ЗАСНОВНИК

**Київський національний університет будівництва і архітектури**

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

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

**Виходить 2 рази на рік**

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

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

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

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

**Віктор Баженов**, д.т.н., проф.
**Володимир Блінцов**, д.т.н., проф.
**Ярослав Гадзало**, акад., президент НААН
**Анатолій Гончар**, чл.-кор. НАНУ, д.т.н., с.н.с.
**Дмитро Гончаренко**, д.т.н., проф.
**Віктор Грінченко**, акад. НАНУ, д.т.н., проф.
**Володимир Гришин**, д.т.н., проф.
**Микола Дьомін**, д.арх.,проф.
**Леонід Заміховський**, д.т.н., проф.
**Михайло Ільченко**, академік НАНУ, д.т.н., проф.
**Святослав Кравець**, д.т.н., проф.
**Петро Куліков**, д.е.н., проф.
**Олег Лимарченко**, д.т.н., проф.
**Олександр Луговський**, д.т.н., проф.
**Володимир Михайлов**, д.геол. наук, проф.
**Олексій Митропольський**, чл.-кор. НАНУ, д.г.-м.н., проф.
**Володимир Надутий**, д.т.н., проф.
**Іван Назаренко**, д.т.н., проф.
**Станіслав Ніколаєнко**, д.пед.н., проф.
**Анатолій Обшта**, д.т.н., проф.
**Борис Патон**, академік, президент НАНУ
**Олександр Приходько**, д.ф.-м.н., проф.
**Ігор Ребезнюк**, д.т.н., проф.
**Валерій Самойленко**, д.ф.-м.н., проф.
**Володимир Симоненко**, д.т.н., проф.
**Володимир Снісаренко**, д.т.н., проф.
**Андрій Тевяшев**, д.т.н., проф.
**Олександр Трофимчук**, чл.-кор. НАНУ, д.т.н., проф.
**Олександр Щипцов**, д-р геогр. наук, проф.

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-ВИРОБНИЧИЙ ЖУРНАЛ

# ПІДВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

**06/2017**

ПРОМИСЛОВА ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

**Заснований у серпні 2015 року**

## ВПЛИВ ВОДИ НА ДОВКІЛЛЯ ТА ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

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

МІЖНАРОДНА РАДА

**Winfried Auzinger**, PhD, Ass.Prof., Vienna University of Technology (Austria)
**Vladislav Bogdanov**, PhD, Snr.Res.Ass. (Australia)
**Goran Bryntse**, PhD, Ass.Prof., EREF (Sweden)
**Carsten Drebenstedt**, Dr hab eng., Prof., TU Bergakademie, (Germany)
**Vladimir Feldgun**, PhD, Snr.Res.Ass., Israel Institute of Technology (Israel)
**Stanisław Fic**, Dr hab eng., Prof., Politechnika Lubelska (Poland)
**Jan Glinski**, Czl. rzecz. PAN, Dr hab, Prof., OL PAN (Poland)
**Maxim Gots**, PhD, P.eng., Skyjack Inc. (Canada)
**Krishna Kayastha**, PhD, Hydro-Technical Commission (Nepal)
**Vladyslav Kvjatkovskiy**, Krypton Ocean Group (Virginian Isl.)
**Andrzej Marczuk**, Dr hab eng., Prof., Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie (Poland)
**Viktor Mashkov**, ScD eng., Ass.Prof., University J. Evangelista Purkyne in Usti-nad-Labem (Czech Republic)
**Usman Naeem**, PhD, University of East London (England)
**Lech Rowinski**, Dr hab eng., Prof., Gdansk University of Technology (Poland)
**Henryk Sobczuk**, Dr hab, Prof., Kyiv office PAN (Poland)
**Vadym Weltischev**, PhD, Prof., Bauman MSTU (Russia)

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

**Затверджено** Вченою радою Київського національного університету будівництва і архітектури 28 квітня 2017 р. (протокол № 2)

