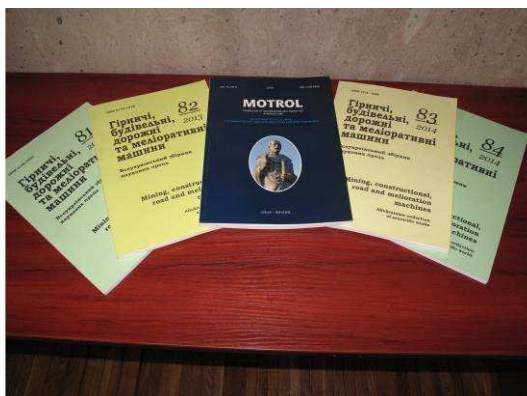
В резолютивній частині конференції запропоновано підготувати матеріали для



Міжнародні стосунки науковців



Велика срібна медаль Академії будівництва України



Спільні фахові видання



Вручення Сертифікатів учасникам МНПК



Переможці конкурсу «Краща студентська науково-практична робота, 2015»

Рис. 6. Підсумки роботи конференції
Fig. 6. Balances of the work of conference

реєстрації нового науково-виробничого журналу «Підводні технології. Промислова та цивільна інженерія» (адреса для листування: uwtech@ukr.net, правила оформлення статей – на www.uwtech.at.ua та в розділі Наукові видання сайту КНУБА). Інформацію про журнал розміщено на веб-ресурсі www.usj.org.ua та включено до бази даних наукових журналів України.

До складу редакційної колегії увійшли доктори, професори з 20 вітчизняних і 6 закордонних університетів (Німеччини, Польщі, Китаю та ін.); наукові співробітники 5 Інститутів Національної академії наук України, 3 галузевих Академій, представники 3 наукових закладів Польської академії наук; керівники та провідні фахівці з 10 вітчизняних і 12 закордонних науково-дослідних та виробничих організацій.

Кращі доповіді й презентації, представлені на конференції, рекомендовано до публікації у перших двох випусках журналу «Підводні технології. Промислова та цивільна інженерія» 2015 року. Водночас маємо можливість розмістити статті у двох міжнародних англійських журналах Motrol і Тека Польської академії наук (www.pan-ol.lublin.pl/wydaw-nictwa/Teka-Motrol.html), інтегрованих у Skopus. Матеріали до них приймаються за адресою motrol@ukr.net.

З огляду на виявлену зацікавленість й активність учасників, прийнято рішення про підготовку Другої Міжнародної науково-практичної конференції «Підводні технології, 2016» та розширення кола розглядуваних питань.

Оголошено конкурс на кращу науково-практичну роботу в галузі підводних технологій за категоріями «Кращий проект», «Краща презентація», «Краща публікація», серед студентів і фахівців. Розглядаємо оригінальні ідеї, дослухаємось до нестандартних і сміливих рішень, підтримуємо нові пропозиції та креативні думки!

Організаційний та науковий комітети конференції висловлюють щиро подяку,

доповідачам, відвідувачам та спонсорам, зокрема ректору КНУБА Петру Кулікову, який надав приміщення для роботи нашого форуму, проректору Віталію Плоскому – за надані сучасну оргтехніку і корисні поради, почесному співголови конференції Генрику Собчуку – директору Представництва Польської академії наук в Києві, який прийняв активну участь в організації заходу, Владиславу Квятківському – представнику міжнародної компанії «Krypton Ocean Group» за фінансову підтримку.

Дякуємо усім відвідувачам Першої Міжнародної науково-практичної конференції «Підводні технології, 2015», які надали посильну допомогу, полегшили її організацію й проведення, а також секретарям конференції Дмитру Мішуку, Світлані Комоцькій та іншим добродіям, які спряли розповсюдженню інформації про неї та залученню нових учасників.

FIRST INTERNATIONAL SCIENTIFICALLY-PRACTICAL CONFERENCE «UNDERWATER TECHNOLOGIES, 2015»

Mykhailo Sukach

Kyiv National University of Construction and Architecture
Povitroflotsky prosp., 31, Kyiv, Ukraine, 03680,
e-mail: msukach@ua.fm

Summary. In the Kyiv National University of Construction and Architecture the First International research and practice conference is conducted «Underwater technologies, 2015». The results of activity and prospect of international cooperation of scientists and specialists of industry are presented. It is marked actuality of further researches and to introduction of the newest technologies on submarine subjects. The scientific-production magazine «Underwater technologies. Industrial and civil engineering» is founded.

Key words: scientifically-practical conference, submarine technologies, international cooperation.

**Бажаємо усім міцного здоров'я, наснаги та запрошуємо до подальшої співпраці.
Хай трансфер творчих думок торує шлях до нових злетів!**

Моделювання впливу небезпечних геологічних процесів на функціонування транспортних природно-техногенних систем в умовах морського середовища

Олена Іванік

Київський національний університет імені Тараса Шевченка
вул. Васильківська, 90, Київ, Україна, 03022, e-mail: om_ivanik@gmail.com

Анотація. Досліджено вплив небезпечних геологічних процесів на функціонування транспортних природно-техногенних систем в умовах морського середовища. Наведено особливості геолого-геоморфологічної будови та районування Чорноморської западини згідно різнохарактерних впливів геологічного середовища на трубопровідні об'єкти. Запропоновано підходи до оцінки гідродинамічних навантажень на трубопроводи та проаналізовано процеси, які порушують рівновагу системи «геологічне середовище – трубопровід».

Ключові слова: небезпечні геологічні процеси, трубопровідні системи, Чорноморська западина.

ВСТУП

Україна як незалежна держава має високий геополітичний потенціал із значними перспективами переходу до тривалого сталого розвитку. Однією із основних передумов цього розвитку та визначення стану природно-соціальної системи держави та окремих регіонів є безпечне функціонування природно-техногенних систем (ПТС) та їх надійність. ПТС є комбінованими системами, що являють собою просторово-часову композицію взаємодіючих компонентів штучних і природних об'єктів. Формування та функціонування ПТС є результатом освоєння території, що обумовлено процесами взаємодії між техногенними об'єктами і природним середовищем, одним із компонентів якого є геологічне середовище. Визначення характе-

ру впливів геологічного середовища на транспортні ПТС, що є багатофакторними і об'єднують різні типи та класи процесів, потребує окремих аналітичних досліджень та створення розрахункових схем, що дозволять дослідити джерела цих впливів, їх механізми, інтенсивність, зони дії, і, як наслідок, визначити адекватні методи щодо захисту від їх негативного впливу.

Транспортні ПТС, що належать до регіональної та спеціальної категорій ПТС, являють собою лінійні комунікативні системи, техногенною складовою в яких виступають нафтопроводи, газопроводи, етиленпроводи, автомобільні дороги, залізниці, лінії електропередач та кабельні системи на суходолі та морському середовищі. Транспортні ПТС – це, як правило, протяжні лінійні споруди, що перетинають або побудовані у різних ландшафтно-кліматичних зонах із різноманітними геолого-геоморфологічними умовами та відповідним проявом різнохарактерних геологічних процесів. Очевидно, що їх функціонування обумовлюється інженерно-геологічними умовами територій прокладення, значною протяжністю, а також особливим впливом геологічного середовища та небезпечних геологічних процесів. По-перше, вибір трас прокладення лінійних ПТС у більшості випадків унеможливорює врахування значної кількості варіантів з метою запобігання інтенсивному прояву складних геологічних умов та процесів. По-друге, у зв'язку із значною довжиною

цих систем, є ризик впливу негативних геологічних процесів різного характеру, що передбачає обов'язковий комплексний аналіз геологічних факторів та відповідні засоби прогнозування цього впливу [14]. Крім того, у загальній структурі аналізу й оцінюванні ризику в ПТС одним із головних етапів є ідентифікація всіх джерел небезпеки та визначення подій, що можуть ініціювати виникнення аварій та надзвичайних ситуацій, а обґрунтування фізико-математичних моделей, розрахунок просторово-часових змін і прогнозування можливих наслідків аварій є одним із головних завдань.

ОЦІНКА ВПЛИВУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ТРУБОПРОВІДНІ СИСТЕМИ В УМОВАХ МОРСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА

Трубопровідні системи, прокладені на морському дні у межах різних морфологічних елементів, зазнають інтенсивної дії сучасних геологічних процесів екзогенного та ендегенного характеру. Вони є складними ПТС, функціонування яких знаходиться у прямій залежності від природних умов на морському дні як при їх укладці на дні, так і при експлуатації. У зв'язку з вартістю та унікальністю таких систем необхідні розробки спеціальних методів та засобів їх надійної експлуатації, що враховують їх відмінність від сухопутних трубопроводів. Функціонування морських трубопроводів повинне відповідати певному рівню безпеки персоналу та населення на суміжних територіях, а також екологічної безпеки.

Негативні впливи на трубопровідні системи враховуються на стадії їх проектування та будівництва і залежать, перш за все, від природних особливостей морських акваторій, а також пов'язані із глибиною прокладання, протяжністю, наявністю додаткових статичних та динамічних навантажень. При виборі траси морського трубопроводу враховують (поряд з іншими впливами) вплив геологічного середовища на ці техногенні споруди, пов'язаний, в першу чергу, з сейсмічною активністю і

можливою просадкою ґрунту, а також з рельєфом морського дна, гідродинамічними процесами (хвилі та течії), структурою придонних потоків (наприклад, у випадку суспензійних потоків). Особливо важливими для поведінки трубопроводу мають параметри міцності ґрунту на зсув і відповідні модулі деформації. Необхідно враховувати також властивості ґрунту (густина, вологість, межу текучості та пластичності, гранулометричний склад тощо). Проектувальні розробки повинні враховувати спосіб укладки трубопроводу на морське дно, дію зовнішнього тиску, більшу (у порівнянні із сухопутними трубопроводами) вразливість до змін початкового положення у процесі експлуатації тощо [9].

Згідно класифікації навантажень та впливів на морські трубопроводи [9], можна виділити, зокрема, дію вітру і льодових полів, гідродинамічні сили від хвиль та придонних течій. В окремий клас виділяються навантаження іншого характеру: внутрішній тиск в трубопроводі, вага погонного метра трубопроводу, зовнішній гідростатичний тиск, температура продукту, вага засипки та захисних конструкцій, сили, пов'язані з залишковими деформаціями внаслідок усадок ґрунту та особливостями будівництва, зокрема силами натягу при монтажі трубопроводу та динамічними навантаженнями внаслідок переміщення судна-трубоукладника.

На попередніх стадіях проектування та будівництва розрахунки ґрунтуються на якісних оцінках впливу всього комплексу несприятливих природних факторів на морські трубопровідні системи. При аналізі режиму експлуатації з'ясовано, що в стаціонарних режимах функціонування трубопроводів вплив геологічного середовища незначний, однак ризики неконтрольованої поведінки системи "геологічне середовище-трубопровід" із реальними загрозами його руйнування залишаються. Для виявлення небезпечних геологічних процесів у межах трас магістральних трубопроводів проводяться спеціальні роботи по обстеженню дна, придонних течій та технічного стану устаткування. Регулярне обстеження морських трубопроводів до-

зволяє виявляти наноси і насипи ґрунту, занурення трубопроводу в ґрунт, розмиви ґрунту, що зумовлюють провисання окремих ділянок труби, утворення вигинів і зрушень труби в придонному потоці, зминання і деформації оболонки труби, ушкодження та втрати погонної ізоляції, витоку струмів катодного захисту. Дія цих факторів призводить до зміни напружено-деформованого стану ділянок трубопроводу, втрати його стійкості та ін.

Так, прокладання трубопроводів у межах Чорноморської западини проводиться на різних глибинах, охоплюючи різні морфологічні елементи морського дна. На сьогодні найбільша глибина положення газопроводу у межах Чорного моря складає 2150 м (газопровід “Блакитний потік”), що на третину перевищує глибини закладення усіх існуючих трубопроводів на морському дні. Прокладання підводних кабелів також виконується на різних глибинах, що охоплюють як континентальний шельф, схил, так і абісальну улоговину. Так, наприклад, прокладання підводної волоконно-оптичної лінії зв'язку Росія-Україна-Болгарія BSFOCS (Black Sea Fiber Optic Cable System) сягала глибин 1400 м.

Головний вплив як на вибір трас, так і на функціонування трубопроводів і кабельних систем у межах Чорноморського басейну здійснюють гідрогенні геологічні процеси (вітрове хвилювання, придонні та вздовжберегові течії), сейсмічні явища, гравітаційні процеси, серед яких визначальне значення мають обвали, підводні зсуви та турбідитні потоки, виділення із субмаринних товщ та ін. Найнебезпечнішими чинниками є значна батиметрична диференціація морського дна, що часто викликає “провисання” труби, зокрема, при перетині ущелин, каньйонів та інших нерівностей рельєфу, які утворюються внаслідок ерозійних процесів та розмиву ґрунту під трубопроводом, а також зміщень трубопроводу під впливом підводних зсувів та суспензійних потоків.

На довговічність та експлуатаційні характеристики трубопроводів негативно впливають вібрації вільних прольотів труби, викликані придонними течіями та ко-

розійні процеси. При розробці технологічних схем та регламенту проведення моніторингу технічного стану трубопроводу необхідно враховувати те, що різні ділянки труби знаходяться у різних геолого-геоморфологічних умовах.

Безумовно, що характер прояву та поширення описаних небезпечних геологічних процесів та їх негативних впливів визначається геологічною будовою цього регіону.

Азово-Чорноморський басейн розташований у межах декількох крупних геотектонічних областей: дорифейської Східно-Європейської платформи, епікімерійської Скіфської та байкальської Мізійської плит. Зона зчленування Східно-Європейської платформи і Скіфської плити простежується у субширотному напрямі по системі глибинних розломів, має шовний характер і супроводжується платформними депресіями. Очевидно, морфоструктурний план басейну контролюється закономірністю розташування геотектонічних елементів.

Порівняльний аналіз сучасної морфологічної структури з дочетвертинною засвідчує успадкованість неотектонічних рухів та визначальну роль розломно-блокової структури шельфу, континентального схилу та глибоководної западини в розподілі потужностей та фацій як четвертинних відкладів, так і всього осадового чохла западини [4].

Чорноморська западина є внутрішньо-материковою депресійною структурою. У межах Чорноморської западини чітко виокремлюються наступні морфоструктурні елементи – шельф, материковий схил та абісальна улоговина. Вони характеризуються відмінною будовою морфологічних елементів морського дна та контролюють прояв різногенетичних екзогенних геологічних процесів, умови формування та особливості залягання осадових утворень у районах, умовними межами яких є зони активних (сейсмоактивних) розломів, що розділяють ділянки з різним неотектонічним режимом. За цим структурно-тектонічним районуванням виділено райони, які мають відмінні особливості геологічної будови та літолого-стратиграфічних

особливостей, і, відповідно прояву небезпечних геологічних процесів.

Перший – північно-західний шельф, континентальний схил та Західно-Чорноморська западина. Шельф цієї частини чорноморського басейну являє собою відносно мілководну, відносно вирівняну прилягаючу до суші частину морського дна, що у структурно-геологічному відношенні є продовженням суші і у більшості випадків має реліктовий субаеральний рельєф. Північно-Західний шельф Чорного моря є достатньо протяжним, має ширину від 60 до 200 км та глибину до 120...170 м, та характеризується добре розвинутою системою підводних каньйонів із значними глибоководними осадовими комплексами конусів виносу, сформованими під час регресивних фаз розвитку басейну (Рис. 1). Найбільшими каньйонами є Дунайський та Дніпровський [4], обидві системи каньйонів були сформовані седиментаційними потоками вздовж вісей тальвегів, що викликало практичну відсутність осадового матеріалу на їх флангах.

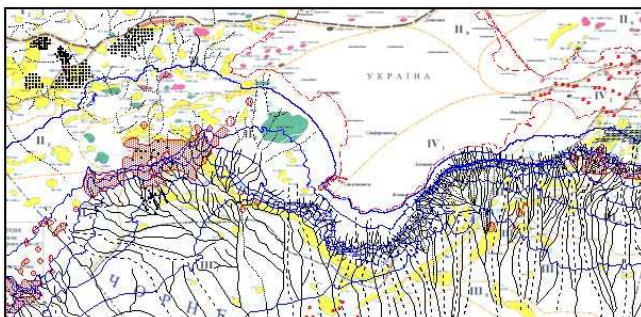
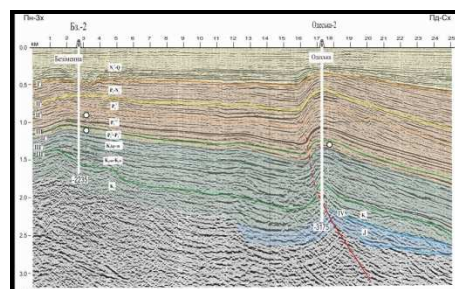


Рис. 1. Схема каньйонів українського сектору Чорноморського басейну, за даними В.І. Мельника та ДП «Чорноморнафтогаз»

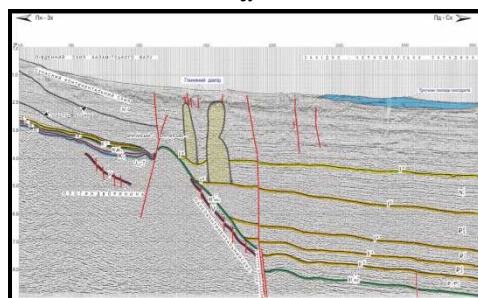
Fig.1. Scheme of canyons of the Ukrainian sector of the Black Sea, according to V. Melnik and "Chornomornaftogas"

Відклади антропогену з різкою стратиграфічною та кутовою незгідністю залягають на більш давніх утвореннях — від пліоценових до мезозойських. Потужності четвертинних відкладів змінюються залежно від морфоструктурних особливостей басейну від декількох сот метрів до повної їх відсутності. Саме відклади антропогену є основою розвитку більшої частини не-

безпечних геологічних процесів у межах морського дна та першочергово досліджуються при аналізі стійкості підводних транспортних систем. За сейсмічними даними в товщі антропогену виокремлюються сейсмостратиграфічні горизонти (Рис. 2), що розділяються чітко означеними незгідностями. Вони відповідають нижній ланці четвертинної системи (гурійський, чаудинський горизонти), середній ланці (древньо-евксинський, евксинсько-узунларський горизонти) та верхній ланці (карангатський та посткарангатський горизонти).



a



b

Рис. 2. Геологічна будова структур Безіменна, Одеська (а) та континентального схилу і північного борту Західно-Чорноморської западини (б) на регіональних профілях МЗГТ (метод загальної глибинної точки), за даними ТЦ ДГП «Укргеофізика»

Fig. 2. Geological structure of structures Nameless, Odessa (a) and the continental slope and the northern edge of the West Black Sea basin (b) on the regional profiles of total depth point method, according to "Ukrgeofizika"

Складну геологічну будову плейстоцен-голоценового чохла північно-західного шельфу Чорного моря характеризують такі прибережно-морські літогенетичні комплекси: алювіальні, морські, алювіально-морські, лиманно-морські, дельтово-морські, прибережно-морські, берегові, лагунно-лиманні, алювіально-дельтові.

Друга зона – Кримсько-Південно-бережна. Ділянка шельфу характеризується значною вузькістю, великою крутістю, складною геологічною будовою з яскраво вираженим зменшенням потужностей антропогенної товщі [4]. Зона зчленування із континентальним схилом ускладнена розривними порушеннями типу насувів. У межах континентального схилу виділяється декілька зон: перша – інтенсивного гравітаційного зносу в межах верхньої частини схилу (до глибин 350 м); друга – акумуляції алеврито-пелітових осадків, де накопичуються продукти гравітаційного зносу і сучасні осадки (до глибин 800 м). Третя зона – зона зносу і транзиту осадків – простежується до глибин 1700 м. Четверта – охоплює нижню частину схилу (до глибин 2000 м) і переходить у ложе западини. Поверхня цієї зони відносно рівна. Специфічним утворенням у межах цієї зони є Ласпинський глибоководний каньйон, що падає у бік Чорноморської западини та переходить у відносно широку пологу долину.

Мінливість седиментаційного процесу в цій активній зоні призвела до того, що на мезо-кайнозойських породах залягають різновікові і не повні розрізи четвертинних осадків. Їх стратиграфічний об'єм контролюється в більшій мірі успадкованими формами рельєфу.

Третя зона – це Прикерченський шельф, континентальний схил та Східно-Чорноморська западина. Шельф Керченського регіону є подовженням Північно-Західної рівнини Керченського півострову, представлений плоскою рівниною, яка поступово понижується у бік глибоководної западини. Шельфову зону та північну частину Східно-Чорноморської западини займають конуси виносів пра-Дону та пра-Кубані, що вплинули на фаціальну структуру кайнозойських відкладів. Шельф складений мезо-кайнозойськими осадовими утвореннями потужність яких становить понад 10...15 км. Континентальний схил Східно-Чорноморської западини по всій довжині ускладнений ступене-подібними перегибами, які залягають на різних рівнях. Четвертинні ступені (рівні) є результатом зміщення, переносу по поло-

го-нахиленому скіді та є свідченням структурно-тектонічних перебудов. Континентальний схил, зокрема склепіннева частина валу Шатського, за своїм структурним положенням значною мірою відповідає північно-західному шельфу. Четвертинні відклади мають мінливі потужності і залягають майже горизонтально.

Загалом четвертинні відклади мають спокійне моноклінальне залягання, але в зонах прикримського шельфу та континентального схилу (вал Андрусова, Западина Сорокіна, вал Шацького) четвертинні розрізи складно побудовані - відрізняються наявністю кутових незгідностей, шаруватістю, евстатичними коливаннями рівня моря, трансгресивно-регресивною ритмікою та змінними швидкостями осадконакопичення. Потужність мінлива і складає за сейсмічними даними від 0 до 2000 м. Наявні численні перериви, зокрема на схилах каньйонів деякі ланки четвертинних стратонів часто взагалі відсутні.

Досліджена геологічна будова Чорноморського регіону дозволяє виокремити структурно-тектонічні, літолого-стратиграфічні, геоморфологічні, геодинамічні та фаціальні критерії та чинники формування небезпечних геологічних процесів, що здійснюють негативний вплив на функціонування транспортних систем, прокладених на морському дні.

Таким чином, головні чинники впливу геологічного середовища на морські трубопровідні системи, що приурочені до складно-побудованих геологічних структур, такі:

- морфоструктурний план морського дна та його зміни вздовж нитки трубопроводу;
- батиметрична диференціація морського дна, у тому числі наявність морфологічних комплексів рельєфу, таких як каньйони, ущелини, промоїни тощо;
- складна літолого-фаціальна структура та відповідні фізико-механічні властивості донних осадків;
- морфолітодинамічні процеси на морському дні у різних батиметричних зонах;
- вплив екзогенних геологічних процесів, пов'язаних як з гравітаційними, так і з гідrogenними чинниками;

- сейсмічність.

У зв'язку з вищевикладеним моделювання екстремальних впливів геологічного середовища на трубопроводи потребує оцінки та аналізу впливу цих процесів на функціонування трубопровідних систем.

Визначення зовнішніх факторів і відповідних сил, що діють на підводний трубопровід, залежить від його положення на морському дні. При заглибленому положенні трубопроводу, засипці його ґрунтом та переміщеннях дна напружено-деформований стан трубопроводу визначається пружнопластичними деформаціями ґрунту (відповідні методи розрахунку можна знайти, наприклад, в роботах П.П. Бородавкіна [1-3]).

У випадку положення трубопроводу на дні або поблизу дна трубопровід обтікається придонним потоком, а його деформації зумовлені гідродинамічними силами.

Найбільш небезпечних впливом характеризуються гідродинамічні процеси, оцінка дії яких на трубопровідні системи наводиться далі. Вплив течій (як хвильових, так і придонних) на трубопроводи, прокладені на морському дні, призводить до розмиву ґрунту. Відомі випадки розмиву трубопроводів на ділянках завдовжки до 600 м.

Вплив течій на трубопроводи відрізняється від впливу на елементи опорних основ морських споруд. Це зумовлено положенням трубопроводів безпосередньо на межі розділу вода – ґрунт. Придонні течії характеризуються високим рівнем турбулентності. Область турбулентного руху займає відносно невелику за глибиною зону і може не враховуватися при розрахунках вертикальних елементів, але відіграє важливу роль при розрахунках стійкості труб, прокладених на морському дні [7].

Експериментальні дослідження дають наближену залежність для швидкості поблизу дна [7,12]:

$$v = v_1 (\bar{z} / \bar{z}_1)^{1/7},$$

де v та v_1 швидкості потоку на відстанях від дна \bar{z} та \bar{z}_1 відповідно. Якщо, наприклад, на відстані від дна $\bar{z}_1 = 12$ м заміряна швидкість $v_1 = 2$ м/с, то в межах висоти

трубопроводу діаметром 1,2 м, прокладеного безпосередньо на дні, швидкість буде змінюватись від 0 до 1,65 м/с.

Горизонтальне навантаження на одиницю довжини трубопроводів, розташованих біля дна, може бути визначеним за експериментально отриманою залежністю [7, 12]:

$$p_{TG} = 0,5 c_G \rho v_{ef}^2 D,$$

де c_G - коефіцієнт опору, який залежить не тільки від числа Рейнольдса та шорсткості циліндру, а і від зазору між дном і циліндром. Тут ρ - густина води або щільність багатофазної суміші, що складається з води, піску та уламків порід, яка зазнає руху біля дна. Експерименти продемонстрували, що при розташуванні трубопроводу безпосередньо на дні коефіцієнт c_G на 25...30% більше $C_x = 1,2$. При зазорі, що дорівнює діаметру трубопроводу, обидва коефіцієнти практично однакові; величина v_{ef} - ефективна швидкість в придонній області, що визначається за формулою

$$v_{ef}^2 = (7/9) v_1^2 (D / \bar{z}_1)^{2/7}.$$

Розподіл тиску по поверхні циліндра, розташованого біля дна, асиметричний відносно горизонтальної осі. Розрідження, що утворюється на верхній поверхні циліндру, викликає появу рівнодіючої тиску, направленої вгору. Значення цієї рівнодіючої, що припадає на одиницю довжини циліндра, оцінюють за формулою

$$p_B = 0,5 c_B \rho v_{ob}^2 D.$$

Якщо трубопровід розташований на певній віддалі від дна, то відповідно до теорії ідеальної рідини швидкість у зазорі повинна значно зростати (згідно із законом Бернуллі збільшення швидкості супроводжується зменшенням тиску) [7]. Таким чином, в ідеальній рідині під циліндром може виникнути розрідження, і рівнодіюча тиску матиме складову, направлену вниз. У реальних потоках такі ефекти спостерігаються при малій товщині пограничного шару [5, 6] (наприклад, в потоках газу). В придонних потоках вертикальні сили на трубу зазвичай діють вгору (відривають трубу від дна). Це пояснюється

тим, що при обтіканні циліндру на дні розрідження виникає тільки зверху, що створює вертикальну силу, направлену вгору, яка за певних умов може відірвати циліндр від дна. Ця сила не зникає і після відриву тіла від дна, а лише слабшає та поступово зменшується по мірі віддалення від границі потоку, обертається на нуль на відстані, при якій обтікання стає симетричним.

На величину і напрямок вертикальної сили істотно впливає шорсткість дна. Залежність коефіцієнта c_B вертикальної гідродинамічної сили від зазору і ступеня шорсткості дна і циліндру приведена на Рис. 3 [12]. При зазорі $l > 0,5D$ значення коефіцієнту c_B наближається до нуля. При значній шорсткості циліндра можливі відносно невеликі від'ємні значення c_B (гідродинамічна сила спрямована вниз).

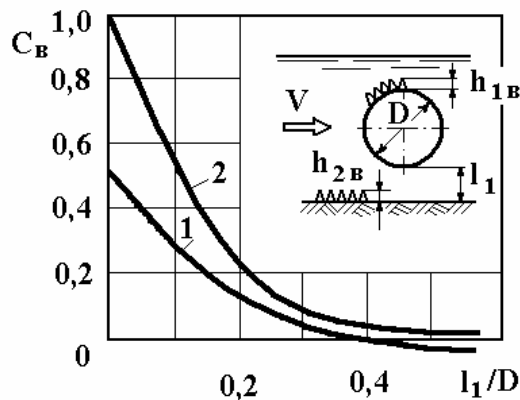


Рис. 3. Залежність коефіцієнта c_B від зазору і ступеня шорсткості дна і циліндру, за [12].

Fig. 3. Dependence of coefficient c_B from the gap and the degree of roughness and the bottom of the cylinder [12].

$$1 - \frac{h_{1B}}{D} = \frac{h_{2B}}{D} = 0.2; \quad 2 - \frac{h_{1B}}{D} = \frac{h_{2B}}{D} = \frac{1}{30}.$$

Вплив шорсткості донної поверхні на вертикальні сили, що діють при трубу, яка лежить на дні докладно проаналізовано в роботі [13]. Тут наведено результати експериментів для циліндра в пристінному потоці. Шорсткість донної поверхні моделювалась піском різних фракцій, гравієм та галькою. При великій шорсткості донної поверхні (зокрема, у випадку гальки) виникають гідродинамічні сили направлені вниз (до дна).

Вплив зазору $\bar{h} = h/d$ на гідродинамічні коефіцієнти c_F і c_B (h – зазор між циліндром та дном; d – діаметр циліндру) можна визначити за емпіричною формулою [5]

$$c_F = c_{F_{\bar{h} \rightarrow \infty}} + \frac{1}{3 + 10\bar{h}};$$

$$c_B = \frac{1}{1,25 + 3,5\bar{h}}.$$

Окрім стаціонарних (осереднених по часові), на трубу діють також нестаціонарні гідродинамічні сили, зумовлені формуванням вихорів за конструкцією. Вони досягають великих значень при малих зазорах та у випадках, коли труба розташована в придонному потоці з високим рівнем турбулентності, наприклад, над нерівним дном з істотною шорсткістю (гравій, галька) [13]. Вібрація трубопроводу істотно погіршує його експлуатаційні характеристики, надійність та довговічність [12]. Запобігти вібрації вдається при укладці труби в спеціальну траншею на дні. Для зменшення вібрації трубопроводів, викликаній відривом вихорів, на поверхні трубопроводів встановлюють інтерцептори, які істотно зменшують кореляцію відриву вихорів по довжині і відповідно зменшують нестаціонарні гідродинамічні сили, що викликають вібрацію. Зокрема, для подолання вібрації використовують спойлери, додаткові швелери, кріпильні деталі, інші надбудови на поверхні труби. Вплив цих деталей на стаціонарні значення гідродинамічних коефіцієнтів опору c_x і вертикальної сили c_v є істотним [5, 12].

Процес розмиву, що характерний для піщаних донних осадків, полягає у винесенні частинок осадку системою вихрових потоків, що виникають при взаємодії течії зі спорудою і дном. Зі збільшенням інтенсивності турбулентних вихорів зростає імовірність розмиву конструкції (особливо при наявності зазору між трубою і дном). Процес розмиву супроводжується зсувом труби в заглиблення, що формується внаслідок розмиву [10-12]. Далі, зазвичай, труба заноситься піском, дно приймає конфігурацію, при якій інтенсивні вихори не утворюються. При зростанні

швидкості придонної течії конструкція може бути розмита знову.

На великих глибинах розмив викликають в основному морські течії. На середніх і малих глибинах істотно впливають хвилі, які турбулізують потік в пристінній області (періодичний характер хвильового руху води сприяє ослабленню структурних зв'язків донного ґрунту).

Існує два головних способи попередження розмиву ґрунту: вибір конструкції фундаменту, що виключає можливість утворення значних циркуляцій води, і спеціальний захист морського дна від розмиву, укладка труби в траншею та її захист спеціальною засипкою. Питання про доцільність заглиблення підводної лінії вирішується з урахуванням надійності та безаварійності роботи споруди впродовж періоду експлуатації і порівнянні будівельних і експлуатаційних затрат. Умови експлуатації підводного трубопроводу, заглибленого в дно нижче за граничний профіль розмиву, досить сприятливі. На таку систему не впливатимуть гідродинамічні навантаження, окрім сил, зумовлених зовнішнім та внутрішнім тиском, а також перепадом температур. Збільшується також стійкість труби до корозії. Недоліком таких технологій є складність проведення ремонтних робіт, а також велика залежність від нестационарних геологічних процесів, зокрема, пов'язаних з підводними зсувами, формуванням придонних грязевих потоків, тектонічними процесами.

Якщо трубопровід розташовується на дні (або з зазором над дном), зниженню швидкості обтікання труби сприяють огорожі, бетонні блоки і плити, відсіпка з каменю або гравію. В умовах прокладки труб на піщаному дні можна використати явище самозаглиблення [12-13], коли при укладці труба розташовується біля дна з певним невеликим зазором, а далі, внаслідок розмиву дна під нею, труба зміщується в утворене заглиблення і заноситься піском (прикладом успішного застосування такої технології є експлуатація трубопроводу, прокладеного в датському секторі Північного моря).

Поперечні деформації підводного трубопроводу, зумовлені геологічними процесами та дією гідродинамічних сил в придонному потоці, необхідно враховувати на стадії попереднього проектування [8,9]. В розрахунках міцності та стійкості труби поряд з дією зовнішнього тиску слід враховувати також поперечний згин труби. До небезпечних ситуацій може привести провисання ділянки трубопроводу над морським дном та перегин нитки трубопроводу біля дна.

Місцева нестійкість морського трубопроводу (зокрема, газопроводу) пов'язана перш за все з дією великого зовнішнього гідростатичного тиску (колапс труби). Коли зовнішній гідростатичний тиск перевищує внутрішній, умови стійкості (для поперечного перетину труби) записуються у вигляді:

$$(p_e - p_i) \leq k_o p_{cr},$$

де p_e – зовнішній гідростатичний тиск; p_i – внутрішній тиск; p_{cr} – критичний зовнішній тиск при зминанні (колапсу) труби; k_o – коефіцієнт, що враховує овальність перетинів труб і дорівнює 0,7 для безшовних труб та 0,6 для труб, що зазнають холодного експандування [8, 9].