**Мови видання** українська, російська, англійська

**Для науковців, виробників, фахівців**

© ПІДВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ • 2017
Промислова та цивільна інженерія

© UNDERWATER TECHNOLOGIES • 2017
Industrial and civil engineering

# Зміст

**Природничі науки**

**Михайло Сукач**…… 3
Третя міжнародна науково-практична конференція *Підводні технології 2017*
Third international scientifically-practical conference *Underwater Technologies 2017*

**Математика та статистика**

**Антон Махінько, Наталія Махінько**…… 16
Особливості імовірнісного розрахунку висотних споруд при врахуванні випадковості обох складових вітрового впливу
Probabilistic design of high-rise buildings with two stochastic components of wind velocity

**Механічна та електрична інженерія**

**Борис Патон, Владимир Лебедев, Геннадий Жук**…… 28
Достижения и перспективы разработки механизированного и автоматического оборудования для дуговой подводной сварки мокрым способом
Achievements and prospects of development of the mechanized and automatic equipment for a underwater arc/w wet-process

**Sergey Maksimov**…… 37
E.O.Paton Electric Welding Institute activity in the field of underwater welding and cutting
Разработки Института электросварки имени Е.О.Патона в области сварки и резки под водой

**Автоматизація та приладобудування**

**Kirill Otradnov, Volodymyr Shuliak, Sergii Kornieiev**…… 46
Underwater wireless video communication in operations of AUV/UUVs – new horizon of underwater explorations
Подводная беспроводная видеосвязь в операциях AUV/UUVs – новые горизонты подводных исследований

**Виробництво та технології**

**Петро Купрієнко, Світлана Лаповська, Наталія Купрієнко**…… 57
Алгоритмічна послідовність узагальнених етапів виконання масштабного проекту «Комплексне вирішення проблем екології і утилізації промислово-побутових відходів на базі технології «ресайклінгу»
Algorithmic sequence of generalized phases of the implementation scale project – a comprehensive solution of ecology problems and recycling industrial and social waste based on «recycling» technology

**Oleksandr Kravchuk**…… 65
Functioning of filter structures in changing velocity conditions over time
Работа фильтровальных сооружений в режиме изменения скорости со временем

**Архітектура та будівництво**

**Walery Wysoczański, Stanisław Fic**…… 74
Bezpieczeń stwo ekologiczne oraz niezawodnoś ć eksploatacyjna obiektów budowlanych na terenach poddanych wpływom osuwisk
Ecological safety and operational reliability of buildings in landslide affected areas

**Victor Shkoda, Maria Syomchina, Andrei Shkoda**…… 82
Analysis of exploitation of residential five-storey buildings, erected on Zaporizhzhia's subsided grounds
Анализ эксплуатации жилых пятиэтажных зданий, возведенных на просадочных грунтах г. Запорожье

**Ludmila Bachinska**…… 89
The development of the architectural object under the influence of social history
Развитие архитектурного объекта под влиянием социальной истории

**Інформація**…… 100

# Третя міжнародна науково-практична конференція Underwater Technologies 2017

*Михайло Сукач*

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

**Анотація**. Проведено III міжнародну науково-практичну конференцію *Underwater Technologies 2017*, присвячену впливу води на довкілля та різні аспекти людської діяльності. Українські й іноземні фахівці обговорили широке коло питань, пов'язаних з розробкою теорії, проведенням досліджень, створенням нової техніки і обладнання, практичним застосуванням сучасних енергоощадних і екологічно безпечних технологій. У заході взяли участь майже дев'яносто фахівців, у тому числі із-за кордону, яких відзначено Сертифікатами, Подяками оргкомітету конференції, Дипломами переможців конкурсів за трьома номінаціями. Кращі роботи рекомендовані до опублікування в міжнародних наукових журналах.

**Ключові слова**: науково-практична конференція, підводні технології, інтеграція фахівців, міжнародні публікації.



**Михайло Сукач**
професор кафедри
будівельних машин
д.т.н., проф.

В Київському національному університеті будівництва і архітектури відбулася III Міжнародна науково-практична конференція *Underwater Technologies 2017*, яка проходила з 21 до 23 березня за адресою: 31, Повітрофлотський просп., Київ, Україна, 03037.

Співорганізоторами конференції виступили Міністерство освіти і науки України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору та Інститут електрозварювання імені Є.О.Патона Національної академії наук України, Польська академія наук (Представництво в Києві), Національний університет кораблебудування (Миколаїв), Харківський національний університет радіоелектроніки (Рис.1).

Розглядались питання, пов'язані із впливом води на навколишнє середовище та інноваційні технології. Науковці й фахівці представили такі галузі знань як Природничі науки, Математика і статистика, Інформаційні технології, Механічна та електрична інженерія, Автоматизація та приладобудування, Виробництво та технології, Архітектура та будівництво[1].

Головою організаційного комітету конференції обрано ректора КНУБА д-ра екон. наук професора Петра Кулікова, співголовою − директора Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України члена-кореспондента НАНУ, Олександра Трофимчука, членами комітету − Directora Stacja Naukjwa w Kijowie PANDr hab Henryka Sobczuka (Poland) та завідувача кафедри ХНУРЕ д-ра техн. наук професора Андрія Тевяшева (Харків).

[1] Імена, прізвища, назви доповідей подано в авторській редакції (мовою оригіналу)







**Рис.1**. Робоча програма і співорганізатори конференції
**Fig. 1**. Working program and co-organizers of conference

До міжнародної ради конференції увійшли представники багатьох країн світу – PhD Ass. Prof. Winfried Auzinger (Vienna University of Technology, Austria), PhD Snr.Res.Ass. Vladislav Bogdanov (Australia), PhD Ass.Prof. Goran Bryntse (EREF, Sweden), PhD Snr.Res.Ass. Vladimir Feldgun (Israel Institute of Technology), Czl. rzecz. PAN, Dr hab Prof. Jan Glinski (OL PAN, Poland), PhD P.Eng. Maxim Gots (Skyjack Inc., Canada), PhD Krishna Kayastha (Hydro-Technical Commission, Nepal), Dr hab Prof. Eugeniusz Krasowski (OL PAN, Poland), Vladyslav Kvjatkovskiy (Krypton Ocean Group, Virginian Isl.), ScD Ass.Prof. Viktor Mashkov (University J. Evangelista Purkyne in Usti-nad-Labem, Czech Republic), PhD Usman Naeem (University of East London, England), ScD Prof. Mihail Nikitenko (BNTU, Belorussia), Dr hab Prof. Lech Rowinski (Gdansk University of Technology, Poland), Pjotr Suvorov (Development of Danube Navigation, Hungary), PhD Prof. Vadym Weltischev (Bauman MSTU, Russia), Dr inż. Walery Wysoczanski (WSBOP w Radomiu, Poland).

Науковий комітет конференції *Underwater Technologies 2017* очолили її фундатор − д-р техн. наук професор Михайло Сукач, співголова − директор Інституту електрозварювання імені Є.О.Патона академік Борис Патон, члени комітету − Dean Technische Universität Bergakademie Dr hab Prof. Carsten Drebenstedt (Freiberg, Germany), проректор Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова д-р техн. наук професор Володимир Блінцов (Миколаїв).

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

(Одеса), д.арх. проф. Микола Дьомін (Київ), д.т.н. проф. Михайло Дубровський (Одеса), д.т.н. проф. Леонід Заміховський (Івано-Франківськ), д.т.н. проф. Святослав Кравець (Рівне), д.т.н. проф. Володимир Лебедев (Київ), д.т.н. проф. Олександр Луговський (Київ), д.геол.н. проф. Володимир Михайлов (Київ), чл.-кор. НАНУ, д.г.-м.н. проф. Олексій Митропольський (Київ), д.т.н. проф. Володимир Надутий (Дніпро), д.т.н. проф. Іван Назаренко (Київ), д.т.н. проф. Анатолій Обшта (Львів), д.т.н. проф. Геннадій Оборський (Одеса), д.т.н. проф. Віталій Плоский (Київ), д.ф.-м.н. проф. Олександр Приходько (Дніпро), д.т.н. проф. Ігор Ребезнюк (Львів), д.ф.-м.н. проф. Валерій Самойленко (Київ), д.т.н. проф. Володимир Симоненко (Дніпро), д.т.н. проф. Володимир Снісаренко, (Київ), д.т.н. проф. Роман Шульц (Київ).