При дії зовнішнього тиску та згину умови місцевої стійкості визначаються з відношення:

$$\frac{(p_e - p_i)}{g} + \frac{\varepsilon}{\sigma} < \sigma$$

де ε – деформація згину в трубопроводі, ε_b – деформація згину, що відповідає місцевому зім'яттю стінки трубопроводу при чистому згині; g – понижуючий коефіцієнт, що враховує початкову овальність перетинів труб. В основі умови недопущення місцевого зім'яття лежить теорія стійкості замкнених кругових циліндричних оболонок при дії зовнішнього тиску та згину.

ВИСНОВКИ

У загальній структурі аналізу й оцінюванні ризику в транспортних ПТС одним із головних етапів є ідентифікація всіх джерел небезпеки та визначення подій, що можуть ініціювати виникнення аварій та надзвичайних ситуацій, при цьому головним завданням є обґрунтування фізико-математичних моделей, розрахунок просторово-часових змін і прогнозування можливих наслідків аварій. При оцінці впливу геологічного середовища на трубопровідні системи необхідно враховувати гідродинамічні навантаження на трубу біля дна та процеси, які порушують рівновагу системи «геологічне середовище – трубопровід». Вони істотно залежать від положення трубопроводу на морському дні і визначаються пружнопластичними деформаціями ґрунту та величиною гідродинамічних сил. На стадіях попереднього проектування та експлуатації необхідним є врахування поперечних деформацій підводного трубопроводу, зумовлених геологічними процесами та дією гідродинамічних сил. Оцінки цих впливів необхідні для визначення стійкості труби як замкненої кругової циліндричної оболонки при дії зовнішнього тиску та згину.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Бородавкін П.П., 1976.** Механіка ґрунтів в трубопроводному будівництві. Москва, Недра, 224.
2. **Бородавкін П.П., Березин В.М., 1987.** Сооружение магистральных трубопроводов. Москва, Недра, 471.
3. **Бородавкін П.П., Синюков А.М., 1984.** Прочность магистральных трубопроводов. Москва, Недра, 245.
4. **Гожик П.Ф., Багрий І.Д., Войцицький З.Я. та ін., 2010.** Геолого-структурно-термоатмогеохімічне обґрунтування нафтогазоносності Азово-Чорноморської акваторії Київ, Логос, 419.
5. **Девнин С. И., 1983.** Аэрогидромеханика плохообтекаемых конструкций. Справочник. Ленинград, Судостроение, 320.
6. **Диковская Н.Д., 1990.** Экспериментальное

и численное исследование поперечного обтекания цилиндра вблизи плоского экрана. Новосибирск, 21 с.

7. **Іванік О. М., Шевчук В.В., Горбань В.О., 2009.** Аналіз та оцінка впливу деяких небезпечних геологічних процесів на морські трубопроводи. Вісник. Київ. ун-ту. Сер. "Геологія", 47, 61–64.
8. **Мансуров М.Н., Черний В.П., 2005.** Методы расчета морских трубопроводов на прочность и устойчивость. Газовая промышленность, №2, 47-51.
9. **Мансуров М.Н., Черний В.П., 2005.** Современные методы проектирования морских трубопроводов. Газовая промышленность, №2, 43-46.
10. **Россинский К. И., Арбулиева К.М., 1977.** Обтекание тел в турбулентном потоке вблизи твердой поверхности. Водные ресурсы, № 6, 156-167.
11. **Россинский К. И., Любомирова К. С., 1972.** Основные закономерности движения речных наносов. Водные ресурсы, №2 (132), 132-141.
12. **Симаков Г.В., Шхинек К.Н., Смелов В.А., Марченко Д.В., Храпатый Н.Г., 1989.** Морские гидротехнические сооружения на континентальном шельфе. Ленинград, Судостроение, 328.
13. **Сребнюк С. М., Молодорич А.Н., Горбань В.А., Забора В.В., 1988.** Экспериментальные исследования отрывного обтекания цилиндра вблизи плоского шероховатого экрана. Совершенствование средств и методов экспериментальной гидромеханики судна для развития научного прогресса в судостроении. Ленинград, Судостроение, 138-139.
14. **Шевчук В.В., Іванік О.М., Лавренюк М.В., Лавренюк В.І., 2012.** Методичні засади моделювання впливу небезпечних геологічних процесів на функціонування трубопровідно-транспортних природно-техногенних систем. Геологічний журнал, №2, 66-73.

REFERENCES

1. **Borodavkin P.P., 1976.** Mekhanika gruntov v truboprovodnom stroitel'stve [Mechanics of soils in the pipeline construction]. Moscow, Nedra publ., 224 (in Russian).
2. **Borodavkin P.P., Berezin V.M., 1987.** Sooruzhenie magistral'nykh truboprovodov [Constructions of trans pipelines]. Moscow, Nedra publ., 471 (in Russian).

3. **Borodavkin P.P., Sinyukov A.M., 1984.** Prochnost mahystralnuch truboprovodov [Strength of trans pipelines]. Moscow, Nedra publ., 245(in Russian).
4. **Gozhik P.F., Bagriy I.D., Voytsytsky Z.Y. et al., 2010.** Geologo-structurno-termoatmogeohimichne obgruntuvannya naftogazonosti Azovo-Chornomorskoj akvatorii [Geological-structural and thermoatmogeochemical study of oil and gas prospecting of Azov-Black Sea basin. Kyiv, Logos Publ., 419 (in Ukrainian).
5. **Devnyn S.I., 1983.** Aehrogidromekhanika plokhobtekaemykh konstruksij. Spravochnik. [Aerohydrodynamic of bypass constructions. Directory]. Leningrad, Sudostroenye Publ., 320 (in Russian).
6. **Dykovskaya N.D., 1990.** Eksperimental'noe i chislennoe issledovanie poperechnogo obtekaniya tsilindra vblizi ploskogo ehkrana [Experimental and numerical study of a cross-flow cylinder near a flat screen]. Novosibirsk, 21(in Russian).
7. **Ivanik O.M., Shevchuk V.V., Gorban V.O., 2009.** Analiz ta otsinka vplyvu deyakykh nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv na mors'ki truboprovody [Analysis and evaluation of the effects of certain dangerous geological processes on the marine pipelines]. Bull. of Kyiv University, Geology, 47, 61-64 (in Ukrainian).
8. **Mansurov M.N., Chernykh V.P., 2005.** Metody rascheta morskikh truboprovodov na prochnost' i ustojchivost' [Methods for Calculating of the offshore pipelines on strength and stability]. Gas Industry, Nr. 2, 47-51 (in Russian).
9. **Mansurov M.N., Chernykh V.P., 2005.** Sovremennye metody proektirovaniya morskikh truboprovodov [Modern methods of design of offshore pipelines]. Gas Industry, Nr. 2, 43-46 (in Russian).
10. **Rossynskiy K. I., Arbulyeva K.M., 1977.** Obtekanie tel v turbulentnom potoke vblizi tverdoj poverkhnosti [Flow around bodies in a turbulent flow near the solid surface]. Water Resources, Nr. 6, 156-167 (in Russian).
11. **Rossynskiy K. I., Lyubomyrova K.S., 1972.** Osnovnye zakonomernosti dvizheniya rechnykh nanosov [The basic laws of motion of river sediment]. Water Resources, Nr. 2, 132, 132-141 (in Russian).
12. **Simakov G.V., Shhynek K.N., Smelov V.A., Marchenko D.V., Hrapatyi N.G., 1989.** Morskie gidrotekhnicheskie sooruzheniya na kontinental'nom shel'fe [Marine hydraulic structures on the continental shelf]. Leningrad, Sudostroenye publ. (in Russian).
13. **Srebnyyuk S.M., Molodorych A.N., Gorban V.A., Zabora V.V., 1988.** Eksperimental'nye issledovaniya otrivnogo obtekaniya tsilindra vblizi ploskogo sherokhovatogo ehkrana. Sovershenstvovanie sredstv i metodov ehksperimental'noj gidromekhaniki sudna dlya razvitiya nauchnogo progressa v sudostroenii [Experimental studies of separated flow around a cylinder near a rough flat screen. Perfection of means and methods of experimental fluid mechanics vessel for the development of scientific advances in shipbuilding]. Leningrad, Sudostroenye publ., 138-139 (in Russian).
14. **Shevchuk V.V., Ivanik O.M., Lavrenyuk M.V., Lavrenyuk V.I., 2012.** Metodychni zasady modelyuvannya vplyvu nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv na funktsionuvannya truboprovodno-transportnykh pryrodno-tekhnichnykh system [Methodical principles of modeling of dangerous geological processes on pipeline transporting systems]. Geol. Mag., Nr.2, 66-73 (in Ukrainian).

MODELING THE IMPACT OF HAZARDOUS
GEOLOGICAL PROCESSES ON FUNC-
TIONALITY OF OFFSHORE TRANSPORTING
NATURE-TECHNICAL SYSTEMS

Olena Ivanik

Taras Shevchenko National University of Kyiv
Vasilkivska str., 90, Kyiv, Ukraine, 03022,
e-mail: om_ivanik@gmail.com

Summary. The consideration is given to the modelling of the influence of dangerous geological processes on the functionality of the offshore transporting systems in the marine geological environment. The peculiarities of geological and geomorphological structure and zoning of the Black Sea basin are considered according to the varying influences of geological environment on the pipeline facilities. Geological hazards distorting the balance in the system “geological environment–pipeline” in the offshore zones are defined. It is proved that the loads and influences depend on the pipe location on the sea bottom. They characterized by the elastic-plastic strain of the soil and hydrodynamic forces. Calculations of these effects are belong to the theory of stability of secluded cylindrical shell.

Key words: geological hazards, pipeline systems, Black Sea basin

Мобильные сооружения в береговой гидротехнике

Евгений Горбатенко^{}, Ирина Братасюк^{*}, Владимир Шаров^{**}*

^{*} Институт гидромеханики НАН Украины
ул. Желябова, 8/4, Киев, Украина, 03680, e-mail: nairamdal92@yandex.ru
^{**} ООО 5-й отряд гидротехнических работ
ул. Электриков, 4, Киев, Украина, 04071, e-mail: podvodnik@bigmir.net

Аннотация. В статье научно обосновано и предложено применение мобильных сооружений в практике береговой гидротехники.

Ключевые слова: берегозащита, землечерпание, мобильные сооружения.

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа представлена в виде обзорно-постановочной статьи без детального изложения особенностей исследования гидродинамических процессов. «Отправной точкой» является фактор риска в части гидродинамики на акваториях Азовского и Чёрного морей. В силу плохо прогнозируемого и скачкообразно повышающегося уровня Мирового океана [1] требуется совершенствование берегозащиты. Примером необходимости принятия экстренных мер по защите от разрушения расположенных у уреза воды сооружений служит подъём уровня Каспийского моря.

Официальные нормативные документы [2], научные расчёты, эксперименты на гидродинамических стендах и работа сооружений в естественных условиях показывают высокую значимость даже незначительного повышения уровня воды. Так, увеличение заглубления гребня подводного волнолома на 5% (в натуре это

порядка 5 см.) при определённых условиях приводит к уменьшению коэффициента гашения волны до 10% и, как следствие, вызывает большие негативные изменения в литодинамике берега. Настоящая задача – быть готовым к новым проявлениям таких природных явлений.

Однако, например, простое повышение отметки гребня подводного волнолома «на упреждение» в силу причин экономического и экологического характера не рационально. Особого внимания заслуживает несовершенство нормативно-правовой базы и сложившаяся практика природопользования в береговой зоне.

В настоящей работе приведен обзор состояния берегозащиты на отдельных участках побережья в динамике последних лет, отмечены недостатки и предлагаются пути их устранения, сделана попытка уменьшить проблему путём применения нового вида берегозащитных сооружений, а именно – мобильной конструкции.

Как строительство, ремонт и реконструкция берегозащитных сооружений традиционной конструкции, так и монтаж-демонтаж мобильных сооружений сопряжён с необходимостью совершенствования производства подводно-технических работ, а внедрение их в практику предполагает выполнение комплекса научных исследований гидрولитодинамических

процессов с целью разработки должных Рекомендаций по их созданию и использованию.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изначальной целью настоящей работы является формирование обзора состояния существующей берегозащиты с выявлением недостатков в её работе и определение видов сооружений, которые подлежат возможной модернизации. Конечная цель заключается в рассмотрении имеющихся научно-технических разработок и экспериментальных исследований по мобильным берегозащитным сооружениям, необходимых для составления программы решения проблемы.

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕКОГНОСЦИРОВОЧНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ БЕРЕГОЗАЩИТЫ

В порядке выборочного рекогносцировочного обследования объектов берегозащиты были выбраны два участка: один на черноморском, другой на азовском побережье. Первый располагается на так называемом «крылатом» мысе. На создание этого памятника природы потребовалось около пяти тысячи лет. Рассматриваемая береговая форма развивалась в естественных условиях, практически не нарушаемых техногенным вмешательством. Работы по инженерной защите участка береговой территории начались в 1973 году. Из ряда вариантов берегозащиты, предложенных Институтом гидромеханики АН Украины, заказчик выбрал самый капиталоемкий – в виде камненабросных бун, облицованных железобетонными плитами (Рис. 1).

Позитив в решении вопроса заключался в отсутствии необходимости в ближайшие несколько лет вести ремонтные работы и достаточно надёжная на тот период времени защита пляжа от размыва. Однако полностью была игнорирована предсказываемая учёными опасность разрушения прилегающей заповедной зоны.

Возведённые буны полного профиля перекрыли вдольбереговую поток наносов, поддерживающий существование прилегающей косы, и стали образовываться прорвы, меняться водный режим находящегося под её защитой заповедника. Кроме того, пляж в некоторых межбунных пространствах подвержен влиянию застойных зон в виде скопления водорослей (Рис. 2).

Положение осложнилось интенсивным размывом прилегающего незащищённого берега, что широко известно как явление «краевого эффекта», возникающего при перехвате сооружением вдоль берегового потока наносов. Хозяин берега стал многолик, да и былых финансовых средств не стало. Например, чего стоит опубликованное в интернете объявление: «Продаётся волнорез ...»!!! Это народное название бун, которые поселковый Совет распродал «в розницу»! По той же причине далее буны стали возводиться в виде каменной наброски без соблюдения норм по крупности. Первые несколько бун, возведённые «хозспособом», короткие, распластанного профиля. Этот, хотя и неофициальный, тип сооружения позволил обеспечить некоторую миграцию наносов и ослабить краевой эффект. При строительстве последующих бун этот позитивный элемент был утрачен. Рекогносцировочное обследование объекта проводилось ежегодно в течение четырёх лет. Кроме названных недостатков была установлена такая динамика процессов:

- камненабросные буны, облицованные железобетонными плитами имеют тенденцию к разрушению бетона и сползанию плит (Рис. 3);
- камненабросные буны без облицовки плитами проседают в грунт, а камень волновым потоком разносится по пляжу (Рис. 4).

Участок берегозащиты на азовском побережье был обследован в 2014 году. Здесь, кроме хаотично и часто безграмотно обустроенного крепления берега, выявлено наличие и достаточно хорошую работу грунтонаполненных оболочек из синтетической ткани (Рис. 5).



Рис. 1. Изначальный вид облицованной железобетонными плитами буны из набросанных камней
Fig. 1. The initial view of the tiled concrete slabs groins of scribbled stones



Рис. 2. Засорённый водорослями пляж
Fig. 2. Is clogged with algae beach



Рис. 3. Разрушение головной части буны
Fig. 3. Destruction of the head of the groyne



Рис. 4. Засорение пляжа камнем
Fig. 4. Clogging beach stone

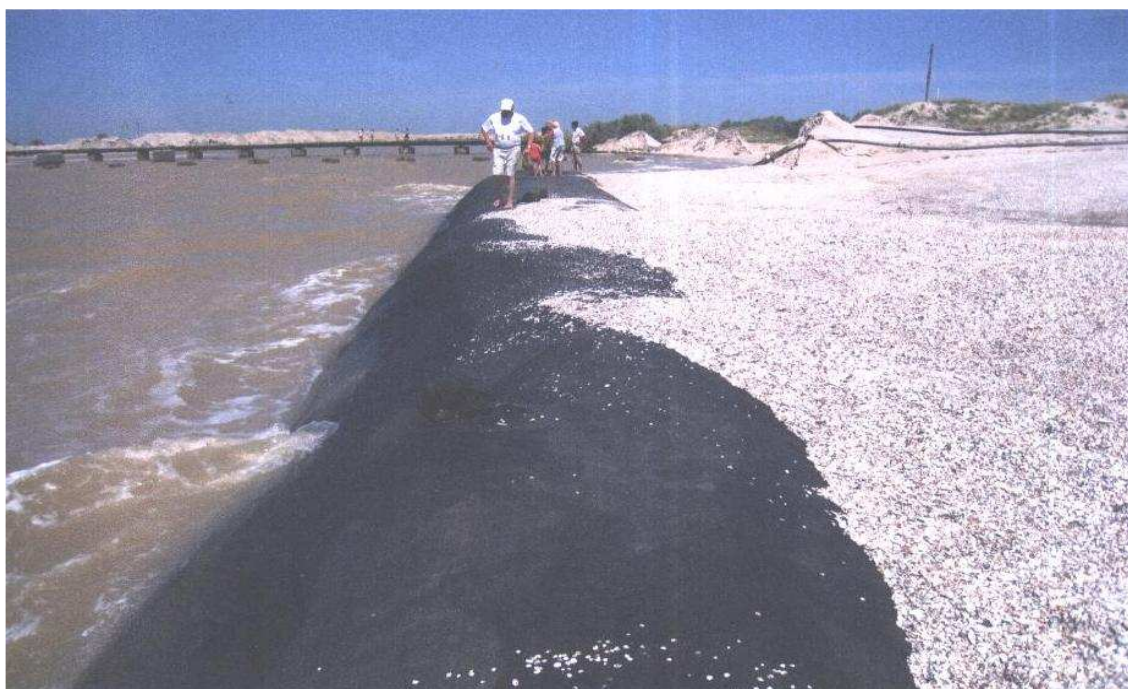


Рис. 5. Крепление берега наполняемыми грунтом оболочками
Fig. 5. Fixing the coast is filled with ground shells

Очевидно, что эти сооружения были возведены быстро и без участия мощной землеройной техники или плавсредств большого водоизмещения. Однако отсутствие взаимосвязи научного видения [3] и порочной практики берегозащиты породили здесь серьёзные проблемы.

Производство сопутствующих подводно-технических работ (устройство каменных постелей под камненабросные бун, разравнивание камня под облицовочные железобетонные плиты, водолазное обследование состояния сооружений и т.д.) значимо как в стоимостном выражении, так и во времени.

Не исключено, что выявленные недостатки берегозащиты на обследованных участках вызваны упомянутыми сложностями.

ПЕРЕЧЕНЬ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПОДЛЕЖАЩИХ МОДЕРНИЗАЦИИ

Мобильные конструкции можно использовать в виде бун,

струенаправляющих и защитных дамб, плотин, надводных и подводных подпорных стенок, для временного увеличения габаритов сооружений из традиционной конструкции [4].

На побережье вблизи уреза воды располагаются отдельные инженерные сооружения и их защита от волнового потока имеет значение государственной важности. Например, можно предположить, что объект, находящийся под защитой бун, в настоящее время находится в безопасности, но в случае сверхрасчётного повышения уровня моря потребуются принятие экстренных мер по недопущению размыва грунта у его основания.

Особо широкие возможности и целесообразность использования мобильных сооружений представляются при производстве подводных землечерпательных работ [5]. Это морские судоходные каналы и акватории для отстоя судов, каналы водозаборных сооружений, траншеи под кабели или трубопроводы различного назначения, а также котлованы под гидросооружения. Во всех перечисленных случаях существует

проблема локализации (оконтуривание) свалок грунта и крепления откосов выемок и насыпей. Например, при строительстве или зачистке морского канала тысячи кубометров грунта часто по предписанию рыбнадзора надо вывезти на отдалённые акватории (нельзя засорять нерестилища и подводную флору). Но и располагать подводные свалки грунта непосредственно у подводных выемок нельзя из-за вероятности их сползания под воздействием волн и течений.

Существует ещё одно направление применения мобильных сооружений – перманентное формирование генерализованной линии берега посредством искусственного формирования таких макроформ как, например, коса или томболо. При этом необходима цикличная перестановка временных нанососорегулирующих сооружений, а осуществление такой технологии возможно только посредством мобильных конструкций.

Когда вопрос касается защиты прибрежных природно-парковых зон – решение в пользу временно используемых мобильных сооружений безальтернативно. В условиях катастрофических паводков или нагонов требуется защита не только берега от размыва, а и территорий от временного затопления, сопровождающегося интенсивным отложением наносов и мусора.

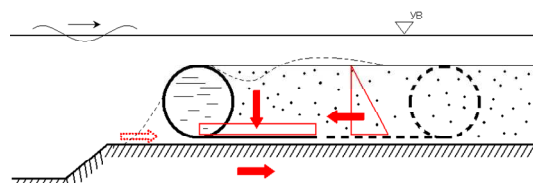


Рис. 6. Схема работы водонаполненной оболочки

Fig. 6. Scheme of the water-filled shell

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМ МОБИЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В Институте гидромеханики НАН Украины разработан ряд конструкций мобильных наносорегулирующих сооружений (МОНАРС), три из которых составляют основу решения поставленных выше задач.

Первое [6] – представляет собой цилиндрическую водовоздухонаполняемую оболочку из мягкого синтетического материала. По длине оболочки прикреплён фартук-анкер. Оболочка оснащена патрубками для заполнения её водой и продувки воздухом, а также якорными устройствами (Рис. 6). Сооружение может работать как подпорная стенка, когда обратная засыпка располагается на фартук-анкере.

Демонтаж сооружения производится путём продувки оболочки воздухом и тогда та всплывает на поверхность водоёма. Особенностью расчёта конструкции является определение расчётной ширины фар тука-анкера, достаточной большой для обеспечения устойчивости сооружения под воздействием активного давления грунта обратной засыпки (в рабочем положении) и достаточно малой для возможности извлечения его из-под обратной засыпки под воздействием подъёмной силы продутой воздухом оболочки (при демонтаже). При этом следует учитывать вид грунта, величину слоя обратной засыпки и форму её поверхности.

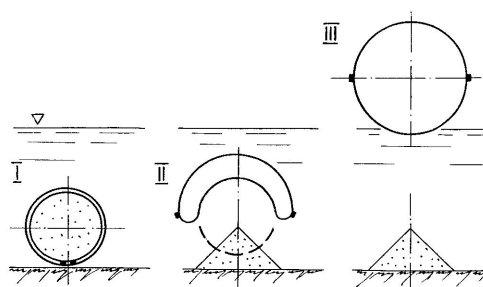


Рис. 7. Схема демонтажа грунтонаполняемой оболочки

Fig. 7. Driving dismantling inflatable ground shell

Такое мобильное сооружение особо приемлемо при ремонте подводных трубопроводов или кабелей [7], когда заносимость котлована больше производительности используемых средств малой механизации (гидромонитора или грунтососа), а также на мелкой воде в качестве струенаправляющей дамбы. В таком варианте сооружение прошло промышленную проверку в условиях водохранилища на строительном объекте отряда подводных и гидротехнических работ.

Второе представляет собой цилиндрическую грунтонаполняемую двухполостную оболочку из мягкого синтетического материала [8]. Путём складывания однополостной оболочки специальным образом (Рис. 7) получается две полости: внутренняя – грунтонаполняемая, и наружная – для продувки воздухом при демонтаже. Кромки внутренней оболочки скрепляются легкораскрывающимся швом «парашютного» типа. Внутренняя полость этого типа сооружения может заполняться, например, песком посредством грунтососа. Область применения достаточно широкая. Третье – представляет собой вертикальный

экран из синтетической плёнки, оснащённый поплавками и специальным якорным устройством [9]. Его назначение – защита акваторий от взвеси при производстве землечерпательных работ или отсыпки грунта в воду. Область применения ограничена условием наличия течений.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРО-ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

Конечным результатом исследований является оценка работоспособности отдельных видов и типов МОНАРС в сочетании с технологией установки в проектное положение, передислокации и демонтажа. Так, например, в волновом лотке исследован вариант применения мобильной конструкции для повышения отметки гребня подводного волнолома. В натуральных величинах глубина наполнения лотка составляла 0,3 м, ширина гребня модели волнолома варьировалась от 0,02 м до 0,70 м, а заглупление гребня - от -0,04 м до +0,09 м. Величина заглупления сокращалась путём укладки на гребень волнолома одиночных и парных цилиндрических оболочек разного



Рис. 8. Вид модели в волновом лотке

Fig. 8. View the model in the wave tray

диаметра (Рис. 8). Фронтальный откос придонной части волнолома был выполнен

множество условно фиксированных параметров (Const.) и ряд независимых

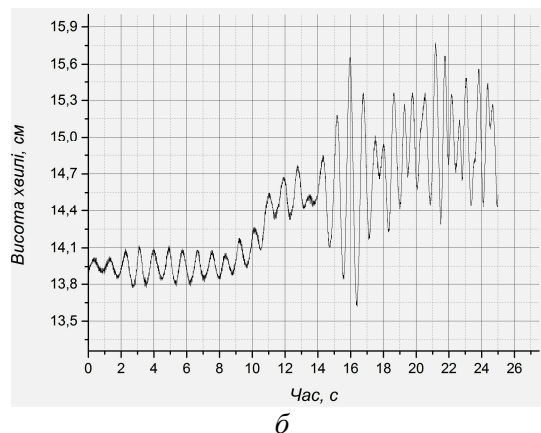
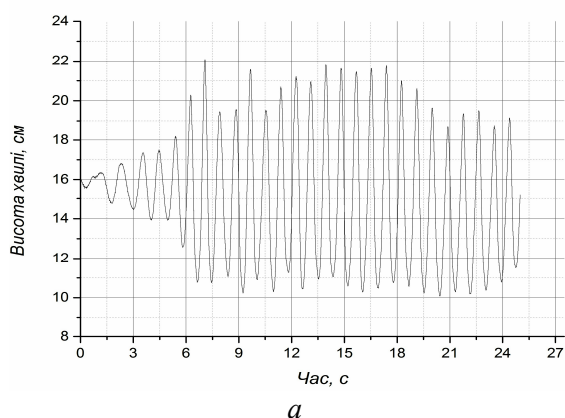


Рис. 9. Пример фиксации параметров волны: *a* – перед волноломом; *б* – после волнолома
Fig. 9. An example of fixing parameters of the wave: *a* – Prior to breakwater; *б* – Post of breakwater

под углом 45° , а тыльная грань – вертикальной. Волны продуцировались с периодом от 0,7 с. до 1,5 с. и относительной длиной волны от 7 до 70. Пример характера прохождения волн над волноломом представлен на Рис. 9. Всего выполнено 112 опытов.

Процесс взаимодействия волн с затопленным волноломом относится к категории сложных, что порождается такими физическими явлениями как отражение, трансформация и диссипация энергии.

Наиболее важной областью является мористый край волнолома, где набегающие волны, частично отразившись от сооружения, вызывают взаимодействия нелинейного характера: генерацию гармоник, флуктуацию, возникновение вихрей. При сходе трансформированной волны с препятствия возникает процесс отделения волн высших частот от волн основной частоты. Этот процесс приводит к образованию широкого энергетического спектра, уменьшение высоты и изменение величины периода волн. При исследовании повышения уровня гребня подводного волнолома посредством пары цилиндрических оболочек имеет место

переменных. Отдельные варианты сочетания последних позволили выявить исключительно высокую степень диссипации энергии волн в виде эффекта всплеска при встрече набегающей и отражённой волны (Рис. 10).

Выявлено, что ввиду невозможности точного описания полного спектра колебания разбитых волн линейными математическими моделями определение величины отражения волн можно ориентировочно установить посредством эмпирического соотношения [10]

$$K_R = 0,25 \exp(-0,75 z/d),$$

что при планировании эксперимента служило определённым ориентиром.

Оценка работоспособности производилась в сопоставлении с сооружениями традиционной конструкции из бетонных блоков. Таким образом, на основании подтверждённых экспериментом данных можно сделать вывод, что геометрическая характеристика волнолома (в т.ч. цилиндрического сечения) и локальная топография дна являются основной причиной трансформации и «гашения» энергии волн.

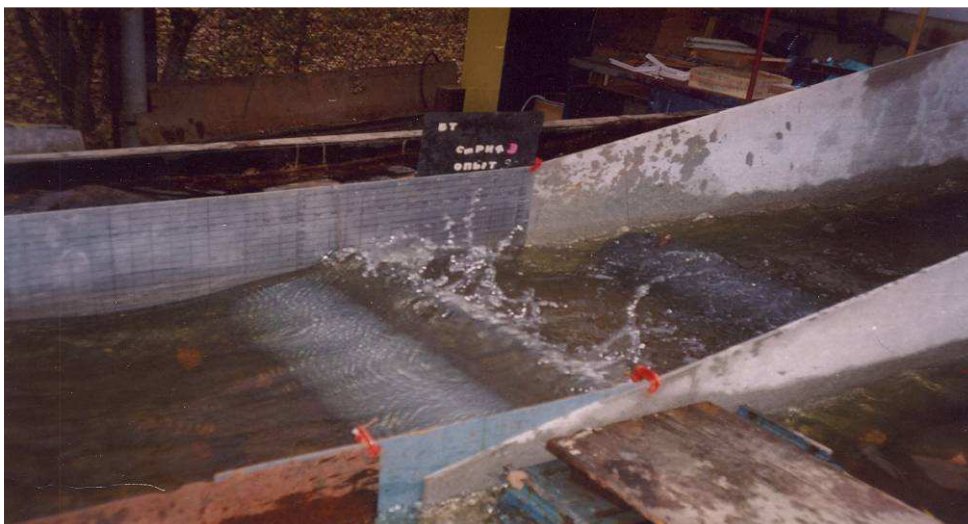


Рис. 10. Эффект экстремальной диссипации энергии волны
Fig. 10. The effect of extreme wave energy dissipation

ВЫВОДЫ

Для решения поставленной задачи совершенствования берегозащиты как в плане природоохраны в целом, так и в части производства подводно-технических работ при монтаже-демонтаже МОНАРС следует отметить.

1. Берегозащита в сочетании с практикой природопользования нуждаются в усилении государственного надзора и организации научно-технический мониторинга состояния литодинамических систем и сооружений.

2. Необходимо развитие научного направления по конструированию и разработке технологических схем использования мобильных наносорегулирующих сооружений.

3. Сопутствующие подводно-технические работы должны совершенствоваться в рациональности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карлин Л.Н., Ванкевич Р.Е., Тумановская С.М. и др., 2008. Гидрометеорологические риски. Монография СПб: Изд.РГГМУ, 282.
2. Лызлов И.А., 1962. Морские подводные берегоукрепительные волноломы. Транспортное строительство, 5-18.

3. Хомицкий В.В., 1983. Природоохранные аспекты береговой гидротехники. Наук. Думка, Киев, 276.
4. Сергеев Б.И., 1998. Облегченные гидротехнические сооружения. Арт-графика. Севастополь, 324.
5. Мирошниченко В.Г., 1982. Эксплуатация морских каналов. Москва, Транспорт, 136.
6. А.с. 1145087 СССР, Устройство для защиты подводной траншеи от занесения наносами. Горбатенко Е.Г., Хомицкий В.В., Сокольников Ю.Н., Кортиков И.А.
7. Горбатенко Е.Г., 1993. Автореферат канд. диссертации. СПб, 24 с.
8. А.с. 1351988 СССР, Подводное сооружение, способ его монтажа и демонтажа. Горбатенко Е.Г.
9. А.с. 1314932 СССР. Ограждающее устройство подводных разработок грунта. Хомицкий В.В., Горбатенко Е.Г., Сокольников Ю.Н., Ермоленко В.И., Урецкий И.И.
10. Bleck M., Oumeraci H., 2002. Hydraulic performance of artificial reefs: global and local description. Proceedings International Conference Cjfstal Engineering, Cardiff, Wales, Vol. 2, 1778-1790.

REFERENCES

1. Karlin L.N., Vankevich R.E., Tumanovskaja S.M. et al., 2008. Monografija SPb: Izd.RGGMU, 282.

2. **Lyzlov I.A., 1962.** Morskie podvodnye beregoukrepitel'nye volnolomy. Transportnoe stroitel'stvo, 5-18.
3. **Homickii V.V., 1983.** Prirodoohrannye aspekty beregovoi gidrotehniki. Naukova dumka. Kyiv, 276.
4. **Sergeev B.I., 1998.** Oblegchyonnye gidrotehnicheskie sooruzhenija. Art-grafika. Sevastopol', 324.
5. **Miroshnichenko V.G., 1982.** Yekspluatacija morskikh kanalov. Moscow, Transport Publ., 136.
6. **A.s. 1145087 SSSR,** Ustroistvo dlja zashity podvodnoi transhei ot zanesenija nanosami. Gorbatenko E.G., Homickii V.V., Sokol'nikov YU.N., Kortikov I.A.
7. **Gorbatenko E.G., 1993.** Avtoreferat kand. dissertacii. SPb, 24.
8. **A.s. 1351988 SSSR.** Podvodnoe sooruzhenie, sposob ego montazha i demontazha. Gorbatenko E.G.
9. **A.s. 1314932 SSSR.** Ograzhdayushee ustroistvo podvodnyh razrabotok grunta. Homickii V.V., Gorbatenko E.G., Sokol'nikov YU.N., Ermolenko V.I., Ureckii I.I.
10. **Bleck M., Oumeraci H., 2002.** Hydraulic performance of artificial reefs: global and local description. Proceedings International Conference Cjfstal Engineering, Cardiff, Wales, Vol. 2, 1778-1790.