Робочі мови конференції − українська, російська, англійська та польська. Інформаційними партнери − Big end Small, ТОВ ПроІнфо, видавництво Ліра-К.

Запропоновано чотири форми участі – *очна* (доповідь або презентація результатів теоретичних та експериментальних досліджень), *заочна* (стендові доповіді, інноваційні проекти, повідомлення), *online*-доповіді (по Skype зв'язку), *публікація* в міжнародних наукових журналах.

Мета конференції − аналіз і оцінка стану проблем в галузі підводних технологій, представлення результатів наукових і практичних досліджень та впровадження їх у виробництво; інтеграція українських, закордонних фахівців і наукових шкіл в розробці теорії, проведенні досліджень, створенні нової техніки і методів, практичному застосуванні енергоощадних та екологічно безпечних технологій; консолідація фахівців різних галузей для вирішення проблем глобального впливу води на довкілля й сприяння трансферу інноваційних технологій.

До оргкомітету надійшло 89 заявок від 124 учасників конференції, у тому числі 20 авторів наукових робіт, які прийняли участь у конкурсній програмі за номінаціями на кращі Презентацію, Інноваційний проект, Публікацію. В цілому на трьох секціях конференції заслухано понад 60 очних доповідей, десять заочних і Skype-презентацій, представлено результати досліджень на здобуття двох докторських і декількох кандидатських дисертацій.

Пленарне засідання у залі вченої ради КНУБА урочисто відкрили проректор з наукової роботи і міжнародних зв'язків Віта-




**Рис.2**. Відкриття Третьої міжнародної науково-практичної конференції *Підводні технології 2017*

**Fig. 2**. Opening of the Third international scientifically-practical conference *Underwater Technologies 2017*

лій Плоский та Президент Академії будівництва України Іван Назаренко, які зазначили, що за три роки з дня заснування форум набув неабиякої популярності (Рис.2). Про це свідчить широке коло фахівців, залучених до спілкування щодо питань глобального впливу води на навколишнє середовище, створення й функціонування технічних систем і новітніх технологій, що підвищують якість життя людини.

З промовою до учасників конференції звернувся Директор Представництва Польської Академії Наук Henryk Sobczuk, наголосивши про відчутний прогрес, яким супроводжується даний захід, збираючи усе більше фахівців, у тому числі закордонних, для обговорення нагальних питань водокористування, екологічного захисту довкілля та інших проблем (Рис.3).

Про міжнародну співпрацю науковців КНУБА з європейськими інституціями красномовно говорив керівник комісії з моторизації та енергетики в сільському господарстві Люблінського відділу PAN Eugeniusz Krasowski, з яким нас пов'язує багаторічна співпраця у видавничій сфері, організації й проведенні численних наукових конференцій, симпозіумів та конгресів.

Професор Михайло Сукач акцентував увагу на поглибленні інтеграції науковців у галузі підводних технологій з фахівцями інших країн, зокрема Гданського Університету Технології (Факультет корабельного дизайну і підводної роботизації, Dr hab Prof. Lech Rowinski); Dean Technische Universität Bergakademie Dr hab Prof. Carsten Drebenstedt (Freiberg, Germany) та ін.

Інформацією про досягнення і перспективи розробки механізованого і автоматичного обладнання для дугового підводного зварювання мокрим способом поділився головний конструктор ДП ОКТБ Інституту електрозварювання імені Є.О.Патона НАН України д.т.н. проф. Володимир Лебедєв.


Віталій Плоский

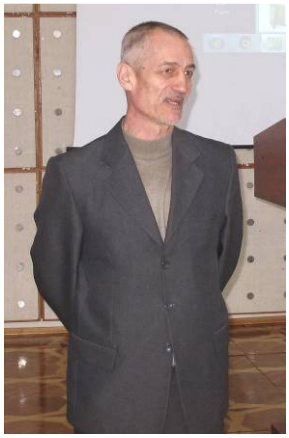

Henryk Sobczuk


Володимир Лебедєв


Сергій Максимов


Eugeniusz Krasowski


Володимир Блінцов


Сергій Корнєєв


Микола Гарницький

**Рис.3**. Пленарні доповіді
**Fig. 3**. Plenary lectures

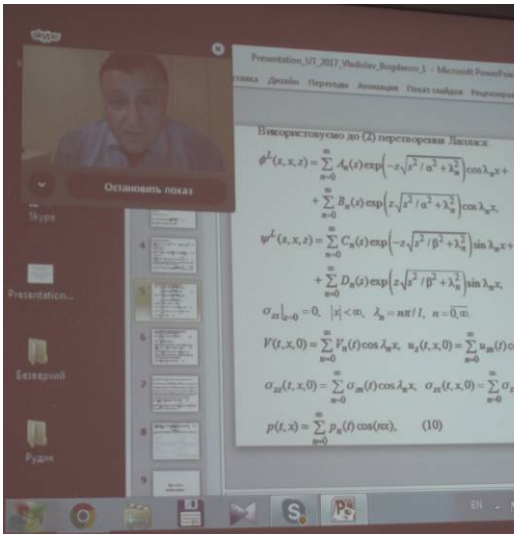
Разом із завідувачем відділу фізичних і механічних досліджень зварюваності конструкційних сталей і чавунів д.т.н. Сергієм Максимовим розповіли про розробки інституту й сучасні технології зварювання та різання під водою.

Унікальну в світі технологію проектування, виробництва і тестування безпровідного каналу відеозв'язку англійською мовою представив президент міжнародної компанії BaltRobotics Sp.z.o.o. (Limited liability company, Gdansk, Poland) Сергій Корнєєв у підготовленій разом з Кирилом Отрадновим і Володимиром Шуляком презентації. Показано особливості використання безпровідного відеозв'язку в підводних автономних апаратах типу AUV (Autonomous Underwater Vehicles) для вирішення задач неруйнівного інспектування підводних нафтогазопроводів та ін.

Проректор з наукової роботи НУК (Миколаїв) д.т.н. проф. Володимир Блінцов привіз на конференцію цілу команду студентів, здобувачів й викладачів (Андрій Сірівчук, Лео Алоба, Сергій Блінцов, Олександр Блінцов, Микола Возіян, Андрій Войтисик, Максим Грицаєнко, Денис Дунаєвський, Ігор Каницький, Олександр Клочков, Віктор Корицький, Сергій Осадчий, Данііл Саржан, У Чен Сі), які представили результати науково-дослідної та проектно-технічної діяльності Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова у напрямку створення засобів морської робототехніки.

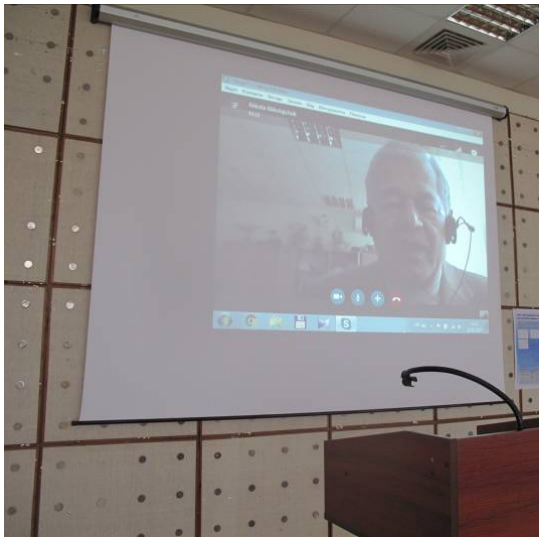
Заслухали доповіді Olexandra Trofymchuka (The Institute of Telecommunication and Global Information Space of the National Academy of Science of Ukraine), Juriia Kaliukha The State Research Institute of Building Constructions, Kyiv) "An integrated methodology for landslides' early warning systems based on the integration between modern monitoring techniques along with avanced numerical modeling; д.ф.-м.н. професора Олександра Безверхого (НТУ, Київ) й здобувача Вікторії Корнієнко (Інститут механіки імені С.П.Тимошенка НАН України) "Динаміка розвороту підводної буксированої системи".