MOBILE BUILDING IS IN COASTAL HYDRAULIC ENGINEERING

Eugene Gorbatenko^{}, Irina Bratasyuk^{*}, Vladimir Sharov^{**}*

^{*}Institute of Hydromechanics of NAS of Ukraine
Street Zhelyabova, 8/4, Kyiv, Ukraine, 03680,
e-mail:nairamdal92@yandex.ru

^{**}LLC "5th detachment of hydraulic works"
Street Electricians, 4, Kyiv, Ukraine, 04071,
e-mail: podvodnik@bigmir.net

Summary. This work is presented in the form of surveillance and staged article without detailed exposition features study hydrodynamic processes because of poor forecast and abruptly rising level of the oceans requires better coastal protection. The purpose of work is to review the available scientific and technical developments and experimental research on mobile sea defences to deal with. For example, built in the Black and Azov Seas of scribbled stones and covered with concrete slabs bun, protecting the coast from wave flow, shows the shortcomings of traditional fixed structures. The author proposes a mobile waterworks of the shells that are filled with soil, which can be fast enough to install and remove as needed. In order to improve the protection of the coast is necessary to develop scientific direction for the design and development of technological schemes governing the use of mobile sediment structures.

Key words: coastal protection, dredging, mobile buildings.

Theoretical principles of wave urbanistics

Iryna Ustinova

Kyiv National University of Construction and Architecture
Povitroflotskyy prosp., 31, Kyiv, Ukraine, 03680, e-mail:i-ust@mail.ru

Summary. During studying and mathematical description of the trends of urbanized territories development as ecological and town-planning systems there were several vague similarities founded between its major parameters change periodicity and other physical values, having undulatory nature. Obtained counterparts had predetermined interest for search of fundamental basics of urbanization. It turned out that all laws of Nature has the same basis – power permanence rule. This law is known in philosophy as principle of «change of unchangeable», in ecology – as a law of ecosystem self-regulation, in accordance to which at conditions of insufficient occupancy of the territory the population amount grows, and at conditions of over occupancy it decreases. According to research, noted is also attributable to dynamics of urbanized territories development, in which all four types of physical interactions are expressed to the certain degree. These and other results of research had allowed to articulate main principles of ecological space «urban physics» content of which have proven to be coordinated with postulates of new single field physics (Bishkek version).). Mentioned had allowed to lay down the theoretical foundation for occurrence of new branch in science of town-planning – wave urbanistics, as a science of management by undulatory processes of territories development in order to provide a conditions of their sustainable development.

Key words: urban planning, sustainable development, ecosystem self-regulation, ecological balance, demographical capacity, ecological and town-planning systems.

INTRODUCTION

World-wide issue of stable development is also instant for modern Ukraine, depopulation of which during a period from 1993 to 2006 was performed due to accelerated decrease of city dwellers number (Fig. 1) on the background of following expansion of the cities` territory.

Mentioned evidences about a fact that process of urbanization in Ukraine just as in developed countries of the world had passed from the stage of increasing to the stage of stagnation and for search of theoretical and methodological principles of regulation of stable development the arrangement of special researches become required.

Mentioned evidences about a fact that process of urbanization in Ukraine just as in developed countries of the world had passed from the stage of increasing to the stage of stagnation and for search of theoretical and methodological principles of regulation of stable development the arrangement of special researches become required.

PURPOSE AND METHODS

The purpose of research is revealing of theoretical principles of urbanized territories stable development management. As a basic method the method of analogies was approved, which is used in human ecology since it allows do not

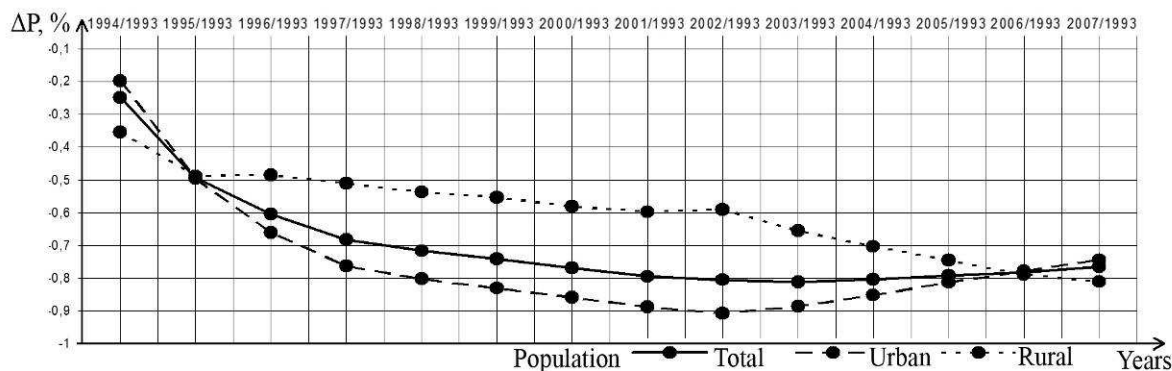


Fig. 1. Average annual rate of downsizing of Ukraine's population from 1993 to 2007

experiment with a system, part of which the human personally is, but to use knowledge about general regularities of development and to borrow images and models from more developed sub-disciplines such as physics or mathematics.

PHYSICAL PARALLELS

During studying and mathematical description of urbanized territories' development trends as ecological and town-planning systems (ETPS) there were some vague similarities discovered in periodicity of changes and main parameters (territory, population, dynamics of population, demographical capacity of the territory) and other physical values having adulatory nature. It was found that mechanical, electromagnetic and urban-ecological processes follow same quantitative theorem. It is discovered if to be interested not by oscillatory values but by how these oscillations take place [1]. Obtained analogies had enforced to search of other ecological and physical regularities of urbanized territories development [2, 3].

It was discovered that all laws of Nature has the same basis – power permanence rule (Lagrange, 1788; Maxwell, 1855), which determines fundamental principles of open systems stable development [4]. From this rule it follows that any change of produced power is compensated by corresponding change of lost power. This law is known in philosophy as principle of «change of unchangeable», in mathematics – as invariant, in physics – as tensor, in ecology – as law of ecosystem self-regulation [4, 5].

According to the law of self-regulation the purpose of ecosystem development is achievement of state of ecological balance. Ecosystem has certain capacity for every biological species. The reserve of this capacity which is insufficient occupancy of territory determines increase, and its exhaustion which is over occupancy of territory causes to reduction of density of specie (Fig.2) [5]. According to results of our research mentioned is also attributable for dynamics of ETPS development, in which were discovered certain expressions of all four types of fundamental physical interaction: strong, weak, gravitational and electromagnetic [1-3]. These and other results of research had allowed to form major principles of «urban physics» of ecological space content of which have been found as coordinated with postulates of new physics of single field (Bishkek version) [6, 7].

POSTULATES OF URBAN PHYSICS AND PHYSICS OF SINGLE FIELD

1. According to new physics built on model of rotating Universe, the basis of all physical interactions is a single field of force. Depending on level of supervision this field appears against researchers now in the form of gravitational now in form of electromagnetic now in form of nuclear fields [6, 7]. As was mentioned before, the similar thing was discovered by our research, in which urbanization is considered as natural process of establishment and development of the population-environment system in multi-level ecological space [1-3, 8].

2. In physics of single field the particular role is played by idea of absolute, which brings the single universal and simple to the foreground, whereby for all levels and all systems laws appear in the same way. And if

coordinates of territories` stable development is determined by the law of ecosystem self-regulation. Basically, methodology of assessment and regulation of territories stable development offered by us is shifted around this law

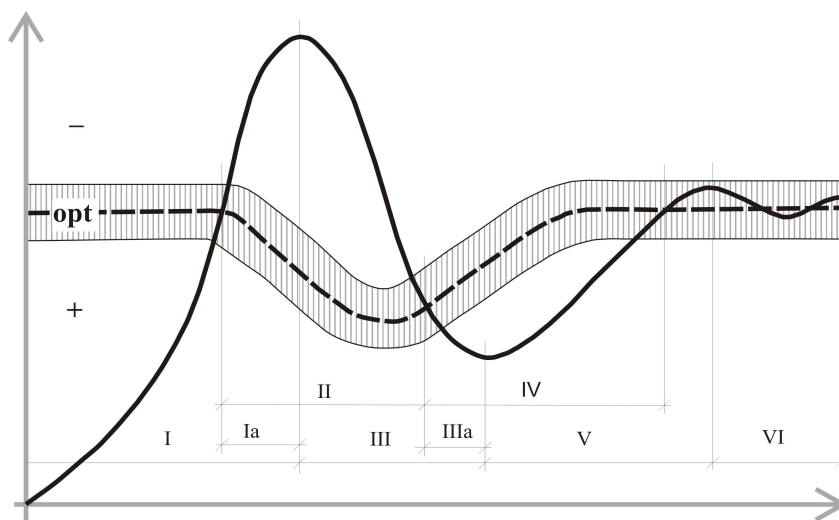


Fig. 2. The self-regulation ecosystem by V. Dolnyk:

I-VI – stages of ecosystem population capacity of the environment range of equilibrium.

— — population

- - - - capacity of the environment

||||||| – range of equilibrium

± opt – quality of environment

physics of Einstein rests on thesis about relativity of all systems of coordinates and absoluteness (regularity) of speed of light, then new physics rests on thesis about absoluteness of all systems of coordinates and relativity (with variable values) of speed of light. Thesis about relativity of systems of coordinates also lays in the basis of estimation models of environment state and territories development, which usually built on comparison of modern state of town-planning object with previous period of its development or with average factors by country, region or world [9-13].

3. By absoluteness of systems of coordinates in new physics is meant, as minimum, center around of which the Universe is rotating, «age» of which is determined by period of its full rotation. According to our researches, absoluteness of system of assessment

of planetary evolution. In this plane, the center of offered assessment system of coordinates the targeting stage of ecosystem development becomes – the state of its ecological balance (see Fig.2, stage VI) functional dimension of which the equality of $\pm 10\%$ range of deviation of region population demographic capacity and amount parameters is [9]. Quantitative expression of parameters of balance range – one-of-a-kind «bifurcation point area» of ETPS following development ways allows to describe its qualitative condition, forecast development, determine correspondent to «ecological age» (stage of its development) strategy of the following development of regional town-planning object. Space center, around of which the region is «collected» and “urbanization universe” is spin is a city (Fig.3-5) [14-16].

4. By correspondence of speed of light in new physics of universe that is rotating is meant insignificant difference in speed of light determined by direction if its flight – «along» or «against» of direction of universe`s rotation. In some extent, similar is also fare for expression of law of ecosystem self-regulation under which the speed and direction of dynamics of population (increase – decrease) depends on what stage of cycle (wave) of development the changes occur. At beginning stage at conditions of reserve of ETPS rigidity certain level environment, the efforts of town-planning and ecological system co-directed to state of ecological balance, which is increasing of population (see Fig.2, stage I) and activation of eco-

nomical activity. In conditions of exhausting of capacity their efforts against are directed for: town-planning – for following expansion of areal borders and going of ETPS for a new level of its aerial integrity with new ecological potential and balanced condition; ecological – for restoration of previous balanced condition, which become decrease of population and fading of economic activity (see Fig.2, stage III). Specified anti-directedness of efforts at final (targeting) stage of certain cycle of development leads to occurrence of constant oscillations in the range of ecological balance (see Fig.2, stage VI). By direction of optimum arrow these oscillations occur (if does not intrude into additional circumstances)

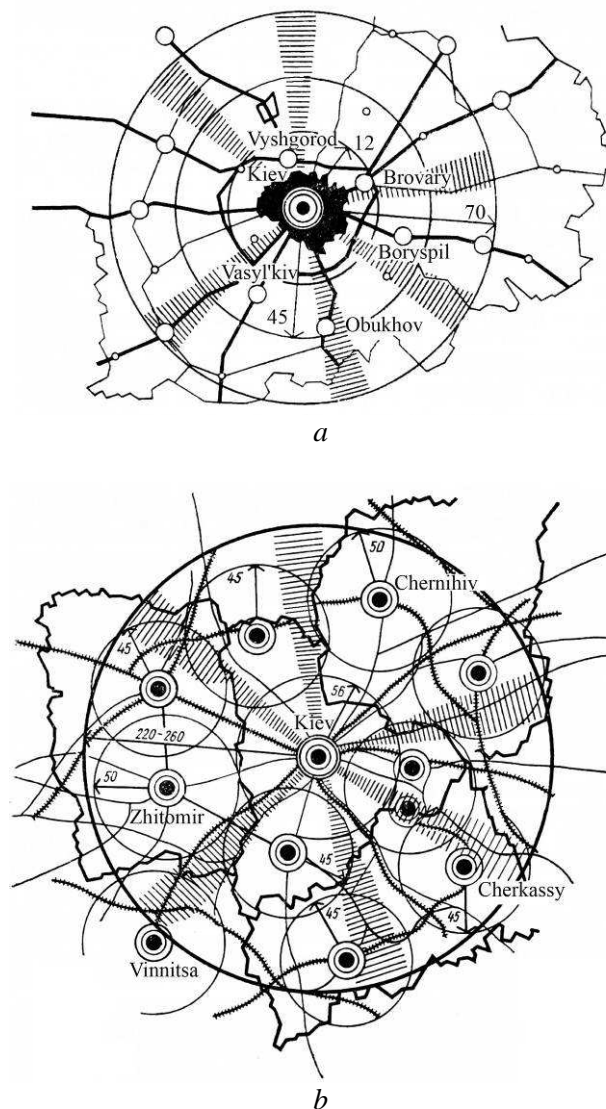


Fig. 3. Space-donut development of Kyiv city agglomeration (a) and Kyiv capital region (b) by M. Dyomin

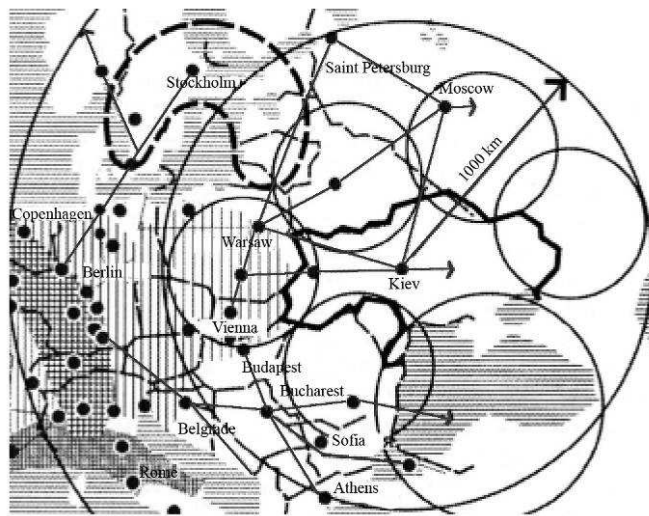


Fig. 4. Ukraine in structure of European space by Y. Bilokon

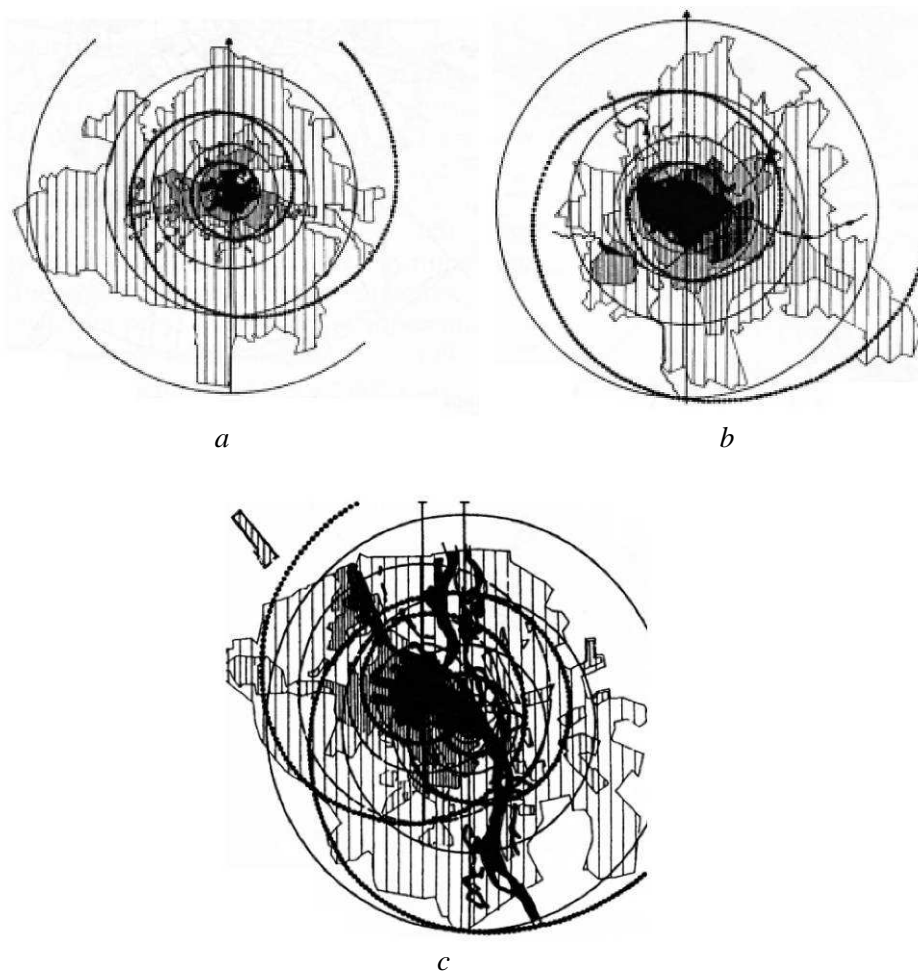


Fig. 5. Space-helical development of Lvov (a), Kharkov (b), Kyiv (c) by N. Shebek

in the same side – the side of less action, to the place where the state of system is mostly profitable, optimum and balanced energetically. Such state allows to system for efficiently spent of energy and demonstrate maximum activity given by nature.

5. In the physics of single field the term of levelness is introduced and (by direction of optimum arrow) the transfer from level to level is described. So the kinetic and magnetic energy of motion is the hierarchically higher form in comparison with potential and electrical rest energy. There is no such issue

in present physics. From here a number of systems of coordinates and reference points but only one level of supervision. Multi-levelness of development is also attributable to urban processes. This expressed by presence of concentric areas of influence of the central city in ecological space of region, country, or continent (see Fig.3, 4).

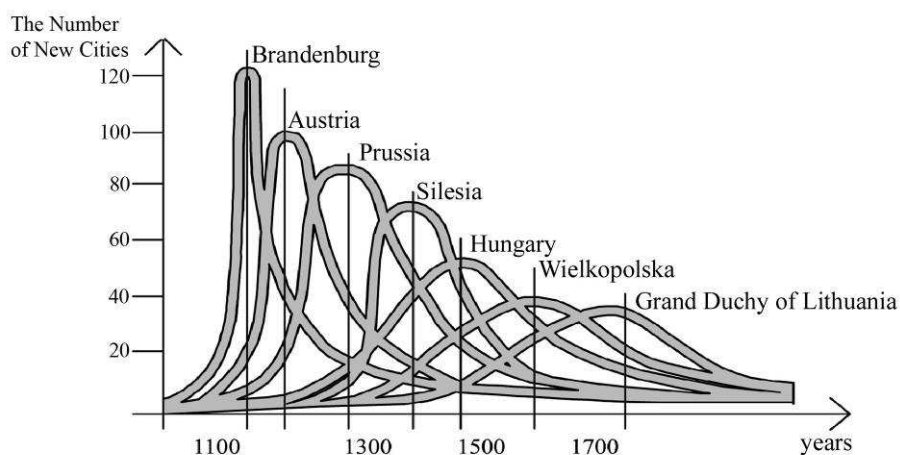
6. There is principally new mechanics in absolute physics which is mechanics of body motion «from the inside». This allows understand what is «filled» by body at change of qualitative conditions and absolute nature of multi-level motion. Here, instead of conventional «external» mechanics which obligatory provides supervision for the body from aside the division of supervisor and event is absent. In our case such mechanics of motion «from the inside» is basically development of ETPS, regularity of which is ensured by continuous change of stages and qualitative conditions in multi-level cycles of undulatory development of urbanized territories. Regarding division of supervisor and event. During research we always are inside the ecosystem which is changed by us, supervises and changes us since we are its integral part.

7. The magnetic field in new physics is a field of forces of momentum and vortex field, appearing at translational or rotational movement of body. As was determined in research, the population in space-time LT-system of physically measured values has scale of mass ($[L^3T^{-2}]$ – cube with angular acceleration [4]), which basically determines the force of momentum and gravity and in our case – «gravity-magnetic» field of ETPS (see Fig.3 – 5). The population density in LT-system will have

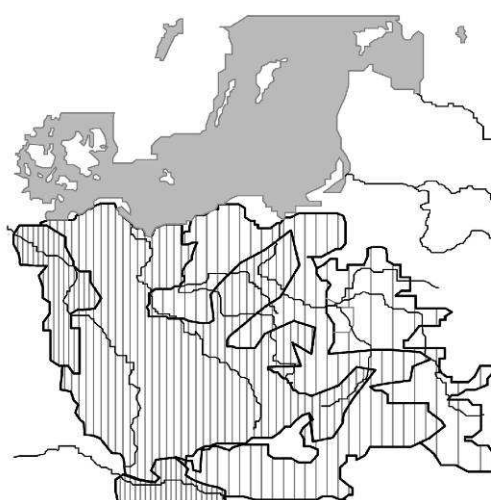
dimension o acceleration ($L^3T^{-2} / L^2 = [LT^{-2}]$) [13]. Nowadays approximately 70% of population of Ukraine and more than 50 % of World's population is concentrated in cities. In this aspect they are really become the centers of masses around of which the universe of civilization is «rotating». In the evolution of cities and urbanized regions the mentioned «rotating» discovers itself by translational-undulatory (Fig.6), concentric-donut (see Fig.3, 4) and translational-rotational (see Fig.5) accelerated process (curvilinear translation is always accelerated one) and pulsing-undulatory event of multi-level development of population-environment ETPS in ecological space city-region (Fig.7) [8, 18, 19].

ETPS, regularity of which is ensured by continuous change of stages and qualitative conditions in multi-level cycles of undulatory development of urbanized territories. Regarding division of supervisor and event. During research we always are inside the ecosystem which is changed by us, supervises and changes us since we are its integral part.

8. The magnetic field in new physics is a field of forces of momentum and vortex field, appearing at translational or rotational movement of body. As was determined in research, the population in space-time LT-system of physically measured values has scale of mass ($[L^3T^{-2}]$ – cube with angular acceleration [4]), which basically determines the force of momentum and gravity and in our case – «gravity-magnetic» field of ETPS (see Fig.3 – 5). The population density in LT-system will have dimension o acceleration ($L^3T^{-2} / L^2 = [LT^{-2}]$) [17]. Nowadays approximately 70 % of population of Ukraine and more than 50 % of World's population is concentrated in cities. In this aspect they are really become the centers of masses around of which the universe of civilization is «rotating». In the evolution of cities and urbanized regions the mentioned «rotating» discovers itself by translational-undulatory (see Fig.6), concentric-donut (see Fig.3, 4) and translational-rotational (see Fig.5) accelerated process (curvilinear translation is always accelerated one) and pulsing-undulatory event of multi-level development of population-environment ETPS in ecological space city-region (see Fig.7) [8, 18, 19].



a



up to 1700 1201-1300 1301-1400 1402-1500

b

Fig. 6. Space-time displacement and «fading» of urbanization impulse in Europe by G.Petrishin (a) and by V.Samarkin (b)

So cities gradually compacting population and expanding borders and areas of influence of urbanized territories, from one hand, perform function of accelerator of development, but from the other hand, they act as brake of processes of increasing of population, since at conditions of over-compacting the decrease of birth rate occurs and, as consequence, the aging of population, increase of death rate and decrease of number [20].

9. The space is absolute in new physics. There is no and could not be endless straight lines in this space in closed rotational universe (inside the sphere) and all motion is acceler-

ated only. Similar also founded by our research in which stable development is not only linear process of constant number increase (attributable only for initial component of the wave, see Fig. 2, stage I), but oscillatory process of continuous change of accelerations and qualitative conditions. Straight and curve in physics of single field are combined into one and micro world is closed with macro world. Similar thing is also found in «urban

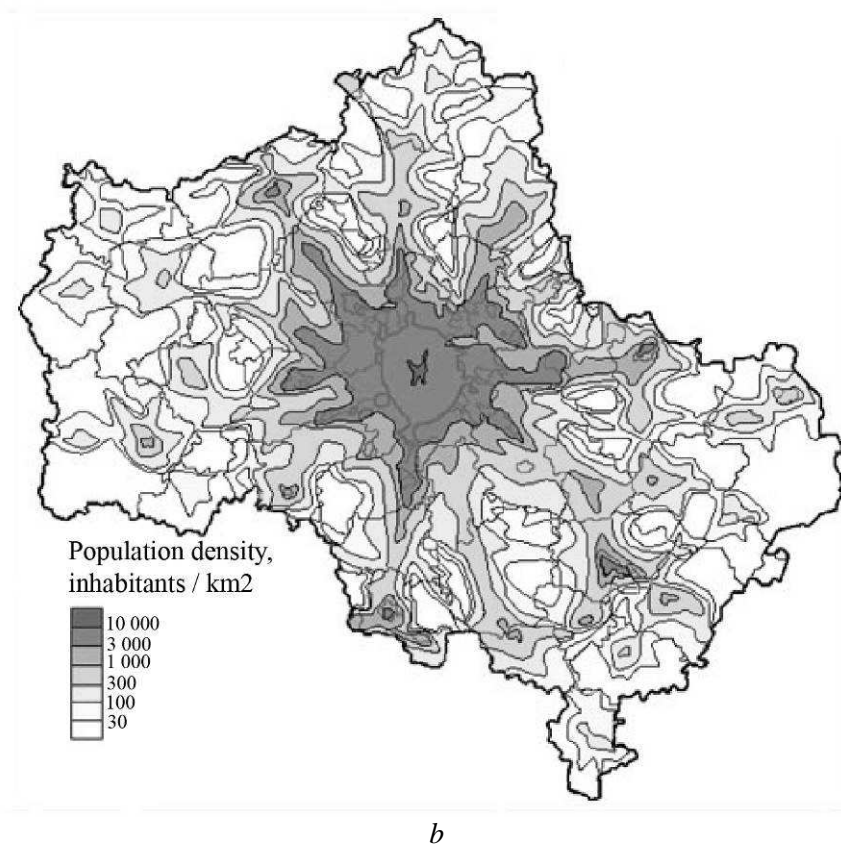
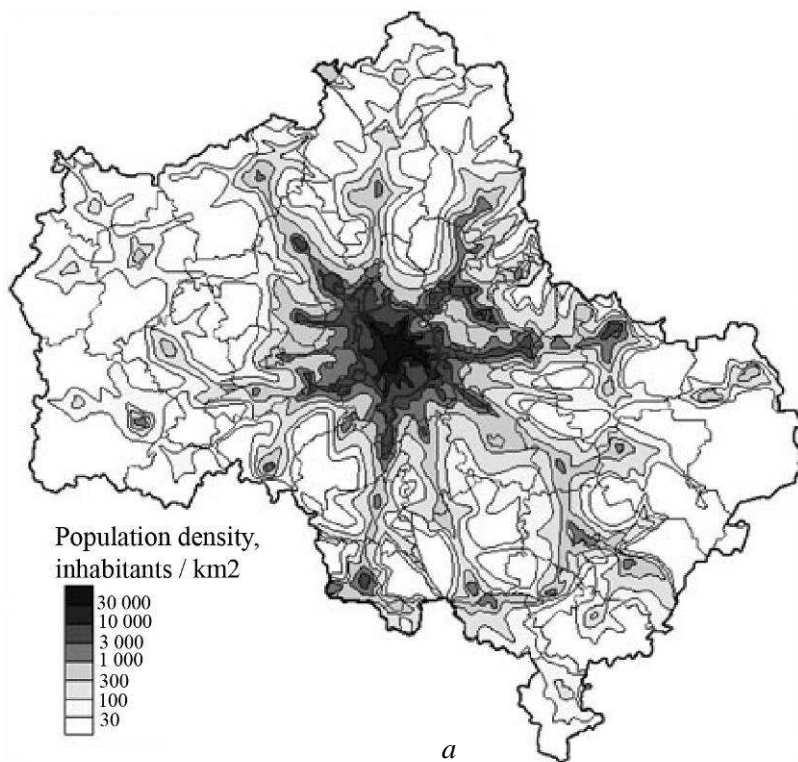


Fig. 7. Season-daily «pulsation» of density of population in Moscow agglomeration: in winter working day (*a*) and summer day-off (*b*) by A.Makhrova, T.Nefedova, A.Traywish

physics» in which «straight» corresponds to striving of ETPS to the goal which the condition of ecological balance is (see Fig. 2, stage VI), and «curve» corresponds to wave of its oscillatory development (see Fig. 2, 6). Connection of micro- and macro worlds in «urban physics» is an action of all known for the time fundamental physical interactions [2, 3].

10. Physics of absolute to some extent reminds past representations of people about the world. However there is a difference between early absolute which is passive absolute, and future absolute which knowing and active one. This is absolute of different levels, whereby any process is fractured gradually: absolute → relative → absolute-dot. Our research is belonging to transient stage «relative → absolute-dot». Passive apprehension of the world did not require presence of observer, since he did not decide anything. Then the observer was introduced into the system of apprehension, as a counter-balance to event and a part of relative. Finally, observer is not required again since he is an active component of observer-event. From this point of view the observation «from aside» lost its sense. In this sense the idea of V. Vernadsky concerning transition of biosphere into anthroposphere – the condition of Nature is driven by human mind and it could be expressed in such way: the mankind required to learn for management rather themselves, thoughts and activity than Nature.

CONCLUSIONS

1. Physics of non-absolute allows looking at laws by eyes of investigated object, from the side of event itself without change laws but discovering them under another angle of view and from other level of system integrity. The consequence of this physics is development of new theory of systems. As a result, the undulatory genetics was born as well as ethnic prognostics which are comparatively new branches of knowledge, which are attributed by active inter-disciplinary integration. Within the given context the following disciplines are developed: Genrich Altshuller (Theory of Inventive

Problem Solving), Rohn Hubbard (Dianetics) and Lev Gumilev (Theory of Passionarity) [6].

2. Main represented principles of «urban physics» of ecological space give reason for learning of new branch in science of town-planning which the wave urbanistics is – the science about management by undulatory process of territories development in order to provide sustainable development of society in direction of restoration of positive system changes taking into consideration ability of the territory (single field and ecological space) to self-arrangement at the level of cities and self-regulation at the level of regions. The leading sections of undulatory urban planning could be «town-planning theory of stability», «urban physics of ecological space» and «ecological and demographical prognostics». Here we can remember the phrase of German philosopher H. Hesle according to which at conditions of ecological crisis the key science which is able to save environment of the mankind existence is the urbanistics [21].

REFERENCES

1. **Ustinova, I., 2007.** The environmental parallels of the physical laws in the process of urban ecological systems. Modern problems of architecture and urban planning, Kyiv, KNUCA, Vol.18, 184-191 (in Ukraine).
2. **Ustinova, I., 2008.** The physical parallels of environmentally sound development. Modern problems of architecture and urban planning, Kyiv, KNUCA, Vol.20, 229-233 (in Ukraine).
3. **Ustinova, I., 2009.** The eco-physical similarity of urbanization. Modern problems of architecture and urban planning, Kyiv, KNUCA, Vol.22, 293-298 (in Ukraine).
4. **Kuznetsov O.L., Bolshakov B.E., 2000.** Nature-Society-Human system. Stable development. <http://www.situation.ru/app/rs/lib/pobisk/systema/main.htm> (in Russian).
5. **Dolnyk, V.R., 1992.** Whether there are biological mechanisms of regulation of the number of people. Nature, Vol. 6, 3-16 (in Russian).
6. **Bondarenko O.Y., 2001.** Galileo-XXI. <http://www.olegbondarenko.narod.ru/galileo-21-I.htm>.