Чудовим прикладом самовідданої та ефективної праці є робота колективу Міжгалузевого науково-технічного колективного підприємства «Лана» (Київ) під керівництвом к.т.н. Миколи Гарницького, який продемонстрував діючі зразки та нові схеми корисного використання енергії повітря, а також перепаду висот течії річки − для отримання електричної, теплової та механічної енергій, які є екологічно-чистими новими альтернативними джерелами відновлювальної енергії, здатними запобігати екологічним катастрофам, розташовуючись вище дзеркала води і отже не затоплюю-




На зв'язку із Австралією (Vladislav Bogdanov)





ІФНТУНГ (Леонід Заміховський)

**Рис.4**. Skype-доповіді
**Fig. 4**. Skype-lectures



**Рис.5**. Делегати конференції
**Fig. 5**. Delegates of conference

чись. Отримані наукові і практичні результати можуть суттєво зменшити енергетичну залежність України від газу, вугілля, бензину та дизельного пального, зважаючи на той факт, що місце видобутого вугілля та вуглеводнів завжди займає питна вода, запаси якої у світі скорочуються.

Роботу пленарного засідання продовжено Skype доповідями учасників із-за кордону. Так, першим на зв'язок з конференцією вийшов представник австралійської фірми Serenidad Consulting Pty. Ltd з Vladislav Bogdanov (Sidney, Australia), який представив теоретичну розробку "Impact of a hard cylinder with flat surface on the elastic layer" за матеріалами підготовленої докторської дисертації з математики (Рис.4).

Низку презентацій екологічного напряму надали співробітники кафедри інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем Івано-Франківського національного університету нафти і газу. Про систему автоматизованого управління водозабірними станціями з функціями диспетчеризації розповів Микола Николайчук, а завідувач кафедри Леонід Заміховський – про web-орієнтовану систему моніторингу забруднених водних середовищ. Цікавою виявилась тематика Олени Заміховської «Розробка системи моніторингу стану водних поверхонь на базі сучасних інформаційних технологій» та Івана Левицького «Система автоматизованого управління підкачувальними насосними станціями на базі частотних перетворювачів Sinamics G120C».

Учасникам конференції (Рис.5) було надано площу для реклами власних досягнень, демонстрації розробленого обладнання й інноваційних технологій на виставкових стендах, можливість пропагування власних видань наукової та навчальної літератури (Рис.6). Оргтехнікою й інтернет-зв'язком опікувався Григорій Мачишин.

Секційні засідання відбувалися під проводом (секція № 1) − директора Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАНУ член-кореспондента НАН України Олександра Трофимчука, професора Національного транспортного університету д.ф.-м.н. проф. Олександра Безверхого (вчений секретар − к.т.н., доцент Дмитро Міщук); в секції № 2 − проректора НУК імені академіка Макарова д.т.н. проф. Володимира Блінцова, фахівця з розробки й дослідження підводних апаратів (Gdansk University of Technology, Poland) dr hab prof. Lech Rowinski (секретар − Олександр Марченко); в секції № 3 – завідувача кафедри міського будівництва КНУБА д-ра архітектури професора Миколи Дьоміна,




**Рис.6**. Виставкові стенди і обладнання
**Fig. 6**. Exhibition stands and equipment

декана технічного університету Bergakademie (Freiberg, Germany) Dr hab, Prof. Carsten Drebenstedt (секретар − Світлана Комоцька).