7. **Shlyapnikov A.A., 1999.** True opportunities of classic physics and false basics of modern one. <http://rusnauka.narod.ru/lib/physic/kassikfiz.htm>
8. **Ustinova I.I., 2014.** Urban processes in ecological space. Town-planning and territorial planning, Kyiv, KNUCA, Vol.53, 549-554 (in Ukraine).
9. **Reimers N.F., 1994.** Environment (theory, laws, rules, and the principles). Moscow, the magazine "Young Russia ", 367 (in Russian).
10. **Zhurovsky, M.Z., Hvyshyany A.D., 2008.** The global modeling processes of sustainable development in the context of quality and safety of people life (2005-2007/2008 Years). Kyiv, Polytehnika, 331 (in Russian).
11. **Vetrova N., 2013.** Ecological audit and ecological monitoring in environmental safety of a region. Motrol: kom. Mot. Energ. Roln., OL PAN, Vol.14-1, 80-85 (in English).
12. **Voloshkina O., Bereznitska J., 2014.** Development of Ukraine Territory Flooding Processes; Its Parameters and the Influence on the Environmental Safety Level. Motrol: kom. Mot. Energ. Roln., OL PAN, Vol.16-8 (in English).
13. **Kryvomaz T., Voloshkina O., 2014.** The Risk Assessment of Threats from Biological Objects in Environmental Safety. Motrol: kom. Mot. Energ. Roln., OL PAN, Vol.16-8, 137-144 (in English).
14. **Dyomin N.M., 1991.** Management by development of town-planning systems. Kyiv, Budivelnik, 185 (in Russian).
15. **Bilokon Y.M., 2003.** Regional planning (theory and practice). Kyiv, Logos, 246 (in Ukraine).
16. **Shebek N.M., 2008.** Harmonization of planning development of city. Kyiv, Osnova, 213 (in Ukraine).
17. **Ustinova I.I., 2013.** Universal spatiotemporal definitions of urbanization in the context of sustainable development. Euro-eco Internationaler Kongress. Hannover Europäische Akademie für Naturwissenschaften, 139-140 (in English).
18. **Makhrova A.G., Nefedova T.G., Traywish A.I., 2012.** Moscow: megapolis? agglomeration? megalopolis? <http://demoscope.ru/weekly/2012/0517/demoscope517.pdf>.
19. **Ustinova I.I., 2007.** Looping of oscillatory development of ecological and town-planning systems. Modern problems of architecture and urban planning, Kyiv, KNUCA, Vol.17, 182-190 (in Ukraine).
20. **Ustinova I.I., 2008.** Demographical signs of ecological safe development of territories. Modern problems of architecture and urban planning, Kyiv, KNUCA, Vol.19, 205-210 (in Ukraine).
21. **Hesle, V., 1994.** Philosophy and ecology. Moscow, AO Kamy, 192 (in Russian).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ВОЛНОВОЙ УРБАНИСТИКИ

Ирина Устинова

Киевский национальный университет
строительства и архитектуры
Воздухофлотский просп, 31, Киев, Украина,
03680, e-mail: i-ust@mail.ru

Аннотация. Установлено, что все законы в Природе имеют единую основу – закон сохранения мощности. В философии этот закон известен как принцип «изменяемости неизменного», в экологии – как закон экосистемной саморегуляции, согласно которому, в условиях недонаселенности территории численность населения растет, а в условиях перенаселенности – снижается. Отмеченное свойственно и динамике развития урбанизированных территорий, как эколого-градостроительных систем. Выявлено, что в развитии этих систем в определенной мере проявлены все четыре вида физических взаимодействий. На основании полученных результатов сформулированы основные положения «урбофизики» экологического пространства, содержание которых согласовано с постулатами новой физики единого поля (бишкекская версия), что закладывает теоретические основания для появления нового направления в градостроительной науке – волновой урбанистики.

Ключевые слова: урбанистика, устойчивое развитие, экосистемная саморегуляция, экологическое равновесие, демографическая емкость, эколого-градостроительные системы.

Критичний стан взаємодії хвилі сильних розривів у воді з пружним екраном

Григорій Іванченко

Київський національний університет будівництва і архітектури,
Повітрофлотський просп., 31, Київ, Україна, 03680. e-mail: ivgm@mail.ru

Анотація. Використовуючи нульове наближення променевого методу, чисельно досліджена перебудова геометрії сферичних фронтів підводної хвилі сильних розривів та зміну імпульсу, що переноситься ними, при подоланні хвилею пружного екрану. Виявлено, що в ідеально пружних екранах поблизу місць повного внутрішнього відображення променів на межі середовищ вода-екран додаткові внутрішні напруження стрімко зростають.

Ключові слова: пружне середовище, хвилі сильних розривів, взаємодія, критичні стани.

льсів, які переносяться ними, виявляється нульове наближення променевого методу [4]. Цей метод при своїй простоті дозволяє отримувати досить точний розв'язок в прифронтових зонах нестационарних хвиль, які розповсюджуються в різних середовищах.

При відсутності об'ємних сил вектор переміщень елемента пружного одно-рідного ізотропного середовища визначається через скалярний та векторний потенціали $\vec{U} = \nabla\Phi + \nabla \times \vec{\Psi}$, які задовольняють хвильові рівняння

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

$$\nabla^2 \Phi = \frac{1}{\alpha^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2}, \quad \nabla^2 \vec{\Psi} = \frac{1}{\beta^2} \frac{\partial^2 \vec{\Psi}}{\partial t^2}, \quad (1)$$

Інженерна практика з використанням вибухів під водою обумовлює необхідність з'ясування впливу хвиль сильних розривів на підводні об'єкти, а також розробку засобів захисту останніх. Традиційні аналітичні та чисельні методи дослідження напружено-деформованого стану занурених у воду пружних тіл при швидкоплинних динамічних впливах ускладнюються побудовою профілів полів напружень та деформацій, які належать до класу розривних функцій. Більш ефективним для аналізу геометрії поверхонь розриву польової функції, які утворюють фронти розповсюдження хвиль, а також для визначення інтенсивності імпу-

де $\alpha = \sqrt{(\lambda + 2\mu)/\rho}$, $\beta = \sqrt{\mu/\rho}$ – швидкості поширення поздовжньої (P) та поперечної (S) хвиль, $\lambda = \lambda(E, \nu)$, $\mu = \mu(E, \nu)$ – параметри Ламе, E – модуль Юнга, ν – коефіцієнт Пуассона, ρ – густина.

Розглядатиметься плоска вісесиметрична задача, тому векторному потенціалу можна надати вигляд $\vec{\Psi} = \Psi \vec{q}$, де \vec{q} – одинична нормаль до площини розв'язку, і хвильові потенціали записати у вигляді променивих рядів [2, 4]:

$$\Phi(\bar{x}, t) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\varphi_k(t - \tau)^{k+2} H(t - \tau)}{(k+2)!}, \quad (2)$$

$$\bar{\Psi}(\bar{x}, t) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\psi_k \bar{q}(t - \bar{\tau})^{k+2} H(t - \bar{\tau})}{(k+2)!},$$

де \bar{x} – радіус-вектор, $\varphi_k = \varphi_k(\bar{x})$, $\psi_k = \psi_k(\bar{x})$, $\tau_k = \tau_k(\bar{x})$, $\bar{\tau}_k = \bar{\tau}_k(\bar{x})$, $H(t - \tau)$ – функція Хевісайда. Підстановкою виразів (2) в (1) можна отримати рівняння ейконалу та рівняння переносу в рекурентній формі

$$(\nabla \tau)^2 = \frac{1}{\alpha^2}, (\nabla \bar{\tau})^2 = \frac{1}{\beta^2},$$

$$2(\nabla \tau)(\nabla \varphi_k) + \varphi_k \nabla^2 \tau = \nabla^2 \varphi_{k-1}, \quad (0 \leq k < \infty) \quad (3)$$

$$2(\nabla \bar{\tau})(\nabla \bar{\psi}_k) + \bar{\psi}_k \nabla^2 \bar{\tau} = \nabla^2 \bar{\psi}_{k-1}.$$

Рівняння ейконалу зводяться до системи диференціальних рівнянь

$$\frac{d\bar{p}}{ds} = 0, \quad \frac{d\bar{x}}{ds} = \bar{p}, \quad \frac{d\tau}{ds} = |\bar{p}|^2, \quad \bar{p} = \nabla \tau. \quad (4)$$

В променевій системі координат $\xi\eta\zeta$, де напрямок ξ співпадає з променем, η належить площині розповсюдження фронту, а ζ доповнює систему до правої трійки, розв'язок (4) для P -хвилі будуватиметься у вигляді

$$\bar{x} = \bar{n}\xi + \bar{f}, \quad \tau = \frac{\xi}{\alpha}, \quad \nabla \tau = \frac{\bar{n}}{\alpha}, \quad (5)$$

де \bar{n} – одиничний вектор нормалі до поверхні фронту, \bar{f} – вектор, який визначає початкову геометрію фронту. Аналогічно будуватиметься розв'язок системи (4) і для S -хвилі. Таким чином, формується сімейство прямолінійних променів та поверхні фронтів хвиль сильних розривів ($\tau = \text{const}$), перпендикулярних до цих променів. Шукані переміщення, напруження та їх інтенсивності визначаються через знайдені із розв'язків рівняння переносу величини φ_k та ψ_k ($k = 0, 1, 2, \dots$).

Для аналізу хвиль сильних розривів найважливіша інформація про динамічний вплив хвилі на пружне середовище міститься у нульових членах рядів (2), які визначають величину стрибка польової функції на фронті хвилі та основну частину хвильового імпульсу. Тому можна обмежитись врахуванням лише їх, що значно спрощує задачу. В цьому випадку розглядаються імпульсні хвилі малої довжини, для вивчення яких зручно використовувати методи, що застосовуються в стереомеханічній теорії удару [1].

Враховуючи зроблені припущення для вісесиметричного випадку при розповсюдженні вздовж променя хвилі зміщень частинок середовища напруження на фронті визначається із залежностей [3]:

$$\sigma = \frac{C(\eta)}{\sqrt{RS}}, \quad \bar{\sigma} = \frac{\bar{C}(\eta)}{\sqrt{RS}}, \quad (6)$$

де R та S – радіуси кривини поверхні фронту, $C(\eta)$ – початкові напруження.

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є дослідження дифракції поздовжньої нестационарної хвилі сильних розривів, породженої у воді, на двох поверхнях пружного екрану (площинах розмежування середовищ) та виявлення ефекту квазіповного внутрішнього відображення хвиль.

МЕТОДИКА РОЗВ'ЯЗУВАННЯ

Отримані співвідношення (4-6) дають можливість за початковими імпульсними впливами визначати форму фронтів та величину розривів, що переносяться ними. В однорідних пружних середовищах поперечні та поздовжні хвилі сильних розривів розповсюджуються незалежно. Вони взаємодіють лише на межах розділу середовищ з різними механічними властивостями, на яких падаюча хвиля розчіплюється на сис-

тему відображених та заломлених хвиль, причому, в рідинах можливі лише P -хвилі.

Алгоритм комп'ютерного моделювання явищ дифракції хвиль сильних розривів на пружному екрані будується на використанні "локально-площинного наближення" [2], яке дозволяє вважати, що в місці падіння на поверхню фронт є локально плоским. Позначатимемо індексами "1" і "2" хвилі та їх параметри, що розповсюджуються відповідно у воді та в тілі екрана. Другі індекси "–" і "+" відповідатимуть хвилям до та після взаємодії з ближньою до джерела хвилі поверхнею G_1 пружного екрана. Індекси "P" та "S" матимуть параметри хвиль, породжених на зовнішній поверхні екрана падінням на неї відповідно поздовжньої та поперечної хвиль. Розв'язок задачі розпочинається з побудови системи падаючих променів P_{1-} хвиль. В точках взаємодії променів із межею G_1 породжується пучок променів P_{2+} , S_{2+} хвиль, заломлених в середовище екрана, та відображеної в рідину P_{1+} хвилі. Напрямки променів, які опираються на одну малу ділянку межі розділу середовищ задовольняють рівнянням Снеліуса

$$\frac{\sin \Theta_{1-}}{\alpha_1} = \frac{\sin \Theta_{1+}}{\alpha_1} = \frac{\sin \Theta_{2+}}{\alpha_2} = \frac{\sin \Psi_{2+}}{\beta_2}, \quad (7)$$

де Θ і Ψ – кути між нормальними до поверхні екрана та напрямками променів відповідно P - та S -хвиль.

Кожна із заломлених через межу вода-екран хвиль на другій поверхні розділу середовищ в свою чергу породжує P -хвилю у воді та хвилі обох поляризацій, що відбиваються в середовище екрана. Напрямки променів, породжених падінням поздовжньої хвилі, визначаються із залежності

$$\frac{\sin \Theta_{2+}}{\alpha_2} = \frac{\sin \Psi_{2P}}{\beta_2} = \frac{\sin \Theta_{2P}}{\alpha_2} = \frac{\sin \Theta_{1P}}{\alpha_1}, \quad (8)$$

а для поперечної хвилі

$$\frac{\sin \Psi_{2+}}{\beta_2} = \frac{\sin \Psi_{2S}}{\beta_2} = \frac{\sin \Theta_{2S}}{\alpha_2} = \frac{\sin \Theta_{1S}}{\alpha_1}. \quad (9)$$

Інтенсивності імпульсних хвиль визначаються із співвідношень теорії пружності в променевій системі координат $\xi\eta\zeta$ [3]

$$\sigma_{\xi\xi} = -\rho\alpha\dot{u}, \quad \sigma_{\xi\eta} = -\rho\beta\dot{v}, \quad (10)$$

де позначено \dot{u} та \dot{v} – швидкості елементів пружного середовища на фронті поздовжньої та поперечної хвиль.

Зв'язок між стрибками напружень на фронті хвиль сильних розривів та швидкостями руху пружних елементів дозволяє для дослідження процесів взаємодії хвиль на межах розділу середовищ використати локальні умови збереження кількості руху та умови безперервності швидкостей елементів середовищ.

Ці умови на межах вода-екран реалізуються трьома лінійними алгебраїчними рівняннями відносно швидкостей \dot{u}_{1+} , \dot{u}_{2+} , \dot{v}_{2+} (\dot{v}_{1+} – відсутня, оскільки рідина не сприймає дотичних напружень і в ній немає зчеплення на зсув), які дозволяють для кожного променя визначити початкові швидкості руху елементів середовища, які належать фронту хвилі, після їх взаємодії на межах розподілу середовищ, а далі за допомогою співвідношень (6, 10) – напруження в будь-якій точці площини розв'язку, де проходить фронт хвилі сильних розривів

КВАЗІПОВНЕ ВІДОБРАЖЕННЯ ХВИЛІ СИЛЬНИХ РОЗРИВІВ

В геометричній оптиці відомий ефект повного внутрішнього відображення, пов'язаний із особливістю заломлення світлових променів при їх проходженні через межу розділу G двох ізотропних прозорих середовищ із показниками заломлення n_1 і n_2 , які відрізняються. Як випливає із закону Снеліуса, для світлового променя, який падає під кутом ϕ на поверхню розділу і заломлюється під кутом χ , має місце спів-

відношення $n_1 \sin \varphi = n_2 \sin \chi$. Із цієї рівності видно, що $\chi = \arcsin [(n_1/n_2) \sin \varphi]$ і у разі $n_1 > n_2$ при деякому значенні φ вираз в дужках дорівнює одиниці, а при подальшому збільшенні φ – перевищує її. Оскільки функція \arcsin аргументу, більшого за одиницю, не існує, при таких значеннях φ не може існувати і явище заломлення світлового променя. В цьому випадку вся енергія, принесена на межу G падаючою світловою хвилею, несеться відображеною хвилею і в друге середовище світловий промінь не проникає. Вказана особливість є підставою для назви цього явища ефектом повного внутрішнього відображення.

Деяка аналогія цього ефекту має місце і для хвильових процесів, які протікають на межах розділу пружних середовищ, хоча в цьому випадку всі явища є набагато складнішими [6, 7].

Явище квазіповного внутрішнього відображення в пружних середовищах зі стрімким зростанням напружень підтверджується експериментом (Рис.1), проведеним в Інституті механіки НАН України під керівництвом професора П.З. Лугового [5]. Експеримент проводився для ізотропних середовищ. Оскільки спроби експериментальної перевірки цього ефекту зустрічаються зі

значними технічними труднощами, пов'язаними зі складністю вимірювання напружень всередині шаруватого масиву, дослідження проводилися для випадку, коли в якості середовища, в якому ініціювалася початкова хвиля сильного розриву, була вибрана вода, а пружним середовищем, яке відчувало дію падаючої хвилі і яке сприяло виникненню ефекту повного внутрішнього відображення, було органічне скло.

Експериментальні результати отримані при таких значеннях фізико-механічних параметрів середовищ: для води $\rho_1 = 10^3$ кг/м³, $\alpha_1 = 1500$ м/с; для оргскла $\rho_2 = 1,12 \cdot 10^3$ кг/м³, $E = 5,25 \cdot 10^5$ Па, $\nu = 0,35$, $\alpha_2 = 2500$ м/с. Було прийнято, що сферична хвиля стиснення ініційована точковим джерелом у воді на відстані 0,3 м від поверхні розділу G . Значення напружень на її фронті у момент підходу фронту до точки перетину із межею розділу на поверхні пружної пластини склали $\sigma_{1-} = 10^6$ Па. Обчислені складові тензора напружень $\sigma_x = \sigma_{x2+}(x)$ (див. Рис.1, а) і $\sigma_y = \sigma_{y2+}(x)$ (Рис.1, б) у пластині в точці H по міру її переміщення по площині G уздовж осі x . Можна бачити, що стискуючі напруження $\sigma_x = \sigma_{x2+}(x)$ монотонно зростають і прагнуть до нескін-

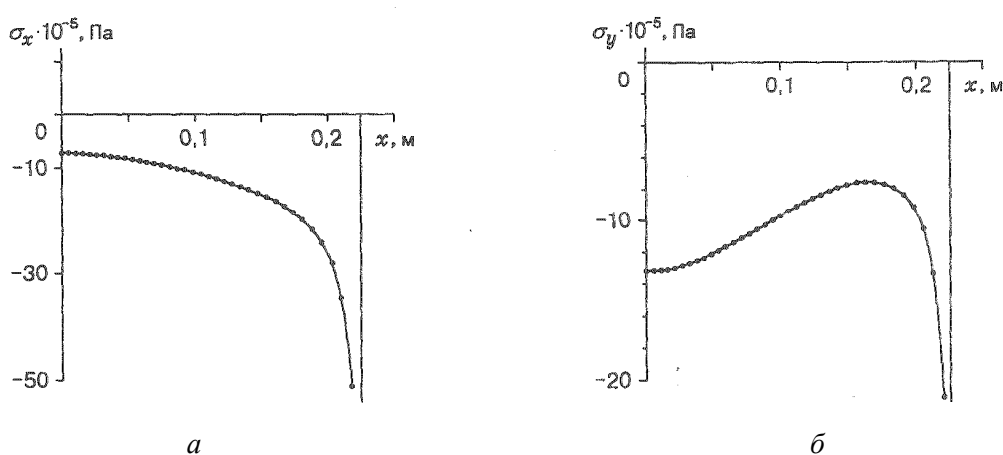


Рис. 1. Залежності величин складових тензора напружень в пластині від координати x точки H падіння променя

Fig. 1. Quantities functions of plate stresses tensor components from x -coordinate point H of beam incidence

ченності в точці квазіповного внутрішнього відображення при $x = 0,225$ м, яка відповідає куту квазіповного внутрішнього відображення $\theta_{1-} = -\arcsin(\alpha_1/\alpha_2) = 36,87^\circ$.

Функція $\sigma_y = \sigma_{n2+}(x)$ (див. Рис.1, б) спочатку спадає, проте в околі точки квазіповного внутрішнього відображення також швидко прагне до нескінченності. При $x > 0,225$ м функції напружень $\sigma_x = \sigma_{x2+}(x)$ і $\sigma_y = \sigma_{n2+}(x)$ не обчислювалися, оскільки хвилі напружень в другому середовищі перестають мати сильні розриви.

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

За допомогою запропонованої методики проведено чисельне дослідження зміни інтенсивності хвиль сильних розривів у воді після проходження ними пружних екранів, що мають різні фізико-механічні та геометричні параметри. Численні розрахунки показали, що при падінні хвилі сильних розривів із середовища з меншою акустичною жорсткістю в середовище, яке має більшу акустичну жорсткість, в точках на поверхні останнього, де виконується умова $\sin \Theta_{1+} \alpha_2 = \alpha_1$, виникає критичний стан. Він характеризується тим, що в цих точках для фронту заломленої хвилі добуток радіусів кривини поверхні фронту $RS \rightarrow 0$, то-

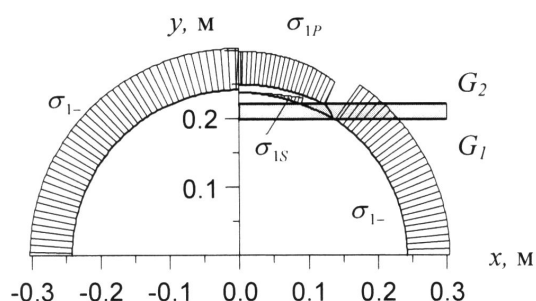


Рис. 2. Перерозподілення інтенсивності хвилі сильних розривів у воді пружним екраном

Fig. 2. Waves of heavy breaks in the water with elastic barrier integrator

му $i_{2+} \rightarrow \infty$. Такий стан в геометричній оптиці називається повним внутрішнім відображенням.

Закритичний стан не досліджувався, тому що хвилі напружень в екрані перестають бути хвилями сильних розривів і створений алгоритм в цьому випадку втрачає силу. Отримані ефекти проілюстровано для екрана з органічного скла товщиною 0,02м. Приймались при розрахунках для води: $\rho_1 = 10^3$ кг/м³, $\alpha_1 = 1500$ м/с; для оргскла: $E = 5,25 \cdot 10^5$ Па, $\nu = 0,35$; $\alpha_2 = 2500$ м/с. Хвиля стиснення ініціювалася в точці розміщеній на відстані 0,2 м від поверхні екрана і викликала у воді на фронті в точці $x = 0$, $y = 0,2$ м в системі координат, пов'язаній з епіцентром вибуху, додаткове напруження $\sigma_{1-} = 10^6$ Па.

На Рис. 2 суміщені епюри додаткових напружень σ_{1-} у воді на фронті первинної хвилі сильних розривів при відсутності пружного екрана (ліворуч осі y) та напружень σ_{1P} , σ_{1S} на фронтах хвиль сильних розривів, які проникли через екран. Відображені хвилі від обох поверхонь екрана та епюри напружень на фронтах хвиль сильних розривів у середовищі екрана умовно не показані. Видно, що пружний екран перебудовує фронт хвилі сильних розривів у воді, розчіплюючи його на два фронти меншої інтенсивності зі зміщенням у часі.

Також досліджувався вплив хвилі сильних розривів на напружено-деформований

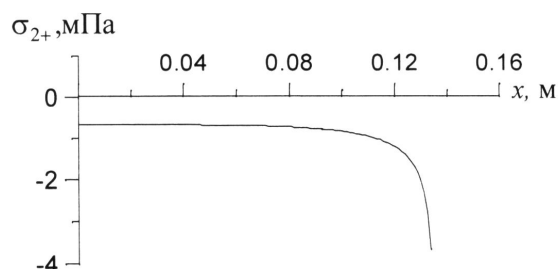


Рис. 3. Зміна напружень при віддаленні від точки падіння нормального до екрану променя

Fig. 3. Stress variations at the distance from normal incidence point to beam shield

стан екрана. На Рис. 3 зображено залежність напружень σ_{2+} в точках падіння променів хвилі сильних розривів на поверхню G_1 від координати x . Виявлено, що при наближенні падаючої хвилі на межі вода-екран до точок, де відбувається повне внутрішнє відображення, додаткові напруження σ_{2+} в ідеально пружних екранах стрімко зростають.

ВИСНОВКИ

З використанням запропонованого нового підходу для дослідження закономірностей поширення хвиль сильних розривів в пружних середовищах (в тому числі в неоднорідних та в композитних), який базується на використанні нульового наближення променевого методу, вивчено явище дифракції поздовжньої хвилі у воді на площинах пружного екрану. Виявлено, що пружний екран перебудовує фронт хвилі сильних розривів, розчіплюючи його на два фронти у воді за екраном (від поздовжньої і поперечної хвиль в екрані), які мають меншу інтенсивність та зміщені у часі.

Теоретично обґрунтовано явище квазіповного внутрішнього відображення, що підтверджено експериментально, при якому стрімко зростають деформації і напруження в екрані. Слід підкреслити, що знайдений ефект необмеженого зростання деформацій і напружень в точці квазіповного внутрішнього відображення на межах розділу пружних середовищ справедливий лише в рамках теорії ідеально пружних тіл. У реальних суцільних середовищах, що не є ідеально пружними, цей ефект виявляється в швидкому збільшенні цих параметрів в околі особливої точки.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Гольдсмит В., 1965.** Удар. Теория и физические свойства соударяемых тел. Москва, Изд-во литературы по строительству, 456.
2. **Гуз А.Н., Головчан В.Т., 1972.** Дифракция ударных волн в многосвязных телах. Киев, Наукова думка, 254.

3. **Гуляев В.И., Луговой П.З., Иванченко Г.М., 1997.** Дифракция сферической ударной волны на плоскости раздела упругих сред. Прикладная механика, Т.33, №10, 51-58.
4. **Подильчук Ю.Н., Рубцов Ю.К., 1988.** Лучевые методы в теории распространения и рассеивания волн. Киев, Наукова думка, 220.
5. **Аникьев И. И., Гуляев В.И., Иванченко Г. М., Луговой П.З., Сущенко Е. А., Яковенко Е.В., 2000.** Об эффекте квазиполного внутреннего отражения ударных волн на границах раздела упругих сред. Прикл. механика и техн. физика, Т.41, №1, 21-27.
6. **Иванченко Г. М., 2008.** Повне внутрішнє відображення розривних хвиль на межах анізотропних середовищ. Опір матеріалів і теорія споруд, №82, 137-145.
7. **Гуляев В. И., Иванченко Г. М., 2009.** Критические состояния взаимодействия разрывных волн с поверхностями раздела упругих сред. Прикладная механика, Т.45 (55), №2, 79-90.

REFERENCES

1. **Goldsmith V., 1965.** Udar. Teoriya i fizicheskie svojstva soudaryaemych tel [Impact. The Theory and Physical Behavior of Colliding Solids]. Moskau, Izdatelstvo literatury po stroitelstvu, 456.
2. **Guz A.N., Golovchan V.T., 1972.** Difrakciya udarnych voln v mnogosvyaznyh telach [Diffraction of shock waves in multiconnected bodies]. Kiev, Naukova dumka, 254.
3. **Gulyaev V.I., Lugovoj P.Z., Ivanchenko G.M., 1997.** Difrakciya sfericheskoy udarnoj volny na ploskosti razdela uprugich sred [Diffraction of Spherical Shock Waves on Interfaces of Elastic Media]. Prikladnaya mehanika [International Applied Mechanics]. Vol.33, №10. 51-58.
4. **Podilchuk Yu.N., Rubcov Yu.K., 1988.** Luchevye metody v teorii rasprostraneniya i rasseivaniya voln [Ray Methods in Theory of Propagation and Diffraction of Waves]. Kiev, Naukova dumka, 220.
5. **Anikev I. I., Gulyaev V. I., Ivanchenko G. M., Lugovoj P.Z., Sushhenko E. A., Yakovenko E.V., 2000.** Ob effekte kvazipolnogo vnutrennego otrazheniya udarnych volch na granicach razdela uprugich sred

[Effect of quasi-total internal reflection of shock wave at an interface between two elastic media]. Prikl. mechanika i techn. fizika [Journal of Applied Mechanics and Technical Physics], Vol.41, №1, 21-27.

6. **Ivanchenko G.M., 2008.** Povne vnutrishnje vidobrazhennya rozrivnich chvil na mezhach anizotropnich seredovishh [Total internal mapping of discontinuous waves on boundaries anisotropic environment]. Opir materialiv i teoriya sporud [Strength of Materials and Theory of Structures], Nauk.-texn.zbirnyk, KNUCA, № 82, 137-145.
7. **Gulyaev V.I., Ivanchenko G.M., 2009.** Kriticheskie sostoyaniya vzaimodejstviya razryvnych voln s poverchnostyami razdela uprugich sred [The critical state of interaction discontinuous waves with surface of elastic environment]. Prikladnaya mechanika [International Applied Mechanics], Vol.45 (55), №2, 79-90.

CRITICAL STATE OF THE WAVE INTERACTION OF HEAVY BREAKS IN THE WATER WITH ELASTIC BARRIER

Grygorii Ivanchenko

Kyiv National University of Construction and Architecture,
Povitroflotskyy prosp., 31, Kyiv, Ukraine, 03680.
e-mail: ivgm@mail.ru

Summary. Work shadowing is oriented at the analysis of spherical front diffraction of heavy breaks S-wave in the water with elastic barrier and stress calculations which appear in the elastic barrier in position of mutual wave front interaction. Analytic investigations with ray-trace method application were introduced and real data were illustrated in this work. It was explored that the elastic barrier regroups heavy breaks wave in the water front uncoupling it into two fronts of less intensity with time bias. Significant development phenomenon of strains and stresses at the point of quasicomplete inner mapping at the breaking point of discontinuity structures was proved. The results of investigation can be used for measures development aimed at underwater objects protection from blast effects. This work is of research and practice interest.

Key words: elastic subsurface, waves of significant faults, impact, critical states.

Динаміка підводних розгалужених тросових систем

Олександр Безверхий

Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України
вул. П. Нестерова, 3, Київ, Україна, 03057, e-mail: o_bezver@ukr.net

Анотація. Досліджено динаміку та параметри коливань тросових елементів розгалужених конструкцій з урахуванням розслаблень в окремих елементах в умовах розвинутого морського хвилювання, течій та вимушених зміщень.

Ключові слова: підводні розгалужені тросові системи, морське хвилювання.

ВСТУП

Різноманітні розгалужені підводні буксирні (ПБС) та заякорені тросові системи (Рис. 1) широко застосовуються при проведенні розвідки та видобутку корисних копалин і обслуговування підводних родовищ, оглядів акваторій, дослідженні профілю та ресурсів морського дна, лову та розведення риби, при будівництві і експлуатації плавучих бурових платформ та інших гідроспоруд, а також в якості

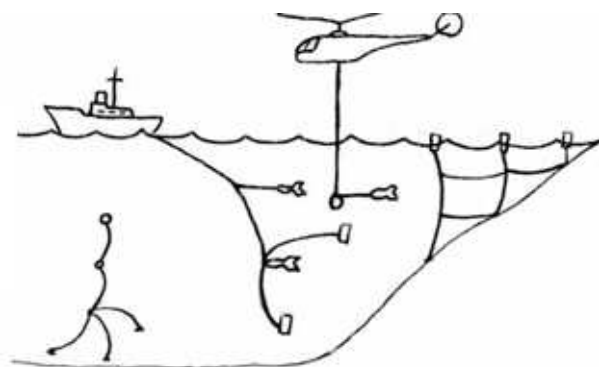


Рис. 1. Підводні розгалужені тросові системи
Fig. 1. Submarine branched cable systems

бонових огорожень для обмеження розливів нафти тощо [4].

Такі конструкції мають специфічні пружні властивості, які полягають у тому, що вони працюють на розтягування і не працюють на стискання [1, 8], що приводить до появи ривків у гнучких елементах. Для зменшення дії ривків і вібрації в таких системах доцільне використання тросів з в'язкопружними і нелінійно-пружними характеристиками, залежність між натягом і деформацією яких можна записати у вигляді [8]

$$T = C_E \varepsilon + C_{E_1} \varepsilon^2 + C_{E_2} \frac{\partial \varepsilon}{\partial t}, \quad (1)$$

де T – сила натягу, $\varepsilon = \frac{ds - dl}{dl}$ – відносне видовження, s, l – поточна координата до і після деформації, t – час, C_E, C_{E_1}, C_{E_2} –

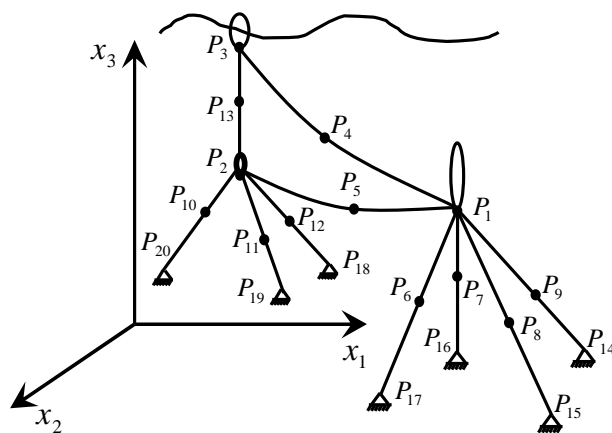


Рис. 2. Схема розгалуженої тросової системи
Fig. 2. Driving branched cable system

пружні постійні для лінійно, нелінійно і в'язкопружних матеріалів.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

1. Рух розгалужених просторових гнучких структур розглядається в нерухомій системі координат $Ox_1x_2x_3$. На гнучких елементах розгалуженої конструкції Рис. 2 вибирається послідовність точок $P_i(x_{ki})$, $k=1,2,3$, $i=\overline{0,N}$ так, щоб деякі з них співпадали з кінцями, місцями розгалужень та прикладення зосереджених сил, кріплення тіл. З розгалуженою структурою зв'язується граф, вершини якого відповідають вибраним точкам, ребра – з відрізкам троса, що їх з'єднують. Для цього графа будується матриця інцидентності розміром $N \times N$, де елементам з ребрами відповідає 1, а елементам без ребер – 0.