Другий день роботи конференції (Рис.7) розпочався звітом завідувача кафедри дорожніх машин Національного транспортного університету к.т.н. проф. Володимира Мусійка про результати наукових досліджень та створення спеціальних землерийних машин безперервної дії для ремонту магістральних трубопроводів, представлених на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. Відбулося жваве обговорення, в результаті якого надано зауваження й поради щодо формування кваліфікаційної роботи.

Nikolay Zhuk (Slavic-Aryan Academy of Sciences, Kharkiv), Myron Nazarian, Yury Stelmakhov (International non-governmental humanitarian and ecological organization "Inter-Chernobyl", Kharkiv) опікувались "Ecological aspects of the building the shipping canal from china to the black sea". Директор ТОВ НТК «Мобільні водолазні системи» Олексій Рудик розказав про модульні спеціалізовані комплекси із системою життєзабезпечення для водолазних будівельних та аварійно-рятувальних робіт.

Представники Харківського національного університету радіоелектроніки: д.т.н. проф. Andrey Tevyashev виступили з тематикою "Optimum stochastic control of the operating modes of water mains", a Volodymyr Brytik, Volodymyr Kobziev, Mohamed AlKilani – "Features of digital image processing underwater environment with the help of special filters", "Data analysis and revising the conceptual model OF E-GOV systems".

Декілька доповідей торкалися тематики підводної розробки ґрунтів (науковий керівник д.т.н. проф. Михайло Сукач), які підготували Олександр Марченко «Прокладання-заглиблення кабелів на протяжних об'єктах шельфу», Світлана Комоцька «Прогнозування зусиль різання ґрунту по геологічним кернам», Сергій Лисак «Модернізація одноківшевого екскаватора-маніпулятора».

Аспірант Любов Пига разом зі своїм керівником д.т.н. проф. Геннадієм Гайко (НТУУ КПІ імені Ігоря Сікорського) доповіли про новий спосіб екранованої розробки донних покладів газогідратів. ScD Prof. Sviatoslav Kravetc, Roman Zoria (National







Керівники секцій



**Рис.7**. Секційні засідання
**Fig. 7**. Sectional meeting

University of Water and Environmental Engineering, Rivne) представили доповідь на тему “Approximation of math model of the combined cutting soil`s critical depth with influence of working speed”.

Роботи інституту Інститут геотехнічної механіки імені М.С.Полякова НАН України в галузі зневоднення гірської маси анонсував д.т.н. проф. Володимир Надутий, а Євген Семененко, Ольга Матвеєва, Сергій Киричко, Наталія Коваль обґрунтували раціональні параметри і режими роботи гідротранспортної установки при підводній розробці розсипних родовищ.

Представники Харківського механічного технікуму імені О.Морозова (Андрій Недяк, Тетяна Бєлова, Григорій Мокренко) займались кінематичним дослідженням робочих рухів будівельних машин при проведенні підводних робіт й тривимірним моделюванням навантажень на гідравлічний ударний молот при руйнуванні під водою.

Група фахівців та студентів з Національного транспортного університету презентували свої розробки, виконані під керівництвом д.т.н. Миколи Кузьмінця, у стендових доповідях − «Підводний модульний транспортний тунель», «Проблеми та перспективи аерогравіметричних досліджень акваторій України», «Досвід комплексування інформаційних технологій при побудові карт геофізичних полів», «Проект підводної науково-дослідної станції», «Нові можливості визначення густинних неоднорідностей на шельфі за допомогою сейсмогравітаційного моделювання». В них прийняли участь Олександр Гордійчук, Микола Пристайло, Юрій Дубовенко, Марія Слизька, Владислава Патока, Оксана Кузьмінець (Немішаєвський аграрний коледж), Катерина Павленчик, Микола Кузьмінець, Іван Мартинюк, Яків Вінокгойз, Тетяна Степаненко.