На проміжку між точками P_i і P_j рух відрізка гнучкого елемента можна описати при допомозі радіус-вектора $\vec{R}_{ij} = \sum_{k=1}^3 \vec{R}_{kij} \vec{e}_k$, де R_{kij} – функції, що виражають зв'язок довжин осі троса і координат точок P_i в нерухомій системі координат. Введемо звичайну параметризацію від довжин недеформованої осі l троса. Нехай s – довжина осі троса від точки P_0 до точки P' , в яку перемістилась точка P після деформації. На систему діють як масові, так і поверхневі (гідродинамічні) сили. Інтенсивність останніх залежить від орієнтації гнучких елементів у потоці, параметрів потоку і параметрів конструкції. Враховуємо закон збереження маси і те, що гнучкі елементи на стискання не працюють. Використовуючи узагальнення принципу віртуальної роботи на динамічні задачі [5], оберемо за узагальнені координати просторові координати точок дискретизації x_{ki} і одержимо систему рівнянь, що описують рух розгалуженої системи з закріпленими точками та тілами в рідині.

$$\int_0^1 \sum_{ij}^N ((m_{ij} \ddot{\vec{R}}_{ij} \frac{\partial \vec{R}_{ij}}{\partial x_{kp}} - m_{aij} (\dot{\vec{V}} - \dot{\vec{R}}_{ij}) | \vec{\tau}_{ij} | \frac{\partial \vec{R}_{ij}}{\partial x_{kp}} + f_{ij} (|\vec{\tau}_{ij}| - 1) H(|\vec{\tau}_{ij}| - 1) | \vec{\tau}_{ij} | \frac{\partial |\vec{\tau}_{ij}|}{\partial x_{kp}} + ((\rho F_{ij} | \vec{\tau}_{ij} | - m_{ij}) \vec{g} - \frac{C_{nij}}{|\vec{\tau}_{ij}|} | \vec{\tau}_{ij} | \times (\vec{V} - \dot{\vec{R}}_{ij})) \times ((\vec{V} - \dot{\vec{R}}_{ij}) - \tau_{ij} ((\vec{V} - \dot{\vec{R}}_{ij}) \vec{\tau}_{ij})) \frac{1}{|\vec{\tau}_{ij}|^2} - \frac{C_{\tau ij}}{|\vec{\tau}_{ij}|} | \vec{\tau}_{ij} | (\vec{V} - \dot{\vec{R}}_{ij}) | \vec{\tau}_{ij} | ((\vec{V} - \dot{\vec{R}}_{ij}) \vec{\tau}_{ij}) \frac{1}{|\vec{\tau}_{ij}|^2}) \times \frac{\partial \vec{R}_{ij}}{\partial x_{kp}}) d\xi + M_m \ddot{x}_{ko} + \vec{F}_m \frac{\partial \vec{R}_b}{\partial x_{ko}} = 0, \quad (2)$$

де $\tau_{ij} = \frac{\partial \vec{R}_{ij}}{\partial l}$, $\xi = l/L_{ij}$, $k=1,2,3$, $p = \overline{1, N-r}$, m_{ij} і m_{aij} – маса і приєднана маса, L_{ij} – довжина троса, F_{ij} – площа перерізу, C_n, C_τ – коефіцієнти гідродинамічного опору руху (нормального і дотичного) ij -го відрізка гнучкого елемента, \vec{V} – вектор швидкості потоку, ρ – щільність рідини, \vec{g} – вектор вільного падіння, M_m – маса тіл, \vec{F}_m – сили, що діють на тіла.

Силу гідродинамічного опору руху в рідині беремо пропорційно квадрату відносної швидкості руху гнучкого елемента й рідини $\vec{U} = \vec{V} - \vec{v}$ і записуємо у вигляді двох складових [7]:

$$\text{нормальної} \quad \vec{U}_n = \vec{U} - \vec{U}_\tau = \vec{U} - \frac{1}{|\vec{\tau}|^2} (\vec{U} \vec{\tau}) \vec{\tau}$$

$$\text{та дотичної} \quad \vec{U}_\tau = (\vec{U} \vec{\tau}) \vec{\tau} = \left(\vec{U} \frac{\vec{\tau}}{|\vec{\tau}|} \right) \frac{\vec{\tau}}{|\vec{\tau}|}$$

Сила опору при цьому буде

$$\vec{f}_c = C_n |\vec{U}_n| \vec{U}_n + C_\tau |\vec{U}_\tau| \vec{U}_\tau$$

або

$$\vec{f}_c = C_n \frac{1}{|\vec{\tau}|^3} \sqrt{\vec{U}^2 |\vec{\tau}|^2 - (\vec{U} \vec{\tau})^2} (\vec{U} |\vec{\tau}|^2 - (\vec{U} \vec{\tau}) \vec{\tau}) + C_\tau \frac{1}{|\vec{\tau}|^3} |\vec{U} \vec{\tau}| (\vec{U} \vec{\tau}) \vec{\tau}.$$

Коефіцієнти пропорційності C_n і C_τ є функціями експериментальних коефіцієнтів опору, густини рідини, поперечних розмірів гнучкого елемента і визначаються на основі теорії подібності. Для циліндричних тіл, якими здебільшого являються троси, канати, кабелі, вони приймаються у вигляді $C_n = \frac{1}{2} \rho_c K_n d$ і $C_\tau = \frac{1}{2} \rho_c K_\tau P$, де d , P – діаметр і периметр поперечного перерізу гнучкого елемента; K_n і K_τ – коефіцієнти опору, які є функціями числа Рейнольдса $Re = V(d/\nu)$. При стаціонарному обтіканні в діапазоні чисел $Re = 10^3 \div 10^6$, $K_n = 1,2$, $K_\tau = 0,02 \div 0,005$.

Силу інерції приєднаної маси рідини беремо пропорційно відносному прискоренню

$$\vec{f}_a = m'_a (\dot{\vec{V}} - \dot{\vec{v}}) = C_a \dot{\vec{U}}, \quad \vec{U} = \vec{V} - \dot{\vec{R}},$$

$$C_a = m_a \frac{\partial l}{\partial s} = m_a / |\vec{\tau}| = \lambda_a \rho_c F.$$

Проведемо деталізацію сил, що діють на тіла [7].

Сила плавучості m -го тіла буде

$$\vec{F}_m = (M_{Tm} - \rho_c V_{Tm}) \vec{g}.$$

Силу опору тіла будемо брати пропорційно квадрату відносної швидкості тіла

$$\vec{F}_{fm} = C_{Tm} |\vec{V}_m - \dot{\vec{R}}_{Tm}| (\vec{V}_m - \dot{\vec{R}}_{Tm}).$$

Коефіцієнт C_{Tm} залежить від експериментальних коефіцієнтів опору, щільнос-

ті рідини, розмірів тіла і його можна записати у вигляді $C_{Tm} = K_{Tm} \rho_c S_{Tm}$.

Силу інерції приєднаної маси беремо пропорційно відносному прискоренню $\vec{F}_{am} = \lambda_{Tm} \rho_c V_{Tm} (\dot{\vec{V}} - \ddot{\vec{R}}_{Tm})$. Коефіцієнти λ_m знаходяться експериментально або розраховуються по одній теорії обтікання

Якщо в деяких r - точках задані кінематичні крайові умови $\vec{R}_{r(i)}^0 = \vec{R}_{r(i)}^0(t)$, тоді в системі (2) кількість рівнянь зменшиться на r рівнянь з відповідними номерами.

Для дискретизованої системи початкові умови мають вигляд

$$\vec{R}_{ki}(l, t)|_{t=0} = \vec{R}_{kit}(l), \quad \vec{v}_{ki}(l, t)|_{t=0} = \vec{v}_{kit}(l).$$

Основні типи крайових умов:

– якщо задані переміщення обох країв, або один із країв не рухається, то маємо кінематичні крайові умови

$$\vec{R}_{k0}(l, t) = \vec{R}_{k0}(t), \quad \vec{R}_{kN}(l, t) = \vec{R}_{kN}(t);$$

– для автономних систем використовуються динамічні крайові умови, тобто записується баланс сил на крайові точки

$$\vec{T}_{k0}(l, t) = \vec{T}_{k0}(t), \quad \vec{T}_{kN}(l, t) = \vec{T}_{kN}(t);$$

– в задачах буксирування маємо комбіновані крайові умови, тобто на одному із країв задано переміщення, а на другому – динамічний баланс сил

$$\vec{R}_{k0}(l, t) = \vec{R}_{k0}(t), \quad \vec{T}_{kN}(l, t) = \vec{T}_{kN}(t).$$

Для визначення радіус-векторів $\vec{R}_i(l, t)$ функція зв'язку довжин дуг осей відрізків зв'язків і координат точок P_i виражається за допомогою параметричних локальних сплайнів першого ступеня [6]

$$\vec{R}_i(l, t) = \sum_{k=1}^3 (x_{ki} + (x_{k+1} - x_{ki}) \xi) \vec{e}_k$$

або третього ступеня

$$\bar{R}_i = \sum_{k=1}^3 R_{ki} \bar{e}_k = \sum_{k=1}^3 (x_{ki}(1-\xi) + x_{ki+1}\xi - \xi(1-\xi)L_i^2((2-\xi)M_{ki} + (1+\xi)M_{ki+1})/6) \bar{e}_k,$$

де ξ – параметр сплайна.

Запропонована методика використана для зведення нелінійних початково-крайових задач динаміки гнучких розгалужених систем з тілами до розрахункових систем звичайних диференціальних рівнянь, тобто задачі Коші по часу.

В результаті підстановки виразів для радіус-векторів в рівняння руху і проведення інтегрування, одержана система $3(N+1)-r$ звичайних нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку відносно x_{kj} , де r – кількість кінематичних крайових умов

$$\begin{aligned} & \sum_{i=0}^{N-1} (L_i(m_i + m_{ai})(\ddot{x}_{ki}\alpha_{ij} + \ddot{x}_{ki+1}\beta_{ij})) + \\ & + (M_{Tj} + \lambda_{Tj} \rho_c V_{Tj}) \ddot{x}_{kj} = \\ & = \sum_{i=0}^{N-1} \left[-g(m_i L_i - \rho_c F_i S_i) \delta_{k3} \chi_{ij} + \right. \\ & + \frac{1}{L_i} f\left(\frac{S_i}{L_i} - 1\right) H\left(\frac{S_i}{L_i} - 1\right) (x_{ki+1} - x_{ki})(\delta_{i+1j} - \delta_{ij}) + \\ & + C_{ci} \frac{X_{ki}}{S_i^2} \text{sign}\left(\sum_{m=1}^3 X_{mi} (V_m - \dot{x}_{mi+1})\right) \times \\ & \times \sum_{m=1}^3 \sum_{p=1}^3 X_{mi} X_{pi} (V_m V_p \chi_{ij} - V_p (\dot{x}_{mi} \alpha_{ij} + \dot{x}_{mi+1} \beta_{ij}) - \\ & - V_m (\dot{x}_{pi} \alpha_{ij} + \dot{x}_{pi+1} \beta_{ij}) + \dot{x}_{mi} \dot{x}_{pi} \xi_{ij} + \\ & + (\dot{x}_{mi+1} \dot{x}_{pi} + \dot{x}_{mi} \dot{x}_{pi+1}) \theta_{ij} + \dot{x}_{mi+1} \dot{x}_{pi+1} \eta_{ij}) + \\ & + C_{ni} \int_0^1 \sqrt{(W_{li} X_{2i} - W_{2i} X_{li})^2 + (W_{2i} X_{3i} - W_{3i} X_{2i})^2} + \\ & \quad \left. + (W_{3i} X_{li} - W_{li} X_{3i})^2 \right) \times \\ & \times \left(W_{ki} - \sum_{m=1}^3 W_{mi} X_{mi} / S_i^2 \right) ((1-\xi) \delta_{ij} + \xi \delta_{i+1j}) d\xi + \\ & \quad \left. m_{ai} \dot{V}_k \chi_{ij} \right] + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & + g(M_{Tj} - \rho_c V_{Tj}) \delta_{k3} + \lambda_{Tj} \rho_c V_{Tj} \dot{V}_k + \\ & + C_{Tj} \rho_c S_{Tj} \sqrt{\sum_{m=1}^3 (V_m - \dot{x}_{mj})^2} (V_k - \dot{x}_{kj}), \end{aligned}$$

де $k = 1, 2, 3, j = \overline{0, N}$,

$$W_{ki} = V_k - (1-\xi) \dot{x}_{ki} - \xi \dot{x}_{ki+1},$$

$$X_{ki} = x_{ki+1} - x_{ki}, S_i = \sqrt{X_{li}^2 + X_{2i}^2 + X_{3i}^2},$$

$$\alpha_{ij} = (2\delta_{ij} + \delta_{i+1j})/6, \beta_{ij} = (\delta_{ij} + 2\delta_{i+1j})/6,$$

$$\zeta_{ij} = (3\delta_{ij} + \delta_{i+1j})/12, \eta_{ij} = (\delta_{ij} + 3\delta_{i+1j})/12,$$

$$\theta_{ij} = (\delta_{ij} + \delta_{i+1j})/12, \chi_{ij} = 6\theta_{ij}.$$

Розрахункову систему рівнянь $3(N+1)-r$ звичайних диференціальних рівнянь другого порядку відносно x_{kj} можна подати у вигляді

$$[\ddot{x}_{kp}] [A] = \Phi(x_{kp}, \dot{x}_{kp}).$$

Розв'язок нормалізованої нелінійної задачі Коші знаходимо чисельно, користуючись багатокроковими методами типу предиктор-коректор.

2. Використовуючи запропонований підхід, досліджені коливання сіткових буйково-заякорених систем під дією морсько-го хвилювання.

Зокрема, для системи, що представлена на рис. 3: число точок заякорення – 4, число буйків – 4, число горизонтальних рядів – 1, число вертикальних гілок – 4, число діагональних ділянок – 4. Сили, що діють на буй, визначаються аналогічно [3]. За початкову обрано незбурену конфігурацію структури

$$\bar{x}_j|_{t=0} = \bar{x}_j^0; \quad \dot{\bar{x}}_j|_{t=0} = 0.$$

Для плоских морських хвиль, що набігають на структуру по осі головної діагоналі конструкції (буйки 1-3) з періодом $T_w = 6,4$ с, на Рис. 4 представлені вертикальні переміщення буйків по часу, з яких випливають відмінності в амплітудах і фа-

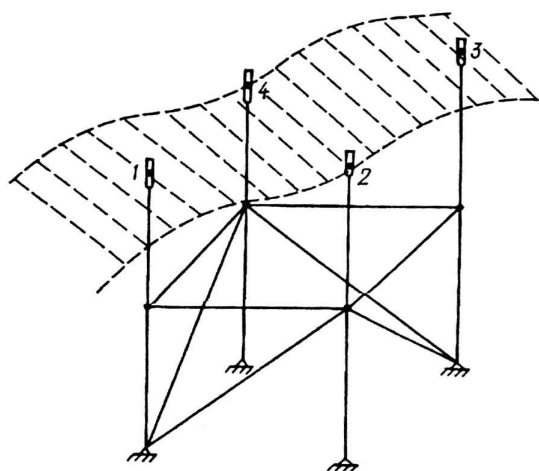


Рис. 3. Схема буйково-заякореної системи
Fig. 3. Driving-anchored buoy system

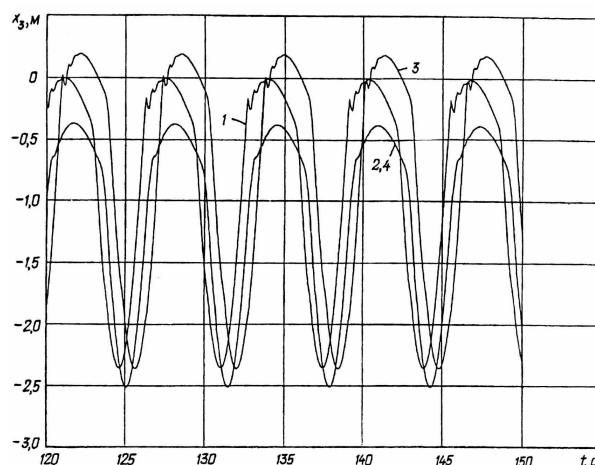


Рис. 4. Вертикальні переміщення буйків
Fig. 4. Vertical movement of the buoys

зах коливань буйків, а також їх занурення. При цьому вертикальні коливання буйків 2 і 4 співпадають в часі. В просторі буйки 1 і 3 зносяться хвилюванням тільки у напрямі бігу хвиль, причому 1 буйок зноситься більше за інших, а буйки 2 і 4 зносяться як у напрямі бігу хвиль, так і стягуються до центру конструкції.

Розглядаючи зміну натягу у вертикальній гілці конструкції під буйком 2 в часі, що представлена на рис. 5, можна зробити

такий висновок: на всіх ділянках вертикальної гілки (1 – під буйком, 2 – над стиком з горизонтальною гілкою, 3 – під стиком з горизонтальною гілкою, 4 – для точки заякорення) спостерігаються ривки, причому на верхній ділянці величина ривка дещо менше ніж на нижньому, що можна пояснити частковим гасінням величини ривка вагою ділянки вертикальної гілки, яка вільно висить. Аналогічна картина спостерігається у всіх вертикальних гілках (коли натяг дорівнює нулю).

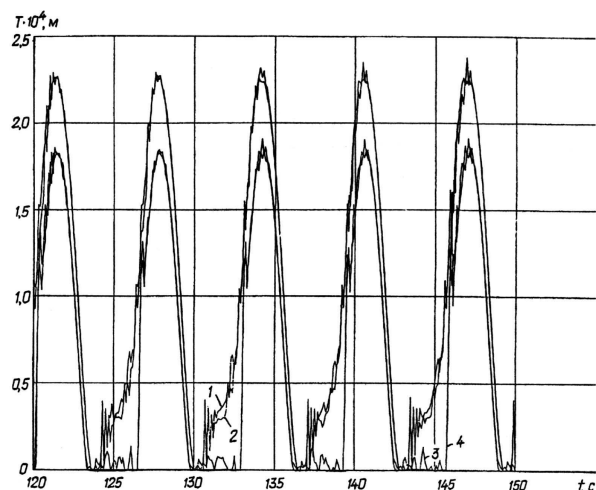


Рис. 5. Зміна натягу у вертикальній гілці конструкції під буйком 2 у часі
Fig. 5. Changing the tension in the vertical branch structure under the buoy 2 in time

3. Розглянемо буксирування системи [2], яка складається з двох гілок тралення (розтягуються в протилежні сторони при допомозі вертикальних крил відвідників, що мають постійну силу F_0 відведення, направлену перпендикулярно до лінії буксирування в різні боки) та підтримуючого буя (кріпиться до точки розгалуження), на хвилюванні рис. 6.

Конкретні розрахунки проводилися для таких параметрів ПБС: довжина буксирного троса до точки розгалуження 200м, довжини відвідників по 100м, підтримуюча гілка завдовжки 100м. Початок системи координат суміσιμο з точкою кріплення буксира. Задамо напрям осі $0x_1$ проти ходу хвиль, осі $0x_3$ – проти напрямку вектора

\vec{g} , а вісь $0x_2$ направлена так, щоб доповнювала трійку правої системи координат. Тоді закон руху буксированого кінця набуде вигляду

$$\begin{aligned} x_{15} &= V_b t_H + x_H & x_{25} &= 0 & x_{35} &= 0 \\ \dot{x}_{15} &= V_b & \dot{x}_{25} &= 0 & \dot{x}_{35} &= 0, \\ \ddot{x}_{15} &= 0 & \ddot{x}_{25} &= 0 & \ddot{x}_{35} &= 0 \end{aligned}$$

де x_H – початкове відхилення точки буксування від початку координат. В якості початкової обрана незбурена конфігурація структури: підводний апарат знаходиться на глибині 200м, буй – на поверхні води (Рис. 6). Розрахунки проводилися для таких параметрів ПБС: погонна маса троса $F_{ij}=0,0003\text{м}^2$, коефіцієнти пружності $C_{Eij}=10^7\text{Н}$ і в'язкопружності $C_{E2ij}=0,02 \cdot C_{Eij}$, коефіцієнти опору руху $C_{\pi ij}=0,78\text{кг/м}^2$, $C_{n ij}=15,6\text{кг/м}^2$, коефіцієнт приєднаної маси $C_{a ij}=0,4\text{кг/м}$. Площа мідельового перерізу циліндричного буйка 1м^2 , маса 100кг . Сила відведення $F_0 = 1\text{кН}$.

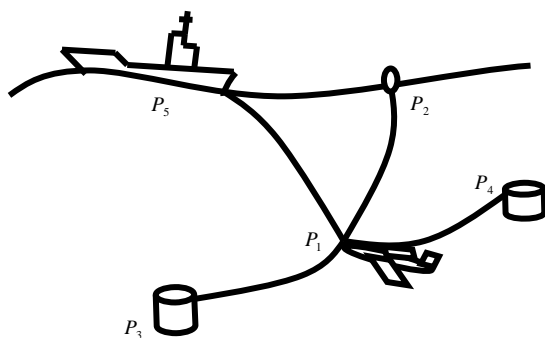


Рис. 6. Схема бусированої системи
Fig. 6. Driving towed system

Розглянемо зміну натягу в різних точках конструкції ПБС в часі при зміні швидкості буксування, коли хвилювання відсутнє (на тихій воді). На Рис. 7 представлені зміни натягу в точці кріплення буйка при східчастій зміні швидкості буксування з $V_b = 1\text{м/с}$ на $V_b = 3\text{м/с}$ у момент часу рівний 300 секунд. З рис.7 можна зробити висновок, що при миттєвій зміні швидкості

натяг значно збільшується, причому в початковий момент збільшується сходинкою, а потім плавно виходить на новий стаціонарний рух. На укрупненому фрагменті видно, що в'язкопружність добре згладжує вібрації, що виникають в пружному тросі.

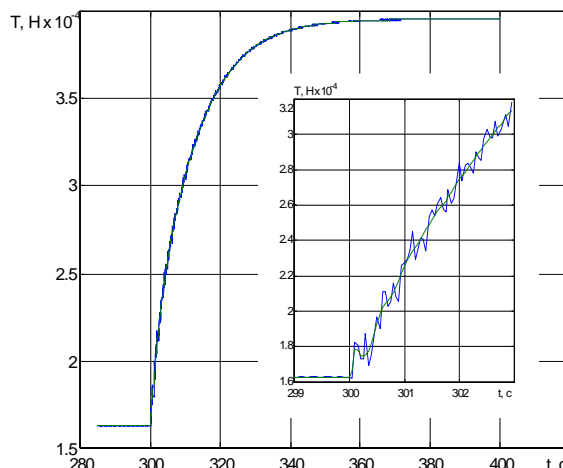


Рис. 7. Зміни натягу в точці кріплення буйка при східчастій зміні швидкості буксування з $V_b = 1\text{ м/с}$ на $V_b = 3\text{ м/с}$, у момент $t = 300\text{ с}$

Fig. 7. Changing the tension at the point of fixing of the buoy step change towing speed of $V_b = 1\text{ м/с}$ to $V_b = 3\text{ м/с}$ at the moment $t = 300\text{ s}$

На Рис. 8 представлено зміну натягу при сходинковій зміні швидкості буксування з $V_b = 1\text{м/с}$ на $V_b = 4\text{м/с}$ у момент часу рівний 300 секунд у корінному кінці (точці буксування) (крива 1), у точці кріплення відвідника (крива 2) та у точці кріплення бую (крива 3), при хвилях з періодом $T_w = 5,6\text{с}$.

З малюнка можна зробити висновок, що зміна натягу носить самий різний характер. Так, в корінному кінці при зростанні швидкості буксування ростуть як самі значення натягу, так і амплітуда зміни натягу $T_a = T_{\text{max}} - T_{\text{min}}$. В точці ж кріплення відвідника характер поведінки натягу такий же самий. В точці кріплення бую середнє значення натягу спочатку сильно зростає, а потім зменшується до величин, тро-

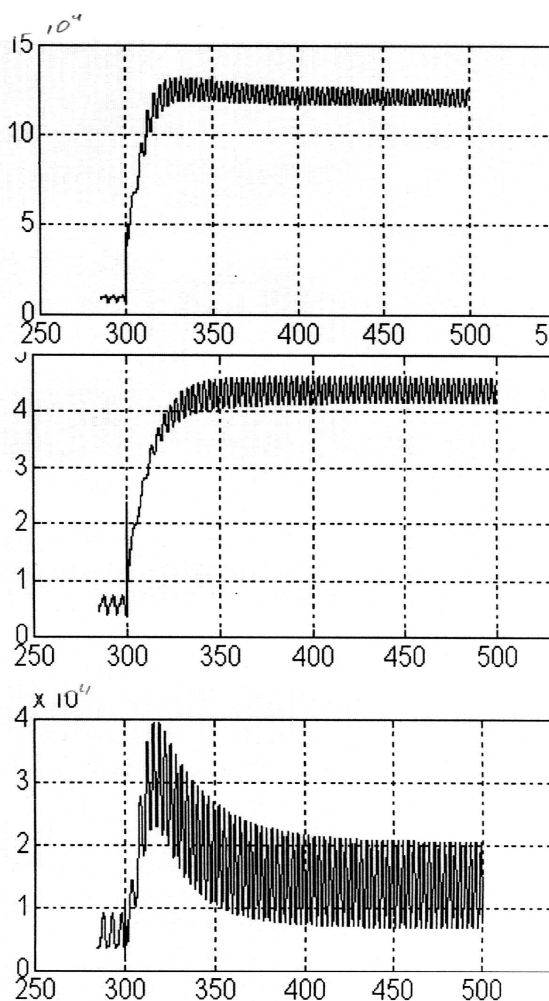


Рис. 8. Зміна натягу при сходинковій зміні швидкості буксирування з $V_b = 1\text{ м/с}$ на $V_b = 4\text{ м/с}$

Fig. 8. Changing the tension step change towing speed of $V_b = 1\text{ m/s}$ to $V_b = 4\text{ m/s}$

хи більших ніж до зміни швидкості, а амплітуда значно зростає. Причому як в корінному кінці, так і біля відвідника спостерігаються ривки. Такі ж закономірності зберігаються для середніх значень натягу і амплітуд й при інших зростаннях швидкості буксирування, тоді як для T_{\max} таких закономірностей немає.

На Рис. 9 представлені переміщення по глибині (координата x_3) точки кріплення буя системи при хвилях з періодом $T_w = 5,6\text{ с}$ і при зміні швидкості буксирування з 1 м/с до 2 м/с у момент часу рівний 300 секунд (1 – без хвилювання, 2 – на

хвилях). Бачимо, що амплітуда коливань буя при збільшенні швидкості буксирування зменшилась, також зменшилось і притоплення буя. При зміні швидкості буксирування з 1 м/с до 4 м/с амплітуда коливань буя теж зменшилась, але притоплення збільшилось, що слідує із Рис. 9, де представлені переміщення по глибині (координата x_3) точки кріплення буя системи при хвилях з періодом $T_w = 5,6\text{ с}$.

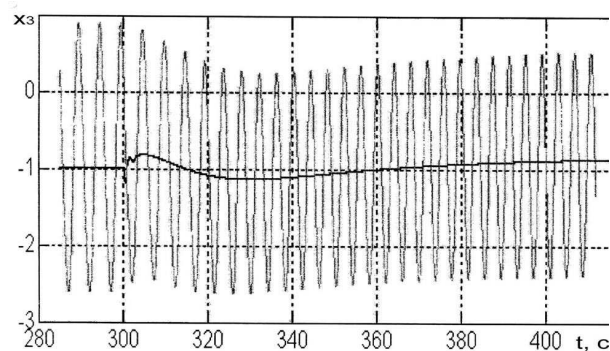


Рис. 9. Переміщення по глибині (координата x_3) точки кріплення буя

Fig. 9. Movements in depth attachment (coordinate x_3) points buoy

На Рис. 10 представлені переміщення відвідників (точки P_3, P_4 в площині x_1Ox_2 при переході з $V_b = 1\text{ м/с}$ на 4 м/с), які показують значне звуження зони захвату тралення. Поява ривків спостерігається як при сходинковому збільшенні швидкості буксирування, так і при її зменшенні.

Розглянуто зміну натягнення в різних точках конструкції ПБС в часі при зміні швидкості буксирування, і зроблено висновки, що при миттєвій зміні швидкості буксирування значно збільшується, причому в початковий момент збільшується сходинкою, а потім плавно виходить на новий стаціонарний рух і що в'язкопружність добре згладжує вібрації, що виникають в пружному тросі. В точці кріплення буя середнє значення натягу спочатку сильно зростає, а потім зменшується до величин, трохи більших ніж до зміни швидкості, а амплітуда значно зростає. Причому як в корінному кінці, так і біля відвідника спостерігаються ривки. Такі ж закономір-

ЛІТЕРАТУРА

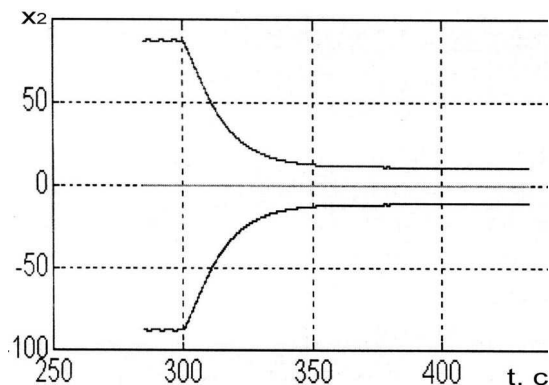


Рис. 10. Переміщення відвідників (точки P_3 , P_4 в площині x_1Ox_2 при переході з $V_b = 1\text{ м/с}$ на 4 м/с)

Fig. 10. Moving the wings (points P_3 , P_4 in the plane x_1Ox_2 during the transition from $V_b = 1\text{ m/s}$ on 4 m/s)

ності зберігаються для середніх значень натягнення і амплітуд й при інших зростаннях швидкості буксирування, тоді як для T_{\max} таких закономірностей немає.

ВИСНОВКИ

Запропонований спосіб розрахунку динаміки просторових розгалужених структур дозволяє визначити кінематичні і силові характеристики конструкції під дією хвилювання з врахуванням розслаблення в окремих її елементах. Проведений аналіз дозволяє зробити такі висновки: в'язкопружність впливає тільки при різкій зміні швидкості буксирування і практично не впливає при буксируванні на регулярному морському хвилюванні, тобто коли немає ривків. Проаналізовано також вплив в'язкопружності на натяг в кожному елементі розгалуженої системи, а також визначено елементи, в яких виникають розслаблення і відповідно – ривки. Одержано, що в'язкопружність добре згладжує післяривкові вібрації, крім першого ривка.

REFERENCES

1. **Баженов В.А., Гоцуляк Е.А., Кондаков Г.С., Оглобля А.И., 1989.** Устойчивость и колебания деформируемых систем с односторонними связями. Киев, Выща школа, 399.
 2. **Безверхий А.И., 1999.** Динамика разветвленной подводной буксируемой системы с поддерживающим бумом на волнении. Прикладная механика, 35, № 4, 107-111.
 3. **Безверхий А.И., 1999.** К расчету динамики разветвленных тросовых систем. Прикладная механика, 35, № 9, 106-110.
 4. **Бреббиа К., Уокер С., 1983.** Динамика морских сооружений. Ленинград, Судостроение, 232.
 5. **Васидзу К., 1987.** Вариационные методы в теории упругости и пластичности. Москва, Мир, 542.
 6. **Завьялов Ю.С., Квасов Б.И., Мирошниченко В.Л., 1980.** Методы сплайн-функций. Москва, Наука, 352.
 7. **Ньюмен Дж., 1985.** Морская гидромеханика. Ленинград, Судостроение, 368.
 8. **Шульга М.О., Безверхий О.И., 2007.** Динамика гибких деформируемых систем в жидкости. Прикладная механика, 43, № 8. 3-29.
1. **Bazhenov V.A., Gotsulyak E.A., Kondakov G.S., Ogloblya A.I., 1989.** Ustoychivost i kolebaniya deformiruemyyih sistem s odnostoronnimi svyazyami (Stability and oscillations of deformable systems with unilateral constraints). Kyiv, Vyischa shkola Publ., 399 (in Russian).
 2. **Bezverkhyi O.I., 1999.** Dinamika razvetvlennoy podvodnoy buksiruemyoy sistemyi s podderzhivayuschim buem na volnenii [Dynamics branched submarine towed system supporting the buoy in a seaway]. Int. Appl. Mech., 35, Nr. 4, 107-111 (in Russian)
 3. **Bezverkhyi O.I., 1994.** K raschetu dinamiki razvetvlennyih trosovyih system [To calculation of the dynamics of the branched cable systems]. Int. Appl. Mech., 35, Nr. 9, 106-110 (in Russian).
 4. **Brebbia C.A., Walker S., 1983.** Dinamika morskikh sooruzheniy [Dynamics Analysis of Offshore Structures]. Leningrad, Sudostroenie, 232 (in Russian).

5. **Vasidzu K., 1987.** Variatsionnyie metodyi v teorii uprugosti i plastichnosti [Variational methods in the theory of elasticity and plasticity]. Moscow, Mir Publ., 542 (in Russian).
6. **Zavyalov Yu.S., Kvasov B.I., Miroshnichenko V.L., 1980.** Metodyi splayn-funktsiy [Methods of spline functions]. Moscow, Nauka Publ., 352 (in Russian).
7. **Newmen J., 1985.** Morskaya gidromekhanika [Marine Hydromechanics]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 368 (in Russian).
8. **Shulha M.O., Bezverkhyi O.I., 2007.** Dinamika gibkikh deformiruemiyh sistem v zhidkosti [Dynamics of flexible deformable fluid systems]. Int. Appl. Mech., 43, Nr. 8. 3-29 (in Russian).

THE DYNAMICS OF SUBMARINE
BRANCHED CABLE SYSTEMS

Oleksandr Bezverkhyi

S.P. Timoshenko Institute of Mechanics National
Academy of Sciences of Ukraine
P. Nesterov str, 3, Kyiv, Ukraine, 03057,
e-mail: o_bezver@ukr.net

Summary. Research of dynamics of submarine flexible distributed systems with viscoelastic and nonlinear elastic elements and lumped masses under the action of the environment.

Based on prytsypu virtual work, and using graph theory constructed discrete and continuum equations of motion by initial boundary conditions for flexible systems with regard nepotentialnoprzhnyh properties during their one-sided work. Initial-boundary value problems are reduced to the Cauchy problems by the methods of spline functions.

The obtained qualitative (viscoelasticity little impact on the first peak ryvkovyh stress and well smooths the following; nonlinear elasticity ryvkovyh lowers stress, but smoothing them) and quantitative frequency response at different parameters of forced oscillations.

The work was made possible to construct a mathematical model and software of forced oscillations submarine branched cable systems.

A study of the dynamics of submarine branched cable systems.

Key words: branched underwater cable systems, sea waves.

«Великий шелковый путь»: современные проблемы реконструкции

Николай Жук*, Мирон Назарян**, Юрий Стельмахов***

* Славяно-Арийская академия наук
ул. Соколова 2, Харьков, Украина, 61000, e-mail: zna-@ukr.net

** Харьковский институт управления
ул. Шевченко 24, Харьков, Украина, 61013, e-mail: miron.29@mail.ru

*** Международная неправительственная гуманитарно-экологическая организация
«Интер-Чернобыль»
ул. Туркестанская, 24, оф. 60, Харьков, Украина, 61110, e-mail: s15121945@mail.ru

Аннотация. Представлен комплексный подход к технологическому решению глобальных проблем современной цивилизации. Показано, что в сочетании с работами по проекту «Озеленение пустынь» и программе «Ковчег» целесообразно разработать еще один глобальный проект по сооружению судоходного канала, совпадающего по трассе с древним «Великим Шелковым путём» из Китая в Европу.

Ключевые слова: Программа «Ковчег», Великий Шелковый путь, судоходный канал, глобальное потепление, озеленение пустынь.

ВВЕДЕНИЕ

Три системных кризиса, охвативших нашу Цивилизацию (перенаселенность планеты, экология, соотношение периодов смены поколений людей и технологий) [1, С.14-22], требуют нетривиальных подходов и решений, отличающихся от традиционного развязывания войн, политических инсинуаций, различного рода технологий массового истребления людей. Эти три кризиса усугубляются неотвратимым наступлением глобального потепления, связанного с действием космических факторов, на которые

обращается внимание людей всего мира в Концептуальном обращении к Человечеству [2] с призывом «Спасти людей от катаклизмов в условиях глобального потепления», а для этого всем участвовать в формировании и реализации Программы под условным названием «Ковчег».

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Конечно, одним каким-то линейным действием назревшие проблемы не решить. Нужно принимать такие решения, которые одновременно обеспечат нейтрализацию губительных факторов и стимулируют реализацию благоприятных процессов, а для этого необходим комплексный подход.

Не лишним было бы вспомнить удивительно точные предсказания Великого Нострадамуса о том, что три части людей погибнут, а две части останутся, и это произойдет тогда, когда в моду войдут игры гекатомбы. Другими словами – подлые игры.

А как иначе охарактеризовать массовое уничтожение людей, разыгрываемое сего-

дня сильными мира сего? Единственное, что ещё не совсем понятно, массовая гибель людей – это результат указанных Нострадамусом подлых игр или природных катаклизмов, которые Человечество прозеваает, не сможет предупредить? В любом случае массовое уничтожение людей ослабляет защитную реакцию Цивилизации на действие негативных космических факторов.

Целью работы является рассмотрение предлагаемой авторами идеи строительства комплекса гидротехнических сооружений в качестве демонстрации комплексного подхода к решению глобальных проблем технологическим путем, для чего требуется не просто отсутствие междоусобных войн, но дружелюбное сосуществование разных народов и наций.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Одним из самых главных проектов Программы «Ковчег» является проект «Озеленение пустынь» [3, С. 60-64], который технологическим путем комплексно решает ряд основных проблем мирового сообщества в виде снижения тепловой нагрузки от солнечной радиации локально на территории пустынь и глобально, одновременного обеспечения благоприятных условий для высокоэффективного производства про-

дуктов земледелия, удержания местного населения зоны пустынь от миграции в страны зоны умеренного климата (таким образом, обеспечивается сохранение государственности стран зоны пустынь, снижение социально-политической и экономической напряженности в странах зоны умеренного климата, связанной с массовым нашествием мигрантов), вовлечения зоны пустынь в улучшение качества атмосферы за счет генерации кислорода растительностью.

Мы помним, что в давние времена существовал на территориях Средней Азии караванный путь из Китая в Европу, который имел название «Великий Шелковый путь». Мы знаем, что КНР готовится к восстановлению этого пути на современных принципах и современной технологической базе. Для доставки товаров китайского производства намечается сухопутная трасса железнодорожного сообщения до побережья Черного моря, а дальше морской транспорт.

Подоплекой этого является гипертрофированное производство различных товаров на экспорт в рамках национальной политики КНР. Общеизвестно, что корабельные грузовые перевозки дешевле любых других видов транспортирования грузов. Предполагается морской терминал строить на берегу Крымского полуострова. Но до этого терминала очень много километров железнодорожных путей сообщения через пус-

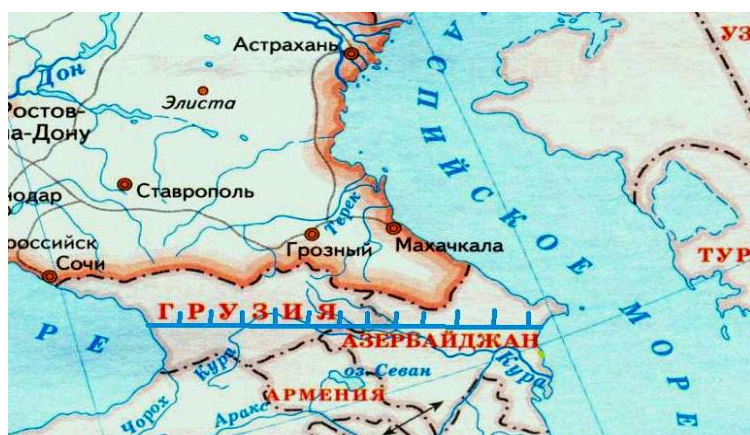


Рис. 1. Трасса судоходного канала с тоннелем от Каспийского до Черного моря

Fig. 1. The trass of the shihhing canal from Kaspian tu nhe Blak sea

тыни Средней Азии. Крым является уникальной природной курортной зоной и местом международного туризма, а его природные ресурсы находятся на грани экологической катастрофы. По нашему мнению Крым должен оставаться международной здравницей и продолжать удивлять людей всего мира своими красотами. Более того, есть альтернатива. Согласно идее академика Б.В. Болотова, предполагалось сооружение судоходного канала от Каспийского до Черного моря с тоннелем под горами Кавказа (Рис. 1).

Эта идея была предложена Б.В. Болотовым ещё в 1990 году и была поддержана рядом европейских государств. А заключалась она в том, что для поддержания уровня Каспийского моря в неизменном состоянии (чтобы таким образом еще и Аральское море спасти) нужно пробить под Кавказом тоннель, через который вода из Черного моря будет гарантированно под контролем перетекать в Каспийское, так как уровень последнего значительно ниже первого. При этом в Черное море будет приток более соленой и теплой воды из южных морей, что уменьшит интенсивность гнилостных процессов на дне Черного моря и обеспечит более теплый климат по его берегам. А тоннель он предложил соорудить высотой 70 м и шириной 70 м судоходным для морских судов, что улучшило бы обмен товарами между Западной Европой и странами Средней Азии и Ближнего Востока. Он так

же определил оптимальную трассу этого канала между Каспийским и Черным морями вдоль русел рек, впадающих в одно и другое море (как один из вариантов реки Терек и Риони или только Кура). Тоннель при этом пройдет по кратчайшему расстоянию через водораздел между участками канала с одной и другой стороны. Современные технологии и средства позволяют осуществлять такие гидротехнические работы, например [4].

Авторы настоящей работы предлагают трассу канала в соответствии с Рис. 2.

Перепад уровня воды в канале регулируется системой шлюзов. Горизонтальная часть канала со стороны Черного моря позволяет уменьшить энергозатраты на работу шлюзов, расположенных со стороны Каспийского моря, поскольку наполнение их водой будет происходить за счет поступления воды из Черного моря самотеком, а слив также самотеком в Каспийское море. Основной идеей данной работы является предложение соорудить от восточного берега Каспийского моря судоходный канал до территории Китая (Рис. 3).

Проект судоходного канала предлагается разработать и реализовать в рамках Программы «Ковчег» (Спасение людей от катаклизмов в условиях глобального потепления) [4, С. 456-462], поскольку он удачно комплексно сочетается с одним из главных проектов Программы «Ковчег» под названием «Озеленение пустынь» [5, С. 75- 78].

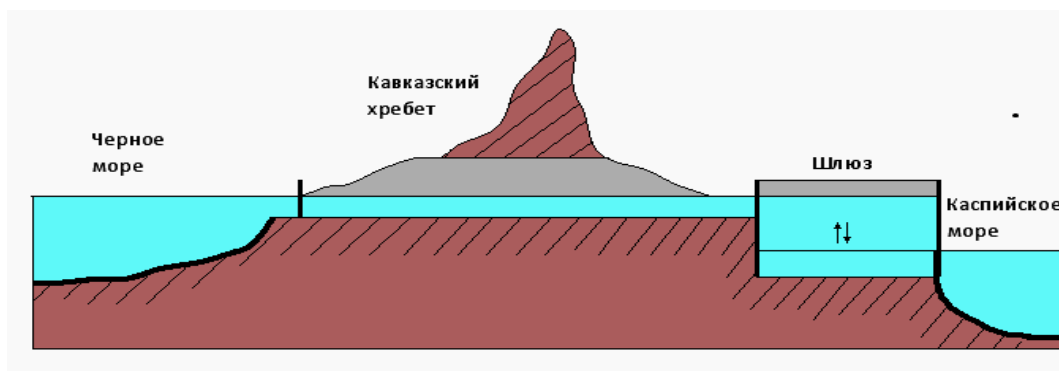


Рис. 2. Схема судоходного канала с тоннелем, соединяющим Черное и Каспийское моря

Fig. 2. Diagram of kanal whis tonnel joining Blak and Kaspian seas

Система озеленення буде забезпечувати оптимальні умови середовища проживання на прилеглих до каналу територіях, і сприяти зменшенню кількості безпо-

угрозой новой мировой войны) на поиск форм поистине *мирового сотрудничества* в сферах технологии, экономики, экологии.

ВЫВОДЫ

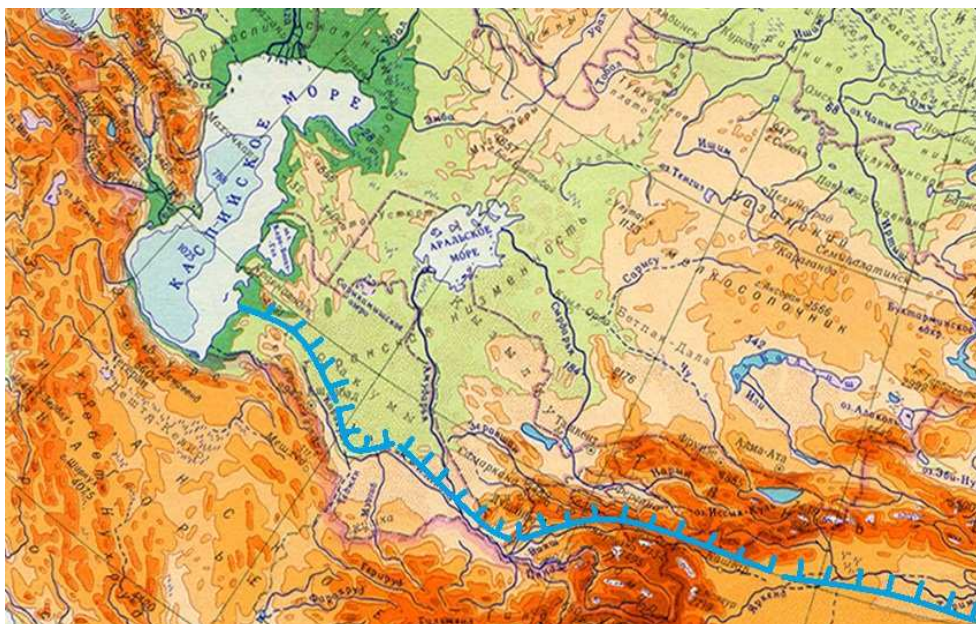


Рис. 3. Предлагаемая трасса судоходного канала от территории Китая до Каспийского моря

Fig. 3. Suggesting trass of the shihhing canal from territory of China tu nhe Kaspian sea

лезно испаряющейся воды из канала. А канал при этом также будет поставлять воду для орошения озеленяемой территории пустынь.

Конечно, для орошения необходимо воду опреснять, а для этого оптимальным будет использовать солнечное тепло и силу ветра. Общая длина канала в пять раз меньше планируемой трассы по Тихому и Индийскому океанам, через Красное и Средиземное моря. В этом плане имеется значительная экономия транспортных ресурсов и меньшая опасность транспортирования грузов.

В любом случае, обоснование и воплощение такого проекта послужило бы решению не только указанных глобальных и региональных проблем. Оно могло бы стимулировать мировое сообщество перенести акцент с выяснения приоритетов «мирового лидерства» (и даже «мирового господства»), что неминуемо рождает идеологическое и военное противостояние, всегда чреватое

1. Данное предложение (по сути это проект глобального масштаба) авторы рассматривают как один из примеров комплексного решения региональных и глобальных проблем мирового сообщества, в котором могут и должны участвовать все причастные народы на условиях сотрудничества и ответственности за судьбы всех людей.

2. Предлагаемый технологический путь комплексного решения региональных и глобальных проблем открывает новые перспективы применения горных, строительных, дорожных, мелиоративных машин и потребует инновационных решений в создании комфортной региональной инфраструктуры в зоне пустынь.

3. Положительный суммарный эффект от реализации этого предложения несомненно будет получен, хотя имеющимися в настоящий момент силами инициативной группы провести конкретный экономиче-

ский анализ нет возможности (из-за отсутствия финансовой поддержки).

4. Принимая во внимание большой интерес Китая, государств Средней Азии и Ближнего Востока к обмену товарами с Европой при минимальных транспортных затратах, а также интерес транзитных государств в получении дохода от транзита, можно предположить, что проект на основе данной идеи может стать проектом третьего тысячелетия.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Жук Н.А., 2007.** Глобальное изменение климата Земли и экология. Доклад на XV международной научно-технической конференции «Экологическая и техногенная безопасность. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов», 11-15.06.2007, Бердянск, Сб. науч. трудов, Т.1, Харьков, Водгео, 14-22.
2. **Жук Н. А., 2009.** О глобальном изменении климата. Программа "Ковчег". <http://proza.ru/2009/12/08/454>.
3. **Болотов М.Б., Жук Н.А., Назарян М.М., Стельмахов Ю.Н., 2013.** К проекту озеленения пустынь в контексте реализации программы «Ковчег». Материалы XXII Международного симпозиума Охрана биосферы. Эниология. Нетрадиционное растениеводство. Экология и медицина 8-15 сентября, Алушта, 60-64.
4. **Пелевін Л., Мельниченко Б., 2014.** Підвищення ефективності режиму роботи розпушувача. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, Вип.83, 85-90.
5. **Болотов М.Б., Жук Н.А., Назарян М.М., Стельмахов Ю.Н., 2010.** О формировании комплексной программы защиты человечества от природных катаклизмов. Вчені записки (науковий журнал) серія Наука і практика управління, Вип. 28, Харків, 456-462.
6. **Болотов М.Б., Жук Н.А., Назарян М.М., Стельмахов Ю.Н., 2014.** О программе «Ковчег» и проекте озеленения пустынь. Перспективы скоординированного социально-экономического развития России и Украины в общеевропейском контексте. Тр. II-й междунаучн.-практ. конф. Москва, РАН ИНИОН, 75-78.

REFERENCES

1. **Zhuk N.A., 2007.** Global'noe izmenenie klimata Zemli i yekologija. Doklad na XV mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferencii «Yekologicheskaja i tehnogennaja bezopasnost'. Ohrana vodnogo i vozdushnogo basseinov. Utilizacija othodov», 11-15.06.2007, g. Berdjansk Zaporozhskoi obl., Ukraina. Sb. nauch. trudov, t. 1, Har'kov: Vodgeo, 2007, 14-22.
2. **Zhuk N. A., 2009.** O global'nom izmenenii klimata Programma Kovcheg. <http://proza.ru/2009/12/08/454>.
3. **Bolotov M.B., Zhuk N.A., Nazarjan M.M., Stel'mahov YU.N., 2013.** K proektu ozelenenija pustyn' v kontekste realizacii programmy Kovcheg. Materialy NHI Mezhdunarodnogo simpoziuma Ohrana bionoosfery. Yeniologija, Netradicionnoe rastenievodstvo. Yekologija i medicina 8-15 sentjabrja, Alushta, 60-64.
4. **Pelevin L., Melnichenko B., 2014.** Pidvishcheniay effektivnosti rezhimy robotu rozpushnika [Increase of efficiency of the mode of operations of the ripper]. Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, constructional, road and melioration machines], Vol. 83, 85-90.
5. **Bolotov M.B., Zhuk N.A., Nazarjan M.M., Stel'mahov YU.N., 2010.** O formirovanii kompleksnoi programmy zashity chelovechestva ot prirodnyh kataklizmov. Vcheni zapiski (naukovii zhurnal) serija «Nauka i praktika upravlinnja», Vol. 28, Harkiv HIU, 456-462.
6. **Bolotov M.B., Zhuk N.A., Nazarjan M.M., Stel'mahov YU.N., 2014.** O programme Kovcheg i proekte ozelenenija pustyn', Perspektivy skoordirovannogo social'no-ekonomicheskogo razvitija Rossii i Ukrainy v obsheevropeiskom kontekste. Tr. P-i mezhd. nauchn.-prakt. konf. Moscow, RAN INION, 75-78.

"GREAT SILK ROAD": MODERN PROBLEMS
OF RECONSTRUCTION

*Nikolay Zhuk**, *Myron Nazarian***,
*Yury Stelmakhov****

* Slavic-Aryan Academy of Sciences
Sokolova st., 2, Kharkiv, Ukraine, 61000,
e-mail: zna-@ukr.net

** Kharkiv Institute of Management
Shevchenko st., 24, Kharkiv, Ukraine, 61013,
e-mail: miron.29@mail.ru

*** International non-governmental humanitarian
and ecological organization "Inter-Chernobyl"
Turkestan st., 24, of. 60, Kharkiv, Ukraine, 61110,
e-mail: s15121945@mail.ru

Summary. The complex going is presented near the technological decision of global problems of modern civilization. It is shown that in combination with works on a project "Planting of greenery of the deserts" and program "Ark" it is expedient to work out another global project on building of navigable channel from China to Europe.

Three systemic crisis is affecting our civilization and global warming require non-trivial approaches to solving the problems of mankind. Objective – to demonstrate an integrated approach to solving global problems through technology.

We consider the idea of building hydraulic complex navigable canals and tunnels through the desert and mountains along the route of the "Great Silk Road" with the simultaneous implementation of the project "Greening the desert".

Proposed Technological complex solution of regional and global problems opens up new prospects for the use of the mountain, building, road, reclamation machines and will require innovative solutions in creating a comfortable regional infrastructure in the desert and at the same time will help to solve some problems of the world community.

Key words: The "Ark" program, the Great Silk Road, shipping canal, Global warming, greening the desert.

Применение скважины с гравийно-зонтичным фильтром уширенного контура

Кришна Каястха

Киевский национальный университет строительства и архитектуры
03680, Воздухофлотский просп., 31, Киев, Украина, e-mail: kriskaes@gmail.com

Аннотация. Представлен новый тип водозаборной скважины с гравийно-зонтичным фильтром уширенного контура (ФУГЗ). Проведены исследования с использованием физических и электрических моделирований, а так же в полевых условиях. Найден оптимальные физические параметры конструкций. Введены аналитические – эмпирические формулы для расчёта гидравлических параметров и представлены рекомендации по применению скважин с гравийно-зонтичным фильтром уширенного контура.

Ключевые слова: электрическое и физическое моделирование скважин, водозаборные скважины, подземные воды, гравийно-зонтичный фильтр, водоснабжение, орошение.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В условиях повсеместного роста населения, промышленного и сельскохозяйственного производства постоянно возрастают потребности в воде для хозяйственно-питьевых целей, орошения и др. Большая роль в удовлетворении этих потребностей принадлежит подземным водам, для добычи которых основными сооружениями служат водозаборные скважины. На практике получило научное основание и практическое применение сооружение бесфильтровых водозаборных скважин в рыхлых породах. Эти скважины отличаются максимальными удельными дебатами, малой ме-

таллоёмкостью и более низкими эксплуатационными затратами. В качестве водоприёмника в них служит полость в самой верхней части пласта, разработанная под твёрдыми перекрывающими породами, которые образуют горизонтальную поверхность над водоприёмной воронкой. Однако такая конструкция может использоваться только при наличии не обрушаемой кровли, что ограничивает ее применение в мелкозернистых породах и других геологических разрезах [1].

ЦЕЛЬ СТАТЬИ

Целью статьи является иллюстрация конструкции скважин ФУГЗ, ее применение и эффективности.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Создание водозаборной скважины нового типа. В Поиски новых конструкций скважин с уменьшенными гидравлическими сопротивлениями и металлоёмкостью, сочетающих ряд достоинств бесфильтровых и фильтровых скважин с гравийной обсыпкой, привели к созданию водозаборной скважины нового типа для безнапорно-

го и слабо напорного пласта – скважины с гравийно-зонтичным фильтром уширенного контура (Рис. 1). Водоприёмником в этой скважине служит широкий раструб-зонтик, опускаемый в скважину и заменяющий устойчивую кровлю, а для увеличения водопротока устраивается ствол большого диаметра, который засыпается гравием [2].

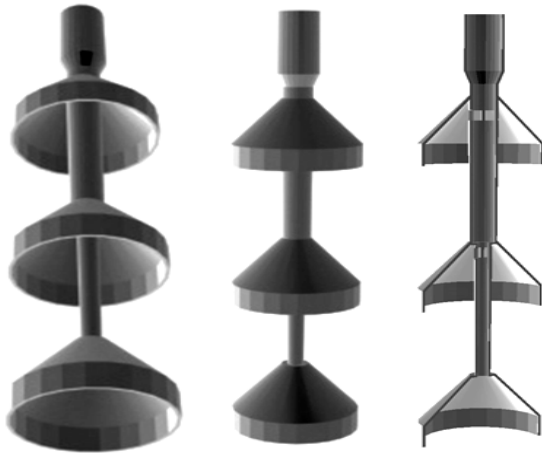


Рис. 1. Трёхмерные модели конструкции скважин с ФУГЗ

Fig. 1. Three-dimensional Model of Bell type Water Well Construction (BWW)

Подавляющее большинство населения Украины потребляет воду негарантированного качества. Это более чем 30 млн. людей. В большинстве этих населений проживают в сельских местах, и потребляет колодезную воду. Эти конструкции могут заменить колодцы, и какой-то мере защищать воду от поверхностного загрязнения. Современная технология бурения позволяет бурить скважины на разных грунтах [3, 4].

Были проведены комплексные исследования по электромоделированию, физическому моделированию, бурению и опробованию скважин в полевых условиях. Эти исследования включали также оценку параметров скважин с одним, двумя и тремя ярусами раструбов-зонтиков, исследование гидравлики притока и суффозионных процессов, разработку методики расчёта скважин предлагаемой конструкции. Преимущество новых конструкций скважин с гра-

вийно-зонтичным фильтром уширенного контура (ФУГЗ) в безнапорных и слабо напорных водоносных горизонтах по сравнению с традиционными фильтровыми конструкциями состоит в том, что при сооружении этих водозаборных скважин можно получить средний дебит (200...300 м³/сут) и можно использовать местные недефицитные материалы, гравий, а также детали не только из стальных, но и из бетонных и полиэтиленовых труб (в то время как на изготовление традиционных фильтров расходуется много нержавеющей стали и цветных металлов). Это открывает принципиально новые перспективы при проектировании систем сельскохозяйственного водоснабжения на базе подземных вод.

Одноярусная конструкция скважины с гравийно-зонтичным фильтром уширенного контура с ФУГЗ. Конструкция скважины с таким водоприёмником предназначена для добытия подземных вод из безнапорного или слабо напорного водоносного горизонта, сложенного рыхлыми песчаными отложениями. Конструкция отличается отсутствием традиционного фильтра, устойчивым во времени дебитом, меньшей металлоёмкостью, меньшей энергоёмкостью при эксплуатации за счёт понижения гидравлических сопротивлений и высоты подъёма воды при откачке. Металлический или пластмассовый раструб присоединён к нижнему концу обсадной колонны, причём нижний расширяющийся край раструба имеет цилиндрическую форму и заполнен гравием.

Скважина с ФУГЗ (Рис. 2, а) состоит из ствола 1 большого диаметра (600...1200 мм), гравийной засыпкой, обсадной колонны 4, раструба 5 с цилиндрическим краем 6, опущенных ниже уровня грунтовых вод 2, гидроизолирующей набивки 3 в затрубном пространстве поверх гравийной засыпки. Благодаря сводообразной форме раструба находится под минимальным горным давлением и поэтому предохранён от деформаций, а его расширенная нижняя часть образует увеличенную площадь фильтрации.

Гравійная засыпка в цилиндрической части раструба предохраняет ствол от бокового шпора пластовой породы. Одновременно гравийная засыпка в нижней части ствола, в затрубном пространстве, обладая достаточной массой частиц высокой фильтрующей способностью, обеспечивает увеличенный дебит и препятствует поступлению песчаных частиц водоносного пласта в ствол к насосу. Скважина работает следующим образом. Откачку ведут скважинным насосом, который опускают под уровень грунтовых вод 6. Вода поступает через гравийную засыпку 2 в нижней части раструба 5 и плоское дно.

Многоярусная конструкция скважины с ФУГЗ. Эта конструкция имеет увеличенный диаметр, несколько поэтажно расположенных водоприёмных раструбов-зонтиков, соединяющих их труб, гравийную засыпку. Многоярусную конструкцию скважины с ФУГЗ можно применять в напорном 11 и безнапорном 9, однослойном и многослойном водоносных песчаных пластах (Рис. 2, *b*). Скважина состоит из ствола 2 большого диаметра (600...1200 мм), гра-

вийной засыпки 6, обсадной колонны 2 и раструбов 3 с цилиндрическими краями, опущенных ниже уровня воды 1, соединительных труб 5 с отверстиями 7. В разрезе показаны слабо фильтрующая гидроизолирующая набивка 8 в затрубном пространстве поверх гравийной засыпки и водоупорный слой 10. Гравийная засыпка 6 в цилиндрической части нижнего раструба 4, за наружными стенками каждого раструба в нижней части ствола скважины и в затрубном пространстве, благодаря остаточной массе и высокой фильтрующей способности частиц, препятствует поступлению песка водоносного пласта в ствол к насосу и способствует равномерному забору воды из всех интервалов глубины, а при многослойном водоносном пласте из каждого слоя.

Пути повышения эффективности ФУГЗ. Совершенствование конструкции ФУГЗ может идти по пути улучшения ее гидравлических параметров. На Рис. 3, *a* приведена конструкция, которая отличается от предыдущих тем, что вместо соединяющих раструбы глухих труб в ней применены перфорированные (дырчатые, щелевые) трубы 1 или фильтры 2 из разных материалов. Могут быть применены также разные блочные фильтры. В этом случае вод захватная способность гораздо больше, чем в предыдущих конструкциях, и соответственно меньше гидравлическое сопротивление.

В конструкции, показанной на Рис. 3, *b*, используются перфорированные раструбы с дырчатой 3 или щелевой 4 перфорацией. На рис. 3, *c* приведён ещё один тип многоярусного гравийно-зонтичного фильтра уширенного контура, в котором объединены две рассмотренные перфорированные конструкции. Раструбы здесь имеют дырчатую 3 или щелевую 4 перфорацию, а соединительные трубы – ту же перфорацию 1 или представляют собой цилиндрические фильтры 2. Скважины данной конструкции обладают максимальной вод захватной поверхностью и дебитом. При этом увеличивается роль гравийной обсыпки как фильтрующей среды и препятствия для удержа-

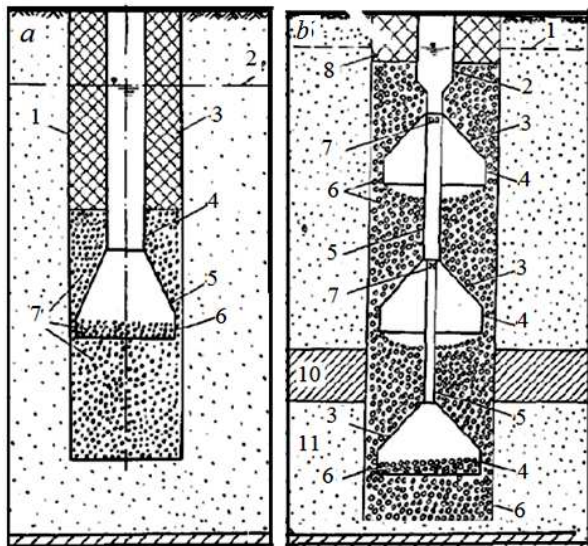


Рис. 2. Скважина с гравийно-зонтичным фильтром уширенного контура (ФУГЗ): *a* – одноярусная конструкция; *b* – многоярусная конструкция
Fig. 2. Bell type Water Well Construction (BWW): *a* – single Tiered Construction; *b* – multi Tiered Construction

ния песчаных частиц от проникновения из пласта через отверстия в трубах, фильтрах и раструбах внутрь скважины.

Эффективность ФУГЗ также может быть повышена за счёт применения в конструкции правильно подобранного слоёного водопроницаемого пористого бетона.

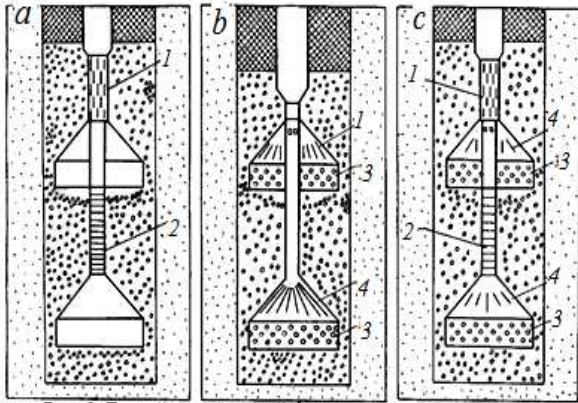


Рис. 3. Гравийно-зонтичный фильтр уширенного контура: *a* – с перфорированными трубами; *b* – с перфорированными раструбами; *c* – с перфорированными раструбами и трубам

Fig. 3. Bell type Water Well Construction: *a* – with perforated screen; *b* – with perforated conic part; *c* – with perforated screen and conic part

Применение конструкции ФУГЗ для обезжелезивания подземных вод и для восстановления скважин от кольматажа. В настоящее время в связи с повышенным содержанием железа в подземных водах многих регионов существует проблема обезжелезивания воды. Применяются метод обратной промывки для обезжелезивания воды [5]. Многоярусная конструкция скважин с гравийно-зонтичным фильтром уширенного контура может быть использована для обезжелезивания подземных вод непосредственно в водоносном пласте как элемент установки циркуляционного типа (Рис. 4).

Сущность данного метода обезжелезивания воды сводится к безреагентному способу перевода растворенного железа в нерастворимые формы путём закачки в скважину аэрированной воды, насыщения кислородом круговой зоны в водоносном пласте, осаждения железа и удержания

осадка в пористых породах при откачке воды.

Основная идея обезжелезивания подземных вод с применением многоярусных гравийно-зонтичных фильтров заключается в том, что благодаря наличию двух и более водопрёмных частей, одну можно использовать для нагнетания окислителя, а другие – для откачки очищенной воды (см. Рис. 4).

Этот же принцип может быть применён для восстановления скважин от кольматажа фильтров и гравийной засыпки.

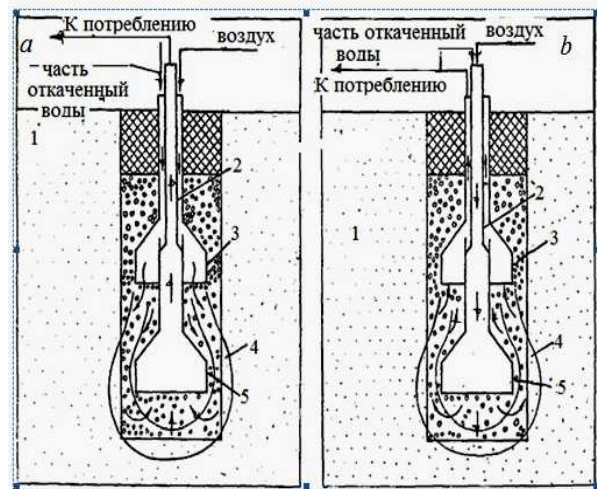


Рис. 4. Обезжелезивание подземных вод в пласте с использованием гравийно-зонтичного фильтра уширенного контура: *a* – с нагнетанием через нижний зонтик; *b* – с нагнетанием через верхний зонтик

Fig. 4. De-Ironing of Ground Water in Aquifer with BWW: *a* – injecting through upper intake; *b* – injecting through lower intake

Раскладывающиеся водозаборные скважины ФУГЗ. На больших глубинах тяжело бурить водозаборных скважин большого диаметра. На практике при бурении скважины большого диаметра практикуют бурения уширенного контура только водопрёмной части, оставляя общей диаметр скважин минимальным. В этих случаях может быть применено раскладывающиеся водозаборных скважин ФУГЗ где раструба водопрёмной части раскрываются после опускания конструкции водопрёмника в водоносный пласт (Рис. 5, 6).

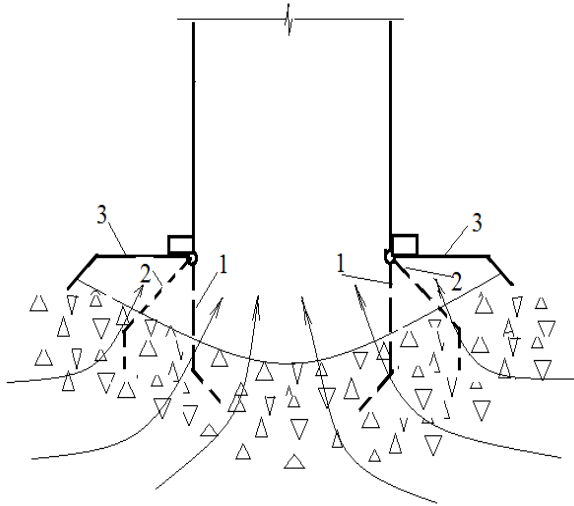


Рис. 5. Раскладывающая водозаборная скважина ФУГЗ: 1 – первоначальное положение; 2 – среднее положение; 3 – конечное положение
Fig. 5. Foldable Water Intake of BWW: 1 – Initial position of the conic part; 2 – Middle position of the conic part; 3 – Final position of the conic part

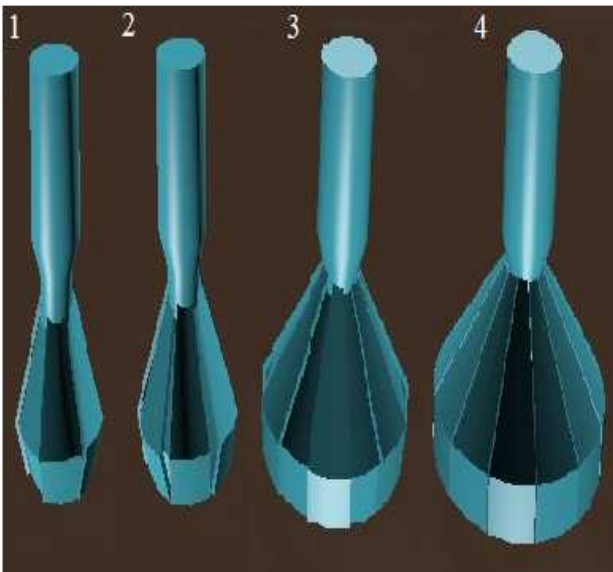


Рис. 6. Трёхмерные модели раскладывающей конструкции: 1 – первоначальное положение; 2, 3 – среднее положение; 4 – конечное положение
Fig. 6. Three-dimensional Model of Foldable BWW Construction: 1 – Initial position; 2, 3 – Middle positions; 4 – Final position

Исследование скважин с ФУГЗ методом электрогидро-динамических аналогий (ЭГДА). Метод ЭГДА основан на аналогии дифференциальных уравнений рас-

пределения потенциала на электропроводной бумаге и движения жидкости в пористой среде. Исследование работы скважин с ФУГЗ в напорных и слабо напорных условиях методом ЭГДА проводили по известной методике моделирования осесимметричной фильтрации на электропроводной бумаге, предложенной П.Ф. Фильчаковым [6]. Моделирование осесимметричной фильтрации на электропроводной бумаге заключается в том, что уравнение Лапласа, описывающее стационарное распределение напора в области фильтрации и потенциала на электропроводной бумаге, представляется в виде:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(K r \frac{\partial H}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K r \frac{\partial H}{\partial z} \right) = 0, \quad (1)$$

где $H = H(r, z)$ – фильтрационный напор; r, z – цилиндрические координаты; K – коэффициент фильтрации пласта. Тогда уравнение (1) описывает плоскую фильтрацию, и его можно моделировать на электропроводной бумаге, если принять, что произведение $K \times r$ является переменным коэффициентом фильтрации. При этом необходимо, чтобы электропроводность модели подчинялась законам:

$$\sigma_z = const, \quad \sigma_r = Kr, \quad (2)$$

где σ_z , и σ_r – удельная электропроводность в вертикальном и горизонтальном направлениях соответственно.

Чтобы задать электропроводность по закону (2), необходимо модель склеить из нескольких листов бумаги "ступенькой". Длина нижнего листа бумаги равна длине всей модели. Следующий лист наклеивается на него и должен быть короче на величину:

$$\Delta r_2 = M \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{2} \frac{1}{R_2} \right), \quad (3)$$

Каждый следующий лист, наклеиваемый сверху на предыдущий, должен быть короче него на величину:

$$\Delta r_i = \left(\frac{1}{R_{i-1}} + \frac{1}{R_i} \right) \frac{M}{2}, \quad (4)$$

где M – коэффициент пропорциональности, выбранный для удобства моделирования и принято $M = 4000$; R_i – сопротивление i -го листа бумаги на квадрат, $i = 3, 4, \dots, n$; n – число листов. Основные модели для исследований одноярусной и многоярусной конструкций ФУГЗ приведены на Рис.7, *a, b* Снижение погрешности вследствие несоизмеримости величины водоприёмной части и мощности пласта осуществлялось путём выделения прискважной зоны в увеличенном масштабе, не искажавшем осесимметричную картину фильтрации.

Конструктивные параметры и варианты моделирования скважины. Для оценки условий работы скважины в водоносном пласте при различных вариантах конструкции ее водоприёмной части путём моделирования на электропроводной бумаге методом ЭГДА, были исследованы различные конструкции (Рис. 8) при различных радиусах водоприёмной части и гравийной засыпки r , глубинах погружения верхней водоприёмной части c , глубинах гравийной засыпки h , расстояния между ярусами b , и сопротивления гравийной засыпки R_{gp} . Мощность пласта m сохранялась постоянной и была равна 200 мм (см. Рис. 7).

Все вертикальные и горизонтальные размеры переводили в относительные (в мощности пласта) величины:

$$\bar{r} = r/m, \quad \bar{h} = h/m, \quad \bar{c} = c/m, \quad \bar{b} = b/m.$$

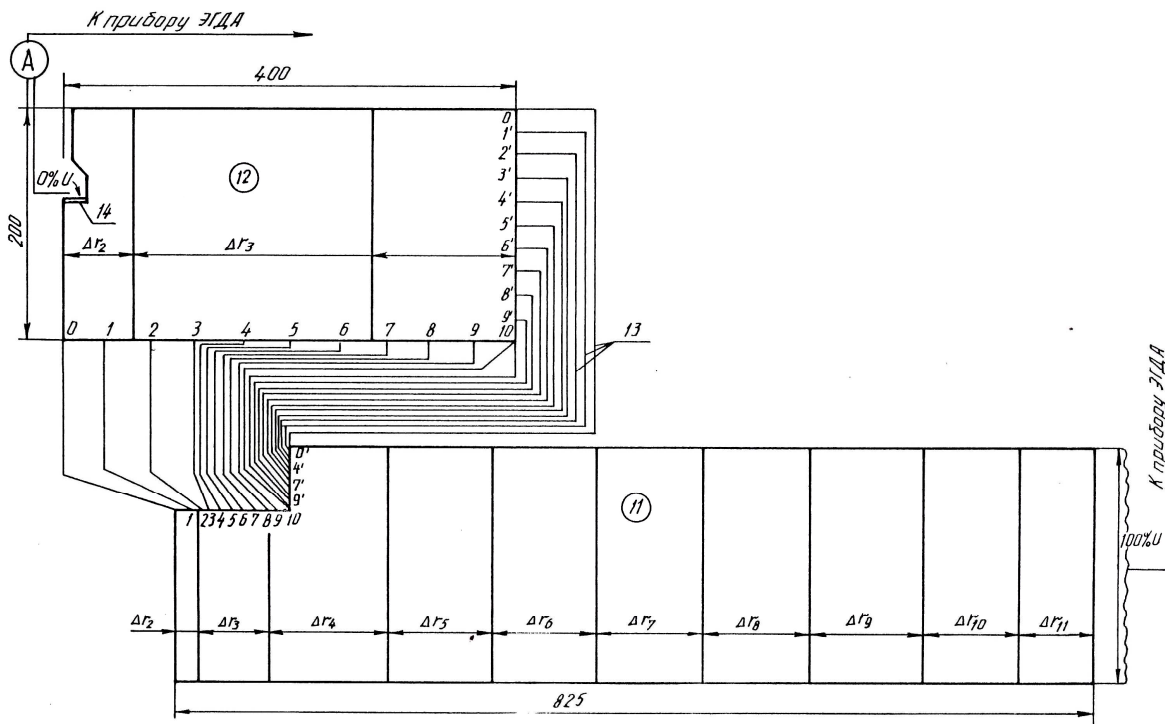


Рис. 7, а. Модели ЭГДА для исследования скважины с ФУГЗ одноярусной конструкции: 0...10 – контактные соединения; 11 – пласт; 12 – прискважная зона; 13 – провода; 14 – шина Панчишина; А – миллиамперметры

Fig. 7, a. Electrical Modelling of Single-tiered BWB: 0...10 – Pin Connections; 11 – Aquifer; 12 – Intake area; 13 – Connecting cable; 14 – Panchishin Current receiver; A – Ampermeter

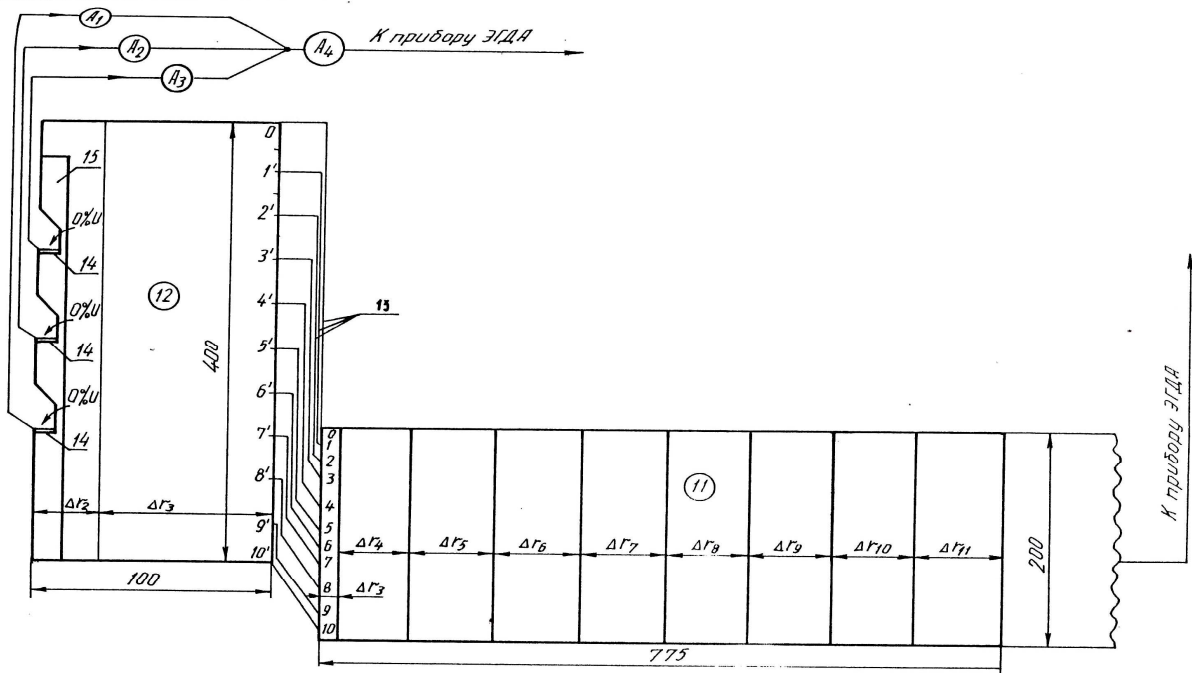


Рис. 7, б. Модели ЭГДА для исследования скважины с ФУГЗ многоярусной конструкции: 0...10 – контактные соединения; 11 – пласт; 12 – прискважинная зона; 13 – провода; 14 – шина Панчишина; А – миллиамперметры

Fig. 7, b. Electrical Modelling of Multi-tiered BWW: 0...10 – Pin Connections; 11 – Aquifer; 12 – Intake area, 13 – Connecting cable; 14 – Panchishin Current receiver; А – Amperemeter

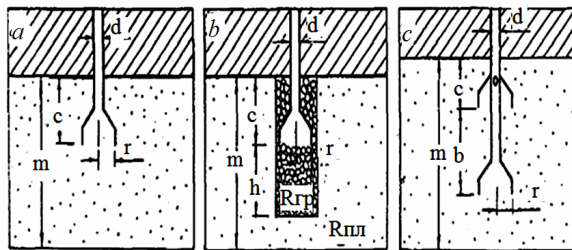


Рис. 8. Гравийно-зонтичный фильтр уширенного контура:
а – одноярусный без гравийной засыпки; б – то же, с засыпкой; с – двухъярусный без гравийной засыпки

Fig. 8. Bell type Water Well Construction:
а – one tiered without gravel filter; б – two tiered with gravel filter; с – two tiered without gravel filter

Относительное сопротивление гравийной засыпки \bar{R} определяли по соотношению с сопротивлением водоносного пласта $R_{пл}$:

$$\bar{R} = R_{пл} / R_{гр}.$$

В опытах безразмерные параметры изменялись в таких пределах: $\bar{r} = 0,015...0,05$; $\bar{h} = 0...1$; $\bar{c} = 0...0,3$; $\bar{R} = 10...50$.

Влияние положения водоприёмной части и гравийной засыпки на ее дебит. Экспериментальным путём определены оптимальные глубины погружения $\bar{c}_{оп}$ для различных \bar{r} , и в результате их математической обработки получена зависимость оптимальной глубины погружения водоприёмной части от ее радиусов:

$$\bar{c}_{оп} = 0,418 + 0,146 \lg \bar{r}, \quad (5)$$

Для моделирования гравийной засыпки на модели использовали электропроводную бумагу, сопротивление которой в 10, 20, 30, 40 и 50 раз меньше по сравнению с бумагой, моделирующей водоносный пласт. Построенные на модели опытные кривые зависимости притока от радиусов водоприёмной части \bar{r} при различных ее сопротивлениях и глубине \bar{h} – показывают значи-

тельный эффект гравийной засыпки (см. Рис. 8). В зависимости от водоприёмной части \bar{r} определены оптимальные глубины гравийной засыпки \bar{h}_{on} (6):

$$\bar{h}_{on} = A\bar{r}^2 + B\bar{r} + C, \quad (6)$$

Коэффициенты A, B, C для разных величин относительных сопротивлений \bar{R} , даны в Табл.1.

Таблица 1. Коэффициенты A, B, C , для разных величин относительных \bar{R} при определении оптимальной глубины гравийной засыпки \bar{h}_{on}

Table 1. Coefficients A, B, C , on different relative resistants for the calculation of the optimal height of gravel pack, \bar{h}_{on}

\bar{R}	A	B	C
10	97,14	-2,88	0,101
20	91,43	-2,66	0,124
30	62,86	-0,514	0,109
40	109,14	-2,87	0,148
50	120,57	-3,12	0,165

Рис. 9. показывает характер изменения дебита при разных радиусах зонтика и сопротивлениях гравийной засыпки.

Гидродинамические сетки движения и их анализ. Анализ влияния характера движения фильтрационного потока к исследуемой скважине нетрадиционной конструкции на ее дебит показал, что оно весьма существенно. Наглядное представление о происходящих в пласте процессах дают гидродинамические сетки, полученные при электро моделировании (Рис. 10). Общая картина движения потока к водоприёмнику представляет полусферический-радиальный поток с резким понижением напоров (эквипотенциалов) непосредственно у скважины и плавным их выглаживанием к периферии.

При этом следует отметить поступление основного потока в скважину через кольцевой участок, примыкающий к стенкам

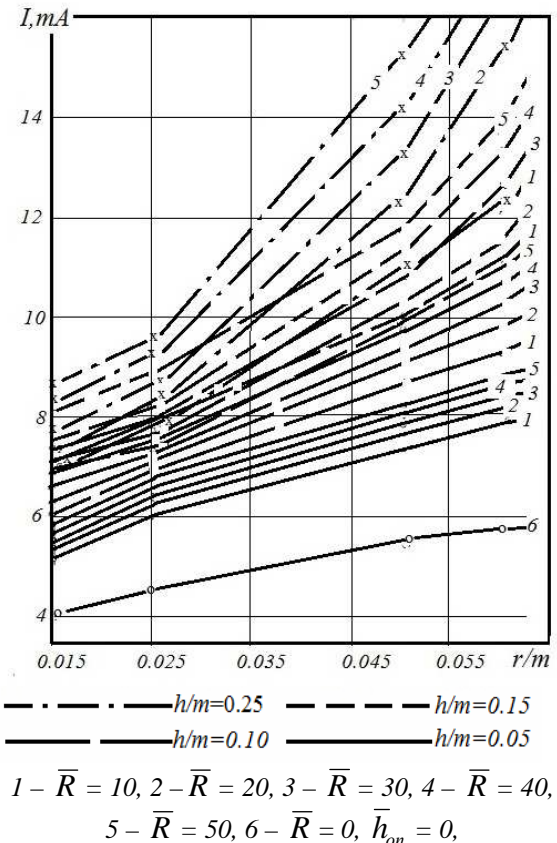


Рис. 9. Зависимость тока от разных радиусов зонтика при разных сопротивлениях гравийной засыпки

Fig. 9. Current Flow depending upon different resistance of gravel pack of the aquifer and the radius of the water intake

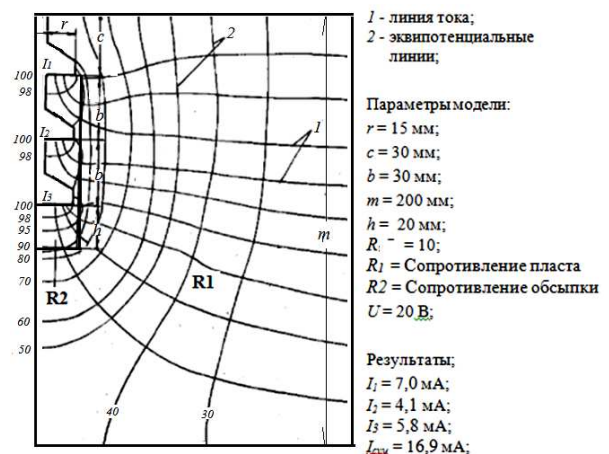


Рис. 10. Гидродинамическая сетка при фильтрации

Fig. 10. Hydrodynamic infiltration flow net

зонтика. Центральная часть водоприёмной поверхности по оси скважины имеет небольшой расход и оказывается в "мёртвой" зоне. Отсюда следует, что и скорости потока будут максимальными у стенки зонтика и минимальными в его центре.

Исследование конструкции в фильтрационном цилиндрическом лотке. Для оценки зависимости понижения уровня воды и дебита в безнапорных условиях, определения фильтрационной устойчивости грунтов и гидравлического сопротивления конструкций ФУГЗ были проведены опыты на специальной установке (Рис. 11), представляющей собой цилиндрический фильтрационный лоток 1 диаметром 900 мм, высотой 1200 мм. Установка моделировала водоносный пласт, в котором размещалась конструкция ФУГЗ. В центральную часть вокруг скважины засыпали гравийную обсыпку 3. Воду в лоток подавали из резервуара 12 насосом 11. В лотке был установлен гаситель 8. Постоянный уровень в лотке поддерживался при помощи переливной трубы 15. Воду, протекающую через гравийно-зонтичный фильтр, забирали с помощью сифона 13 и подавали в мерный бак 14 с установленным водосливом. Для зарядки сифона использовали вакуумный на-

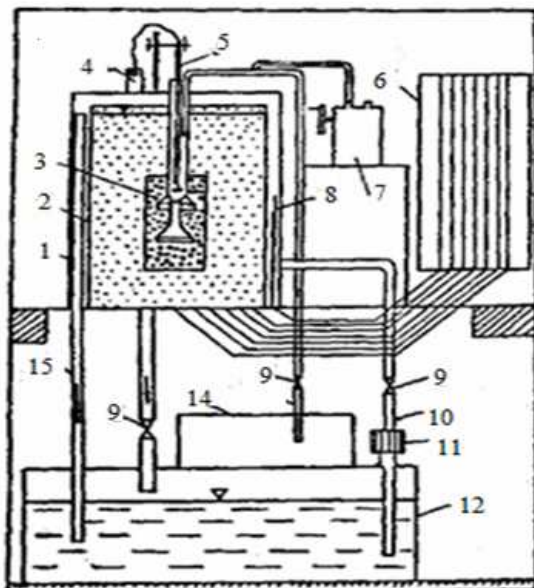


Рис. 11. Физическая модель
Fig. 11. Physical Model with sand and gravel

сос 7. Расход воды в трубопроводе 10 и сифоне 13 регулировали вентилем 9, а измеряли объёмным методом, проверяя уровень по отметкам треугольного водослива мерного бака 14. Уровни воды в лотке, прифильтровой зоне и самом фильтре регистрировались при помощи пьезометров, выведенных на общий щит 6. Как показали результаты исследований, максимальное гидравлическое сопротивление конструкции скважин находится в пределах 5...8% от общего понижения уровня воды.

Исследования отношений притоков воды в многоярусных конструкции проводились в гидравлическом стенде (Рис. 12).

Исследование работы скважин в полевых условиях. С целью исследования были пробурены две скважины у северной окраины г. Черкасы, в прибрежной зоне Кременчугского водохранилища. Глубина скважины двухъярусной конструкции 15,85 м, диаметр бурения 720 мм. В качестве водоприёмника было установлено два раструба с диаметром цилиндрической части 620 мм, соединённых между собой трубой диаметром 219 мм и длиной 1,15 м. Длина каждого раструба 650 мм. К верхнему из них приварена обсадная труба диаметром 273 мм. В ствол скважины под нижний рас-

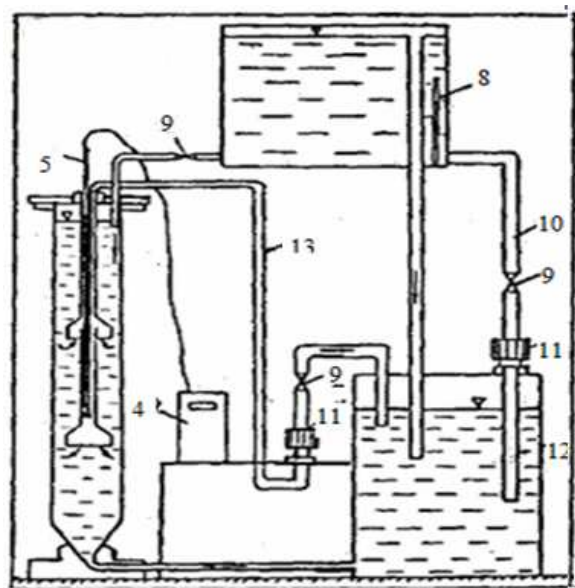


Рис. 12. Гидравлический стенд
Fig. 12. Hydraulic Stand

труб был засыпан слой гравия толщиной 1,4 м, Тем же гравием засыпаны снаружи оба раструба и соединительная труба. Общая длина интервала гравийной засыпки 5,5 м. В скважину был установлен пьезометр. Дебит скважины составил 6 м³/ч при понижении уровня воды на 1,5 м, удельный дебит – 4 м³/ч. Глубина скважины одноярусной конструкции 6 м, диаметр бурения 760 мм. Длина раструба-зонтика 1160 мм, диаметр цилиндрической части 620 мм. Поскольку нижний, край раструба вогнут внутрь, диаметр по краю составляет 520 мм.

Для предотвращения просадки общей конструкции в гравий к нижнему обрезу раструба приварены арматурные прутья диаметром 10 мм, образующие решётку. К верхнему концу раструба приварена обсадная труба диаметром; 219 мм. Раструб установлен на глубине 12,67 м на засыпанный в ствол слой гравия толщиной 3,33 м. Гравием также засыпаны раструб и часть ствола над ним. Общая длина интервала гравийной засыпки 9,5 м.

В гравийной засыпке установлен пьезометр диаметром 50 мм. При понижении на 2,22 м получен дебит 10,1 м³/ч, удельный дебит составил 4,6 м³/ч, при понижении 1,68 м – соответственно 6,7 м³/ч, и 4 м³/ч. В обоих случаях откачка проводилась в течение 5 ч в устойчивом режиме при стабилизации уровней через 20 мин. При этом в скважине на расстоянии 10,7 м наблюдалась срезка уровня при первом понижении на 0,08 м, при втором – на 0,07 м, в пьезометре, соответственно на 0,22 и 0,16 м.

Методы расчёта дебита скважин. Определение дебита с учётом сложных природных условий для различных конструкций ФУГЗ проводилось на основе анализа результатов электро моделированию на соответствующих моделях в напорных условиях. Чтобы свести эти погрешности к минимуму, расчёты проводили в относительных величинах. Для отношения брали измерения на той же модели в первоначальных условиях. Относительный дебит скважин в соответствии с теорией электро-

гидродинамических аналогий рассчитывали по следующей зависимости:

$$Q = \frac{Q_H}{Q_C} = \frac{I_H}{I_C} \xi, \quad (7)$$

где Q_H и Q_C – расход соответственно несовершенной и совершенной скважин; I_H и I_C – сила тока соответственно на модели к несовершенной и совершенной скважин; ξ – поправка, учитывающая колебания напряжения на шинах модели:

$$\xi = \frac{U_C}{U_H}. \quad (8)$$

Здесь U_C и U_H – напряжения на шинах модели совершенной и несовершенной скважин. На модели напряжения задавалось постоянное напряжение, равное 20 В, поэтому, $U_C = U_H$ и, следовательно, $\xi = 1$. Тогда зависимость (7) приобрела следующий вид:

$$Q_H = \frac{I_H}{I_C} Q_C, \quad (9)$$

поскольку дебит совершенной скважины можно определить по формуле Дюпюи:

$$Q = \frac{2\pi k m S}{\ln(R/r)}, \quad (10)$$

Для получения относительных величин в знаменателе принимались значения для совершенной скважины, работающей в тех же природных условиях, а в числителе – для скважин с ФУГЗ (в качестве несовершенной скважины). Такое отношение меньше единицы, и его можно интерпретировать, как обобщённый коэффициент уменьшения дебита совершён. Для расчёта дебита скважин с ФУГЗ необходимо знать коэффициент уменьшения дебита Q_H/Q_C , определяемый с помощью моделирования как коэффициент уменьшения тока I_H/I_C .

Величина тока конструкции ФУГЗ:

$$I_H = f(r/m, c/m, b/m, h/m), \quad (11)$$

Для определения I_H и I_C , проведены опыты методом ЭГДА. Остальные величины можно рассчитать по Рис. 8.

$$I = I_H.$$

Зависимость тока на модели от относительных радиусов совершенной скважины по экспериментальным данным можно описать следующим уравнением:

$$I_c = 61,5\bar{r} + 17,2. \quad (12)$$

При совместном решении зависимостей (9) и (10) и подстановке в них зависимости (12) получим уравнение для определения дебита скважин с ФУГЗ в напорных условиях:

$$Q = \frac{2,73KmSI}{\lg(R/r) (61,5\bar{r} + 17,2)}, \quad (13)$$

где I – ток на модели, мА; 61,5 и 17,2 – переходные коэффициенты от модели к натуре, мА; R – радиус влияния скважин; m – мощность пласта; K – коэффициент фильтрации пласта; S – понижение уровня грунтовых вод; r – радиуса водоприёмника; $\bar{r} = r/m$.

Учитывая суффозионный процесс допустимый дебит скважин с ФУГЗ можно определить по уравнению:

$$Q_{perm} = 0,67 v_{perm} \pi r^2, \quad (14)$$

где 0,67 – коэффициент учитывающий неравномерность притока; v_{perm} – допустимая скорость притока, которая зависит от размера гравийной обсыпки и r – радиуса водоприёмника.

ВЫВОДЫ

1. Скважины с одним зонтиком могут применяться как с гравийной засыпкой, так

и без неё. Скважины с двумя-тремя зонтиками обязательно требуют гравийной засыпки для обеспечения работы верхних зонтиков.

2. Приток в скважину зависит не столько от количества зонтиков, сколько от объёма гравийной засыпки в отводе скважины и ее параметров. Поэтому при освоении этой конструкции целесообразно начинать работу с одним зонтиком при заложении под ним 3...5 метрового ствола с гравийной засыпкой.

3. Приток в скважину с одним зонтиком увеличивается с ростом радиуса зонтика, проницаемости и радиуса гравийной засыпки, ее глубины (до расчётного предела) и погружения зонтика в пласт до одной трети мощности сверху. Скорости движения воды от оси к краям зонтика увеличиваются почти от нуля до максимума.

4. Приток в скважину с двумя-тремя зонтиками увеличивается с ростом расстояния между зонтиками только до определённой величины, которая рассчитывается в зависимости от радиуса зонтика. Водосбор в этих конструкциях следует производить из точки между верхним и нижним расположенным зонтиками, что обеспечит равномерность притока к каждому зонтику.

5. Гидравлическое сопротивление Скважины с уширенной водоприёмной частью невелико и могут применяться для отбора подземных вод из безнапорных или слабо напорных водоносных горизонтов, при водопотребности (до 200...300 м³/сут). Применение данной скважин наряду со скважинами традиционной конструкции позволит ускорить решение одной из важных задач – обеспечить сельское население водоснабжением из подземных источников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малухин Н.Г., Дробаденко В.П., Тимошенко С.В., Богданов П.В., 2010. Особенности сооружения бесфильтровых скважин в мелкозернистых породах. Разведка и Охрана Недр. Всероссийский Научно-Исследовательский Институт Минерального Сырья Им. Н.М. Федоровского, Москва, № 3, 38-39.

2. **Каястха К.П., 2015.** Сквaziны с гравийно-зонтичным фильтром уширенного контура. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування, випуск 1(69), Рівне, 33-49.
3. **Смірнов В.М., Головань В.П., Лукьяненко В.С., 2012.** Спеціальне ківшове бурильне обладнання з роздільним обертанням різальних частин та відцентровим розвантаженням накопичувача. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, № 79, 85-90.
4. **Смірнов В.М., Головань В.П., Конопат О.П., 2011.** Розробка та визначення конструктивних параметрів спеціального бурильного обладнання для роботи в складних грунтах. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, № 77, 55-61.
5. **Siwiec T., Troińska J., 2007.** The influence of backwashing methods on the initial effluent quality during deironing of water, EJPAU 10(2), №16.
6. **Фильчаков Л.Ф., Панчишин В.И., 1961.** Интеграторы ЭГДА, Моделирование потенциальных полей на электропроводной бумаге. Киев, Изд-во АН УССР, 172.

REFERENCES

1. **Malukhin N.G., Drobadenko V.P., Timoshenko S.V., Bogdanov P.V., 2010.** Features of the filter less wells construction in fine-grained rocks. Razvedka I Okhrana Nedr (Exploration and protection of mineral resources), Nr. 3, All-Russian Research Institute of Mineral Raw Materials. N.M. Fedorovsk, Moscow, 38-39.
2. **Kayastha K.P., 2015.** Skvajhiny s graviino-zontichnym filtrom ushirennoho kontura [Bell type Water Well with wide gravel filter pack]. National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne, Ukraine, Vol. 1 (69), 33 – 49 (in Russian).
3. **Smirnov V.M., Golovan V.P., Lukyanenko V.C., 2012.** Spechialne kivshove burilne obladdannya z rozdilnym obertanniam rizalnykh chasten ta vidchetrovym razvontajhennyam nakopichuvacha. [Special bucket drilling equipment with separate rotational cutting parts and the centrifugal collectors]. Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, constructional, road and melioration machines], No. 79, 85-90 (in Ukrainian).
4. **Smirnov V.M., Golovan V.P., Konopat O.P., 2011.** Rozrobotka ta viznachena

- konstruktivnykh parametriv spechialnogo burilnogo ladannya dlya roboty v skladnykh gruntakh. [The development and definition of the design parameters of a special drilling equipment for the complex rocks]. Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, constructional, road and melioration machines], No. 77, 55-61 (in Ukrainian).
5. **Siwiec T., Troińska J., 2007.** The influence of backwashing methods on the initial effluent quality during deironing of water, EJPAU, Vol. 10(2), No.16.
 6. **Filchakov L.F., Panchishin V.I., 1961.** Integratory EGDA, Modelirovanie potentsialnykh polei na elektroprovodnoi bumage [Integrating Electrical modeling of potential fields on an electric conductive paper]. Kiev, Publishing House of Ukraine Academy of Sciences, 172 (in Russian).

APPLICATION OF BELL TYPE WATER WELL WITH WIDE GRAVEL FILTER

Krishna Kayastha

Kyiv National University of Construction and Architecture

Povitroflotsky prosp., 31, Kyiv, Ukraine, 03680, e-mail: kriskaes@gmail.com

Summary. The purpose of this article is to present a new bell type water well (BWW) construction with wide gravel filter and its application. The construction of the water well has been developed and research has been conducted using physical and electrical modeling as well as in the practical field. Researches in this work are of analytical and experimental character. As the results of the research, optimal physical parameters of the constructions have been found and analytical - empirical formulae have been derived to calculate the hydraulic parameters. Recommendation for the application has been presented. The results received in this work can be used for the application of the well construction. Further research is required to improve the physical and the hydraulic parameters of the proposed construction. The work has scientific and practical interest.

Key words: electrical and physical modeling, water well construction, ground water, bell type water well, water supply, irrigation.

Вплив техногенного навантаження на іхтіофауну коралового рифу

Тетяна Кривомаз

Київський національний університет будівництва і архітектури
Повітрофлотський просп. 31, Київ, Україна, 03680, e-mail: ecol@i.ua

Анотація. Аналіз видового складу іхтіофауни коралового рифу острова Хеленджелі на Мальдівах свідчить про мінімальний рівень забруднення морських вод. Практично всі визначені риби чутливі до забруднення, зокрема *Acanthurus leucosternon* може жити виключно в чистій воді. Виявлені види риб, які чистять корали від обростання; організми, що фільтрують воду від надлишку органічних решток; а також невелика кількість хижих риб, що підтримують стабільність екосистеми. Всі переміщення водного та повітряного транспорту вивезені за межі коралових рифів, рекреаційне навантаження чітко регламентовано, а наземне сміття утилізується сучасними способами. Таким чином екологічний менеджмент острова Хеленджелі може служити позитивним прикладом вдалого вирішення проблем техногенного та рекреаційного навантаження. Основною проблемою острова, як і для Мальдів в цілому є реальна загроза затоплення внаслідок глобальних змін клімату.

Ключові слова: екологічна безпека, техногенне навантаження, коралові рифи, іхтіофауна.

ВСТУП

Коралові рифи утворюються колоніальними кораловими поліпами на мілководді в тропічних морях басейнів Тихого та Індійського океанів. Це одна з найстаріших екосистем землі, що відрізняється таким багатством життєвих форм, яке можна порівняти тільки з вологими тропічними лісами [1]. Коралові поліпи, що утворюють рифи, дуже чутливі до забруднення води. Основні фактори, що формують умови для оптима-

льного функціонування цієї унікальної екосистеми є показники освітлення, температури та режиму циркуляції водних мас. Обмеженість поширення коралових рифів обумовлена трьома основними причинами. По-перше температура морської води повинна бути не менше 20°C, тому корали зустрічаються тільки в тропіках. По-друге, корали можуть існувати тільки на мілководді, що пов'язано з необхідністю доступу сонячного світла для здійснення процесів фотосинтезу. В необхідній кількості сонячне світло здатне проникати на глибину до 20 м, а розсіяні промені досягають 45 м завглибшки. По-третє, коралам необхідна чиста вода, насичена киснем і з певною кількістю поживних речовин, що виділяються у воду різноманітними мешканцями рифів.

Міжнародна спілка охорони природи провела оцінку всіх 845 відомих видів коралів, що утворюють рифи: 27 % з них знаходяться під загрозою зникнення, 20% близькі до загрозливого стану і для аргументованої оцінки 17% видів коралів недостатньо відомостей [2]. Загальна площа коралових рифів становить 27 млн. км², проте 19 % з них вже втрачено, 17 % можуть зникнути протягом найближчих 10-20 років, тільки 46% знаходяться у відносно благополучному стані, а 60% зазнають значного антропогенного впливу [3]. В зв'язку з глобальними змінами клімату та внаслідок діяльності людей прогнозується, що до 2050 р. всі коралові рифи будуть під загрозою, а у зоні особливої небезпеки опинились рифи у Пі-

вденно-Східній Азії, де вже на сьогоднішній день 80 % рифів загрожує небезпека зникнення [4]. Океанологи стурбовані підвищенням рівня води в районі Мальдівських островів і більшість експертів вважає, що вже через кілька десятків років більша частина атолів цього архіпелагу може опинитися під водою. Вже сьогодні найвища точка Мальдівських островів не перевищує 2,4 м, тому актуальність цієї проблеми спонукає дослідників всього світу вивчати різні фактори, що впливають на стан коралових рифів. В зв'язку з цим, метою даного дослідження є оцінка стану техногенного та антропогенного навантаження на кораловий риф острова Хеленджелі шляхом визначення особливостей видового складу іхтіофауни.

ОЦІНКА АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Дослідження техногенного та рекреаційного навантаження на іхтіофауну коралових рифів проходили протягом десяти днів з 18 по 28 серпня 2012 р. Острів Хеленджелі має невеликі розміри – 800 м в довжину та 90 м в найширшій частині. Він розташований в Індійському океані на Атолі Північний Мале Мальдівського архіпелагу, що складається з 1192 островів, з яких заселені тільки 199. Середня температура у серпні тримається близько 30°C і приблизно така ж температура характерна протягом всього року. Кількість опадів в місяць дослідження становила 187,7 мм/місяць (максимальна була у вересні – 215 мм, а мінімальна у лютому 50 мм). Відносна вологість повітря у серпні була 80,5 %, що також наближається до середньомісячного значення: максимальні показники були у листопаді (82 %), а мінімальні – у березні (77 %). Кількість сонячних годин у серпні 211, мінімальний рівень інсоляції 201 год/місяць зареєстровано у червні та вересні, а максимальний – у березні (279 год/місяць).

Для розрахунку індексу забруднення використовують співвідношення видів риб, які проявляють різну міру стійкості до забруднення [5]:

$$i = \frac{2A + B - 2C}{A + B - C} 100, \quad (1)$$

де A – кількість видів стійких до забруднення; B – нейтральних та C – трапляються тільки в забруднених водах. Для визначення сумарного показника стану благополуччя дослідженого коралового рифу були проаналізовані фактори, які посилюють або зменшують негативний вплив на рифи по шкалі від 0 до 1.

Приблизно 40 % морських риб має безпосередні контакти з морськими рифами. Видовий склад іхтіофауни острова Хеленджелі – це індикатор стану коралового рифу. В результаті дослідження було виявлено 66 видів риб, більшість з яких належать до родин Pomacanthidae (7 видів) та Labridae (6). Дещо менше було знайдено представників родин Mullidae та Serranidae (підродина Epinephelinae) – по три види, а також по два види з родин Lethrinidae, Scaridae та Tetraodontidae. Крім того, 10 родин було представлено всього одним видом: Fistulariidae, Haemulidae, Holocentridae, Kyphosidae, Lutjanidae, Ostraciidae, Pinguipedidae, Scorpaenidae, Siganidae та Zanclidae (Табл. 1). За способом життя виявлені мешканці рифу належать до трьох екотипів: літоральні – живуть у прибережній зоні (наприклад, *Acanthurus lineatus*), пелагічні риби – тримаються в товщі води (*Arothron nigropunctatus*), донні (*Balistoides conspicillum*).

Всі коралові риби дуже чутливі до забруднення води, проте особливою чутливістю відрізняється *Acanthurus leucosternon*. За типом харчування у видовому складі рифу переважають риби, що харчуються водоростями, таким чином вони чистять корали від обростань (наприклад, *Scarus tricolor* та *S. frenatus*) та забезпечують прозорість води. Корали захищають риб від крупних хижаків, тому складова хижих риб (*Caranx melampygus*) у іхтіофауні коралового рифу острова Хеленджелі досить незначна, якраз достатня, щоб підтримувати екосистему у здоровому стані.

Таблиця 1. Визначені представники іхтіофауни коралового рифу острова Хеленджелі
Table 1. Identified species from coral reef fish fauna of the island Helendzheli

№	Види риб	Родини	№	Види риб	Родини
1	<i>Abudefduf vaigiensis</i>	Pomacentridae	34	<i>Gomphosus caeruleus</i>	Labridae
2	<i>Acanthurus leucosterson</i>	Acanthuridae	35	<i>Halichoeres hortulanus</i>	Labridae
3	<i>A. lineatus</i>	Acanthuridae	36	<i>Hemigymnus melapterus</i>	Labridae
4	<i>A. nigricauda</i>	Acanthuridae	37	<i>Kyphosus cinerascens</i>	Kyphosidae
5	<i>A. triostegus</i>	Acanthuridae	38	<i>Lethrinus harak</i>	Lethrinidae
6	<i>Amphiprion clarkii</i>	Pomacentridae	39	<i>Lethrinus obsoletus</i>	Lethrinidae
7	<i>Apogon nigrofasciatus</i>	Apogonidae	40	<i>Lutjanus kasmira</i>	Lutjanidae
8	<i>Arothron meleagris</i>	Tetraodontidae	41	<i>Melichthys indicus</i>	Balistidae
9	<i>A. nigropunctatus</i>	Tetraodontidae	42	<i>Myripristis murdjan</i>	Holocentridae
10	<i>Balistapus undulatus</i>	Balistidae	43	<i>Naso brachycentron</i>	Acanthuridae
11	<i>Balistoides conspicillum</i>	Balistidae	44	<i>N. elegans</i>	Acanthuridae
12	<i>B. viridescens</i>	Balistidae	45	<i>N. unicornis</i>	Acanthuridae
13	<i>Caranx melampygus</i>	Carangidae	46	<i>Ostracion cubicus</i>	Ostraciidae
14	<i>Carcharhinus melanopterus</i>	Carcharhinidae	47	<i>Paracirrhites forsteri</i>	Cirrhitidae
15	<i>Cephalopholis argus</i>	Serranidae	48	<i>Parapercis millepunctata</i>	Pinguipedidae
16	<i>Chaetodon auriga</i>	Chaetodontidae	49	<i>Parupeneus barberinus</i>	Mullidae
17	<i>Ch. citrinelus</i>	Chaetodontidae	50	<i>P. cyclostomus</i>	Mullidae
18	<i>Ch. collare</i>	Chaetodontidae	51	<i>P. macronemus</i>	Mullidae
19	<i>Ch. falcula</i>	Chaetodontidae	52	<i>Plectorhincus vittatus</i>	Haemulidae
20	<i>Ch. lunula</i>	Chaetodontidae	53	<i>Pseudobalistes flavimarginatus</i>	Balistidae
21	<i>Ch. triangulum</i>	Chaetodontidae	54	<i>Pterois miles</i>	Scorpaenidae
22	<i>Ch. trifasciatus</i>	Chaetodontidae	55	<i>Pygoplites diacanthus</i>	Pomacanthidae
23	<i>Ch. xanthocephalus</i>	Chaetodontidae	56	<i>Rhinecanthus aculeatus</i>	Balistidae
24	<i>Cheilinus chlorourus</i>	Labridae	57	<i>Scarus frenatus</i>	Scaridae
25	<i>Chrysiptera brownriggii</i>	Pomacentridae	58	<i>S. tricolor</i>	Scaridae
26	<i>Ch. Damsel fish</i>	Pomacentridae	59	<i>Siganus stellatus</i>	Siganidae
27	<i>Ctenochaetus striatus</i>	Acanthuridae	60	<i>Stegastes nigricans</i>	Pomacentridae
28	<i>Dascyllus aruanus</i>	Pomacentridae	61	<i>Sufflamen chrysopterus</i>	Balistidae
29	<i>Epinephelus fasciatus</i>	Serranidae	62	<i>Thalassoma hardwicke</i>	Labridae
30	<i>E. spilotoceps</i>	Serranidae	63	<i>Th. janseni</i>	Labridae
31	<i>Eretmochelys imbricata</i>	Cheloniidae	64	<i>Tylosaurus crocodilus</i>	Belonidae
32	<i>Fistularia commersonii</i>	Fistulariidae	65	<i>Zanclus cornutus</i>	Zanclidae
33	<i>Forcipiger flavissimus</i>	Chaetodontidae	66	<i>Zebrasoma desjardini</i>	Acanthuridae

Використання вибухових речовин для промислової рибної ловлі вщент руйнує корали. Часто трапляється, що коралових риб виловлюють для акваріумів, використовуючи при цьому ціанід натрію, який чинить снодійний ефект, проте в процесі

ловлі багато риб гине, а більшість з тих, що вижила гине через кілька місяців в акваріумах внаслідок пошкоджень печінки [6]. Крім того, токсична речовина залишається в морській воді, викликаючи тривалий негативний вплив на екосистему коралових

рифів. Надмірний вилов риби, зокрема, селективний перелов, може розбалансувати коралові екосистеми, через це може статись неадекватне зростання коралових хижаків.

Основна загроза для Мальдівських островів – це затоплення під впливом кліматичних змін. Внаслідок глобального потепління тануть льодовики, що призводить до підвищення рівня води, в той час як коралам необхідно залишатись досить близько від поверхні для здійснення процесів фотосинтезу. Підвищення температури води у поєднанні із зростанням інсоляції може викликати втрату зооксантелл, які забезпечують надходження до 90% енергетичних ресурсів, а також симбіотичних водоростей та дінофлагеллят, що призводить до знебарвлення коралів та загибелі рифів. Потепління води послаблює корали, сприяє розвитку їх хвороб, обумовлює міграцію риб [7]. Згідно прогнозам до 2100 року глобальна температура може піднятися на 4,2°C і це призведе до повного знищення коралових рифів [8].

Підвищення температури може призвести до масового відбілювання та відмирання коралів, як це трапилось на Мальдівах під дією теплої течії Ель Нінйо. Морські водорості знаходяться у симбіотичних відносинах з коралами, проте деякі здатні вступати в конкурентну взаємодію, яка проявляється в багатих поживними речовинами водах у разі відсутності достатньої кількості траводіних риб. Водорості щільно вкривають поверхню коралового поліпа, блокуючи таким чином процеси його життєдіяльності, крім того вони синтезують аллелопатичні ліпідорозчинні екстракти, які викликають знебарвлення і загибель тканин коралів [9]. Після відмирання коралів, водорості займають його місце. Таким чином для здорового функціонування системи коралових рифів необхідна певна кількість риб, що об'їдають водорості з коралів, таких як риби-папуги з родини Scaridae (*Scarus frenatus* та *S. tricolor*), а також представників родини Acanthuridae: риби-хірурги (*Acanthurus leucosternon*, *A. lineatus*, *A. nigricauda*, *A. triostegus*, *Ctenochaetus striatus*), зебрасома парусник (*Zebrasoma desjardinii*), горбата риба-хірург (*Naso brachycentron*), помаран-

чевошипа риба-носоріг (*Naso elegans*), однорога риба-носоріг або справжній носач (*Naso unicornis*).

Забруднення повітря може також зупинити розвиток коралових рифів: в процесі 120-річного моніторингу було встановлено взаємозв'язок між станом коралових рифів та забрудненням повітря внаслідок спалювання вугілля і вулканічних вивержень. Відновлення коралів стане неможливим, якщо рівень CO₂ підніметься до 500 ppm (частин на мільйон), оскільки концентрація карбонат іонів може стати занадто низькою [7]. Ще одним наслідком зростання концентрації вуглекислого газу в атмосфері стало збільшення кислотності води в океанічному басейні. Океани поглинають близько однієї третини CO₂ [10], який при взаємодії з водою утворює вугільну кислоту, збільшуючи таким чином кислотність океану. З початку індустріальної ери рН океанічної поверхні знизилася з 8,25 до 8,14 [11] і очікується подальше зниження на 0,3-0,4 одиниць [12]. Корали містять карбонат кальцію, що при підвищенні кислотності середовища розчиняється, тому структурні елементи коралів зазнають ризику декальцифікації [10]. Підвищення рівня вуглекислого газу впливає на сигнальну систему у коралових рибклоунів (*Amphiprion clarkii*), знижуючи шанси на виживання. Порушуються функції нейротрансмітерів і риби втрачають здатність відчувати запах хижаків, не розрізняють звуки інших рифових риб, а також погіршуються їх навички синхронізованої взаємодії у косяках [13].

Зруйнувати структуру рифів та знищити організми, які там живуть, можуть будівельні, днопоглиблювальні роботи, прокладання кабелів, трубопроводів та інших комунікацій, якщо ця діяльність відбувається безпосередньо на території коралового рифу. Для забезпечення проходу човнів і кораблів до коралових островів руйнують частину рифів, що змінює циркуляцію водних потоків та порушує надходження поживних речовин. Човни можуть пошкодити корали прямим фізичним контактом при швартовці, дном та гвинтами суден, а у разі значних або систематичних пошкоджень корал не здатен відновитися. Опосередко-

ваний вплив техногенної активності проявляється у замуленні коралів, а також у зростанні випадків їх захворюваності: білий синдром, некрози, знебарвлення.

До того, як на Мальдівах почали використовувати бетон, основним будівельним матеріалом були корали, що на 50 % дешевше, ніж інші матеріали поблизу рифів. Навіть вапняковий розчин для скріплення блоків виготовлявся на основі коралів. Сьогодні видобування коралів для будівництва суворо заборонено на Мальдівах і тільки на віддалених островах можна побачити старовинні будівлі з коралів.

Рифи, що знаходяться в безпосередній близькості від заселених людьми узбереж найбільше потерпають від поганої якості води, яку забруднюють промислові стоки та побутові відходи. Морським сміттям вважають будь-який твердий об'єкт антропогенного походження, який знаходять в прибережних і океанічних водах. Забруднення може відбуватися також із вітром, який переносить шкідливі сполуки та часточки пилу, викликаючи помутніння води, а цей осад пригнічує корали, перешкоджаючи їх розмноженню та живленню. Як правило, найбільшу шкоду завдає пластик, скло, метал, гума, покинуте рибальське знаряддя [4].

Мідь, яка може надходити разом з промисловими відходами, пригнічує життєдіяльність та розвиток коралових поліпів. Але особливо токсичним для коралів є високий рівень нітратів, а фосфати уповільнюють ріст їх скелету. Гранично допустимі значення біологічно доступного азоту в формі нітрату та аміаку не повинні перевищувати 1,0 мікромоль на літр (менше 0,014 частин на мільйон N). Концентрація біологічно доступного фосфору у форму ортофосфату та розчиненого органічного фосфору повинна бути нижче 0,1 мікромоль на літр (менше 0,003 частин на мільйон P) [14]. Евтрофікація вбиває коралові рифи та його мешканців, порушуючи баланс екосистеми. Надлишкове надходження азоту і фосфору може призвести до інтенсивного розвитку фітопланктону та водоростей, які використовують весь доступний кисень та перешкоджають надходженню сонячного світ-

ла, що може закінчитися витісненням коралів з їх місця існування. Концентрація хлорофілу в мікроскопічних водоростях не повинна перевищувати 0.5 частин на мільярд. Надлишок органічних речовин може викликати поширення грибних інфекцій, наприклад аспергильозів (збудник *Aspergillus sydowii*), що вбивають м'які корали. Крім того збільшується ризик розвитку бактеріальних інфекцій (*Serratia marcescens*, яка асоційована з хворобою коралова біла віспа), що призводить до загибелі рифоутворюючих твердих коралів у 50% випадків [15].

Коралові рифи складаються з кам'янистих коралів, які містять в тканинах велику кількість воску цетилпальмітату, що не може перетравлюватись більшістю хижих риб. Проте ферментна система багатопроменевої морської зірки *Acanthaster planci* з родини Acanthasteridae здатна перетравити цей віск, тому вона являє собою небезпечного хижака для живих коралів. У морських зірок зовнішня система травлення, вони перетравлюють здобич, охоплюючи її кінцівками. Регулювати чисельність морських зірок можуть великі морські молюски роду *Charonia* з родини Ranellidae та деякі інші морські гастроподи, проте їх винищують люди, щоб отримати раковини для сувенірів [16]. Внаслідок чого популяція морських зірок може неконтрольовано зростати, знищуючи корали. Губки, що живуть на глибоких рівнях рифу, також сприяють руйнуванню коралів, перетворюючи його на дрібний пісок. Частина коралової речовини змішується в густу масу, яка йде на подальше будівництво рифу.

ВИСНОВКИ

1. Підтримання високого рівня чистоти води коралового рифу острова Хеленджелі забезпечується завдяки ефективному екологічному менеджменту.

2. Гідроплани з туристами приводяться далеко за межами острова біля невеликого дерев'яного понтону посеред океану, тим самим запобігаючи надлишковому акустичному навантаженню.

3. Переміщення морського транспорту винесено далеко за межі рифу завдяки довгому дерев'яному пірсу, який дає можливість кораблям причалювати далеко за межами рифу. Для водного зв'язку з сусідніми островами використовуються судна, побудовані традиційними для регіону методами суднобудівництва, завдяки чому забезпечується мінімальний рівень забруднення водного басейну.

4. Рекреаційне навантаження ретельно розплановано і підлягає чіткій регламентації: всі туристи одразу по прибутті на острів ознайомлюються з правилами перебування та поведінки у водному та наземному природньому середовищі, за невиконання цих правил передбачаються високі штрафи. Все наземне сміття негайно прибирається, сортується та утилізується сучасними способами, а залишки вивозяться за межі острова.

5. Аналіз видового складу іхтіофауни коралового рифу острова Хеленджелі свідчить про мінімальний рівень забруднення. Таким чином екологічний менеджмент острова Хеленджелі може служити позитивним прикладом вдалого вирішення проблем техногенного та рекреаційного навантаження з метою збереження коралових рифів.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Anderson R.C., 2005.** Reef fishes of the Maldives. Male, Republic of Maldives, Manta Marine Pvt Ltd, 130.
2. **Polidoro B.A., Livingstone S.R., Carpenter K.E., Hutchinson B., Mast R.B., Pilcher N., Sadovy de Mitcheson Y., Valenti S., 2008.** Status of the world's marine species: The 2008 Review of The IUCN Red List of Threatened Species, IUCN, Gland. Switzerland, 150.
3. **Wilkinson C., 2008.** Status of Coral Reefs of the World: Executive Summary : Global Coral Reef Monitoring Network, 19.
4. **Burke L., Reytar K., Spalding M., Perry A., 2012.** Reefs at Risk Revisited. World Resources Institute: Washington, World Resources Institute, 112.
5. **Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д., 2003.** Количественная гидроэкология:

методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН, 463.

6. **Lecchini D., Polti S., Nakamura Y., Mosconi P., Tsuchiya M., Remoissenet G., Planes S., 2006.** New perspectives on aquarium fish trade, *Fisheries Science*, 72 (1), 40–47.
7. **Hoegh-Guldberg O., 1999.** Climate Change: coral bleaching and the future of the world's coral reefs, *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 50, 839-866.
8. **Climate Accord loopholes could spell 4.2°C rise in temperature and end of coral reefs by, 2100**, Institute of Physics. 2010. *Environmental Research Letters*.
9. **Rasher D.B., Hay M.E., 2011.** Chemically rich seaweeds poison corals when not controlled by herbivores. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107 (21), 9683–9688.
10. **Kleypas J.A., Feely R.A., Fabry V.J., Langdon C., Sabine C.L., Robbins L.L., 2006.** Impacts of Ocean Acidification on Coral Reefs and Other Marine Calcifiers: A Guide for Future Research. St. Petersburg, FL : U.S. Geological Survey, 88.
11. **Jacobson, M.Z., 2005.** Studying ocean acidification with conservative, stable numerical schemes for nonequilibrium air-ocean exchange and ocean equilibrium chemistry. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 110, 1-17.
12. **Orr J.C. et al., 2005.** Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature*, 437 (7059), 681–686.
13. **Nilsson G.E., Dixon D.L., Domenici P., McCormick M.I., Sørensen C., Watson S., Munday P.L., 2012.** Near-Future Carbon Dioxide Levels Alter Fish Behaviour by Interfering with Neurotransmitter Function. *Nature Climate Change*, 2 (2012), 201–204.
14. **Young E., 2003.** Copper decimates coral reef spawning. *New Scientist*, 11, 1-2.
15. **Nowak R., 2004.** Sewage nutrients fuel coral disease. *New Scientist*, 1, 1-3.
16. **Сукач М., 2014.** Співробітництво КНУБА з міжнародними установами. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, № 84, 99-103.

REFERENCES

1. **Anderson R.C., 2005.** Reef fishes of the Maldives. Male, Republic of Maldives, Manta Marine Pvt Ltd, 130.

2. **Polidoro B.A., Livingstone S.R., Carpenter K.E., Hutchinson B., Mast R.B., Pilcher N., Sadovy de Mitcheson Y., Valenti S., 2008.** Status of the world's marine species : The 2008 Review of The IUCN Red List of Threatened Species, IUCN, Gland. Switzerland, 150.
3. **Wilkinson C., 2008.** Status of Coral Reefs of the World: Executive Summary : Global Coral Reef Monitoring Network, 19.
4. **Burke L., Reynter K., Spalding M., Perry A., 2012.** Reefs at Risk Revisited. World Resources Institute : Washington, World Resources Institute, 112.
5. **Shiticow V.K., Rozenberg G.S., Zinchenko T.D., 2003.** Kolichestvennaya gidroecologiya: metodi sistemnoy identifiacii [Quantity gidroecology: the method of system identification]. Tolyati, IEVB RAS, 260. (*in Russian*)
6. **Lecchini D., Polti S., Nakamura Y., Mosconi P., Tsuchiya M., Remoissenet G., Planes S., 2006.** New perspectives on aquarium fish trade, Fisheries Science, 72 (1), 40–47.
7. **Hoegh-Guldberg O., 1999.** Climate Change: coral bleaching and the future of the world's coral reefs, Australian Journal of Marine and Freshwater Research, 50, 839–866.
8. **Climate Accord loopholes could spell 4.2°C rise in temperature and end of coral reefs by 2100**, Institute of Physics, 2010. Environmental Research Letters.
9. **Rasher D.B., Hay M.E., 2011.** Chemically rich seaweeds poison corals when not controlled by herbivores. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107 (21), 9683–9688.
10. **Kleypas J.A., Feely R.A., Fabry V.J., Langdon C., Sabine C.L., Robbins L.L., 2006.** Impacts of Ocean Acidification on Coral Reefs and Other Marine Calcifiers: A Guide for Future Research. St. Petersburg, FL : U.S. Geological Survey, 88.
11. **Jacobson, M.Z., 2005.** Studying ocean acidification with conservative, stable numerical schemes for nonequilibrium air-ocean exchange and ocean equilibrium chemistry. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 110, 1-17.
12. **Orr J.C. et al., 2005.** Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. Nature, 437 (7059), 681–686.
13. **Nilsson G.E., Dixon D.L., Domenici P., McCormick M.I., Sørensen C., Watson S., Munday P.L., 2012.** Near-Future Carbon Dioxide Levels Alter Fish Behaviour by Interfering with Neurotransmitter Function. Nature Climate Change, 2 (2012), 201–204.
14. **Young E., 2003.** Copper decimates coral reef spawning. New Scientist, 11, 1-2.
15. **Nowak R., 2004.** Sewage nutrients fuel coral disease. New Scientist, 1, 1-3.
16. **Sukach M., 2014.** Collaboration of KNUCA with international establishments [Spivrobotnictvo KNUBA sz mizhnarodnimi ustanovami]. Girnich, budivelni, dorozhni ta meliorativni machine [Mining, constructional, road and melioration machines], No.84, 99-103 (in Ukrainian).

THE IMPACT OF TECHNOGENIC LOADING ON ICHTHYOFAUNA OF CORAL REEF

Tetiana Kryvomaz

Kyiv National University of Construction and Architecture

Povitroflotsky Prospect 31, Kyiv, Ukraine, 03680, e-mail: ecol@i.ua

Summary. The paper considers the analysis of ichthyofauna in coral reef Helendzheli at the Maldives islands in aspects of environmental safety. The purpose of this work consists in evaluation of technic and recreation impacts on coral reef in the Maldives Helendzheli island. Researches in this work are analysis of ichthyofauna species composition for indicates of level pollution of marine waters in coral reef. Almost all fish identified sensitive to pollution, including *Acanthurus leucosternon* can live only in clean water. The identified species of fish, corals are clean of fouling organisms that filter water from the excess organic residues, and a small number of predatory fish that support the stability of the ecosystem. All movement of water and air transport made outside the coral reefs, recreational load clearly regulated and ground debris utilized modern methods. Thus environmental management Helendzheli island is the positive example of successful solution for problems of technic and recreation impacts. The main problem of the island as a whole to Maldives is a real threat of flooding due to global climate change. This is the first research of ichthyofauna in the Maldives Helendzheli island for indicates of coral reef environmental safety. The work has scientific and practical interest.

Key words: ecological safety, human impacts, coral reefs, ichthyofauna.

Інформація

Автори публікацій

- Олександр Безверхий** – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач відділу електропружності Інституту механіки ім. С.П.Тимошенка НАН України, Київ
- Ірина Братасюк** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту гідромеханіки НАН України, Київ
- Євген Горбатенко** – кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник, Інститут гідромеханіки НАН України, Київ
- Микола Жук** – доктор технічних наук, професор, громадська організація Слов'яно-Арійська академія наук, Харків
- Олена Іванік** – доктор геологічних наук, професор, завідувач кафедри загальної та історичної геології Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ
- Григорій Іванченко** – кандидат технічних наук, доцент, декан будівельного факультету Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ
- Кришна Каястха** – кандидат технічних наук, координатор гідротехнічної комісії, Катманду, Непал
- Тетяна Кривомаз** – кандидат технічних наук, доцент, кафедра охорони праці і навколишнього середовища Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ
- Мирон Назарян** – кандидат технічних наук, професор, проректор Харківського інституту управління, Харків
- Юрій Стельмахов** – кандидат технічних наук, Міжнародна неурядова гуманітарно-екологічна організація Інтер-Чорнобиль, Харків
- Михайло Сукач** – доктор технічних наук, професор, кафедра будівельних машин Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ
- Ірина Устінова** – кандидат архітектури, доцент, докторант кафедри містобудування Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ
- Володимир Шаров** – голова правління ТОВ 5-й гідротехнічний підводний загін, Київ

Індексування видання

- Журнал «Підводні технології» подано до наукометричних баз:
- "Ulrichs web" – <http://ulrichsweb.serialssolutions.com>
 - "Index Copernicus" – www.journals.indexcopernicus.com
 - "Research Bible" – <http://journalseeker.researchbib.com>
 - "Web ИРБИС" – <http://irbis-nbuv.gov.ua>
 - "Get CITE" – <http://www.getcited.org>
 - "JOUR Info" – <http://jourinfo.com>
 - "The Global Impact Factor" – <http://globalimpactfactor.com>
 - "Scientific Indexing Services" – <http://www.sindexs.org>
 - "Google academy" – <http://scholar.google.com.ua/citations?user=2-FASc4AAAAJ&hl=uk>

Про журнал

В міжнародному науково-виробничому журналі «Підводні технології» публікуються оригінальні статті обсягом 8 – 12 сторінок, включно з таблицями, рисунками та списком літератури. Статті підлягають подвійному рецензуванню, у тому числі залученими редакцією незалежними експертами. Автори передають видавцю авторське право на тексти та письмові дозволи для відтворення рисунків і таблиць з неопублікованих раніше або захищених авторським правом матеріалів.

Журнал видається Київським національним університетом будівництва і архітектури спільно з Інститутом геології КНУ ім. Тараса Шевченка та ДВНЗ Національний гірничий університет. Електронний архів зберігається на сайтах журналу «Підводні технології» www.uwtech.at.ua, НБУ ім. Володимира Вернадського www.irbis-nbuv.gov.ua в розділі «Журнали та продовжувані видання», КНУБА www.science.knuba.edu.ua в розділі «Наукові видання університету», Інституту геології КНУ ім. Тараса Шевченка www.geol.univ.kiev.ua/ua, ДВНЗ Національний гірничий університет www.nmu.org.ua/ua в розділі «Наукові видання». Інформацію про журнал розміщено на веб-ресурсі www.usj.org.ua.

До редакції та на електронну пошту uwtech@ukr.net подають підписані:

1) Текст статті (роздрукований і електронну копію); 2) Угоду про вільне використання авторського права; 3) Рецензію (зовнішню); 4) Авторську довідку.

Авторська довідка повинна містити: прізвище, ім'я та по-батькові (повністю); науковий ступінь, вчене звання, посаду та місце роботи; контактний телефон, електронну адресу, фото автора (.jpg).

Приклади рукопису статті у середовищі MS Word – на сайті www.uwtech.at.ua.

Вимоги до статей

Загальні правила:

- параметри сторінки: формат А4, верхнє та нижнє поля – 2,5 см, лівє та правє – 2 см; шриффт Times New Roman; колонтитули 1,2 см, абзацний відступ 0,5 см; розмір тексту (12-10-8-12-16), міжрядковий інтервал 1;
- статтю форматують у дві колонки по 8 см з проміжком 1 см (.doc, .docx); використовують автоматичні переноси слів;
- назви таблиць та підписи під рисунками (розмір 11) дублюють англійською мовою і розміщують з лівого боку колонки;
- в кінці статті дають: транслітерований список літератури, а також англійською повторюють її назву, вихідні дані й анотацію; в англійській статті – те саме зазначають російською.

Структурування:

- вихідні дані (шриффт Arial): назва рукопису (н/ж, ф.14), ім'я та прізвище авторів (курсив, ф.12), місце роботи, повна поштова адреса, e-mail (св., ф.10) – якщо вони різні, зазначають зірочками. Від вихідних даних до верхнього поля сторінки та до основного тексту залишають по п'ять пустих рядків.
- структурні підрозділи статті: Анотація (Summary) (150 – 200 слів); Ключові слова (Key words) – до 5 слів; Вступ (Introduction); Мета і Методи (Materials and Methods); Результати та Пояснення (Results and Discussion); Висновки та Рекомендації (Conclusions and References) – пронумеровані.
- назва статті – інформативна та коротка; в анотації не використовують невизначені скорочення та аббревіатури (усі пояснення дають в тексті); посилання – не більше 5 пунктів в одному місці;
- таблиці та рисунки розміщують після першого згадування про них, великі – притискують до верху або низу сторінки;
- ілюстрації – у форматах .jpg, .gif, .tif з роздільною здатністю 300 dpi.

Оформлення:

- прямо пишуть – цифри, грецькі букви, кирилицю, тригонометричні функції (tan, sin та ін.), усталені вирази (max, const та ін.), хімічні елементи; курсивом – англійські символи формул, римські цифри, номери експлікації; між формулами, графічними об'єктами і текстом залишають по одному пустому рядку;
- формули (12-10-8-12-16) набирають в Eq.3 та центрують, нумерація – з правого боку колонки; таблиці – не перевищують область друку сторінки;
- текст на полях рисунків зводять до мінімуму; слова «Табл.» (Table), «Рис.» (Fig.) пишуть з великої букви, в тексті – світло, в назві – н/ж;
- в списку літератури – не менше 20 посилань; в якості розділових знаків використовують тільки крапку і кому.

Науково-виробниче видання

ПІДВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

ПРОМИСЛОВА ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

Випуск 01/2015

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

Владислав Балибердин
Олена Волошкіна
Валерій Гавриленко
Віктор Гайдайчук
Микола Дьомін
Вероніка Леоньтева
Олексій Митропольський
Володимир Снісаренко

Оригінал-макет виготовлено в редакції журналу «Підводні технології»

Редагування та коректура *Анатолій Фомін*
Комп'ютерна верстка і макет *Дмитро Міщук*
Обкладинка і дизайн *Ольга Проневич*

Адреса редакції

КНУБА, Повітрофлотський проспект, 31,
лаб. корпус, к. 2313, Київ, Україна, 03680,
т.+38(044) 2415474, ф.+38(044) 2454217,
www.uwtech.at.ua, e-mail: uwtech@ukr.net
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 808 від 13.02.2002 р.

Надруковано

Підписано до друку 20.12.2015. Формат 60×84/8. Папір офсетний.
Друк на різнографі. Ум.-друк. арк. 10,23. Наклад 100 прим.
Вид. №0/00-00. Зам. №0/0-15