Роботу іншого плану продемонстрували д.ф.-м.н. проф. Сергій Федін (НТУ) та Ірина Зубрецька (Київський національний університет технологій та дизайну) − «Нейронечітка апроксимація градуювальних характеристик первинних вимірювальних перетворювачів», а також к.т.н. доцент Олександр Сирота «Система живлення багатоциліндрового двигуна з впорскуванням бензину і зворотнім зв’язком з відключенням групи циліндрів».

Блок доповідей архітектурно-будівельного спрямування представлено фахівцями кількох вищих навчальних закладів Польщі й України. Так Sabina Kuc (Krakow University of Technology, Poland) і Liudmila Ruban (KNUCA, Kyiv) розглянули “Creative landscape architecture: union with water” та “Перспективи архітектурно-ландшафтного освоєння системи прибережних та водних територій”.

Wykładowca akademicki Instytutu Budownictwa Dr inż. Walery Wysoczański, спеціаліст з акустореології (Wyższa Szkoła Bezpieczeństwa i Organiacji Pracy w Radomiu, Poland) разом з Kierownikom katedry Budownictwa Ogólnego Dr hab, Prof. Stanisławom Ficem (Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury, Poland) займалися проблемою “Bezpieczeństwo ekologiczne oraz niezawodność eksploatacyjna obiektów budowlanych na terenach poddanych wpływom osuwisk”.

Особливості імовірнісного розрахунку висотних споруд при врахуванні випадковості обох складових вітрового впливу розглянули співробітники кафедри комп’ютерних технологій будівництва Національного авіаційного університету д.т.н. проф. Антон Махінько і к.т.н. доц. Наталія Махінько. А завідувач цієї кафедри д.т.н. проф. Олександр Лапенко разом з аспірантами Дарією Скребнєвою, Олександрою Шевченко, Nadim Masud подали роботу “Calculation of compressed and bended steel reinforced concrete constructions in the retained formwork”.

Новим нестандартний підхід застосовано при комплексному вирішенні проблем екології і утилізації промислово-побутових відходів на базі технології «ресайклінгу» у виробництві будівельних матеріалів авторами Петром Купрієнко, Маріам Гургенідзе (КНУБА), Світланою Лаповською, Наталією Купрієнко, Григорієм Шецкіним (НДІ будівельних матеріалів і виробів, Київ).

Збагачення корисних копалин високоградієнтними кріомагнітними сепараторами, як однієї з найбільш ефективних технологій опікувався директор ООО ПроИнфо (Тернопіль) Андрій Дмитренко.

Завідувач кафедри прикладної гідроаеромеханіки та мехатроніки Олександр Луговський зі співробітниками Іриною Берник та Ігорем Гришко (НТУУ КПІ імені І.Сікорського) показали свої досягнення в ультразвуковій кавітаційній технології та обладнанні для знезараження стічних вод. А Oleksandr Kravchuk (KNUCA, Kyiv) доповів про "Functioning of filter structures in changing velocity conditions over time".

Питанням механізації робіт присвячено низку робіт фахівців КНУБА − Дмитра і Євгена Міщуків «Дослідження динаміки гідромеханчного мехатронного приводу», «Руйнування гірських порід із використанням електрогідравлічного ефекту», Євгена Горбатюка і Володимира Волянюка «Стохастичні математичні моделі рельєфу морського дна», Анатолія Фоміна, Олександра Костенюка, Олександра Тетерятника «Розподілення енергетичної дії на робоче середовище при його розробці», «Формування оптимального рівня енергії інженерних комплексів з розробки робочих середовищ», Леоніда Пелевіна «Зниження енергоємності землерийних машин з гідравлічним приводом при розробці підводних ґрунтів».

Результати наукової роботи продемонстрували студенти й магістранти кафедри будівельних машин КНУБА: Яна Луценко «Розробка механізованого функціонального модуля для зведення вертикальних монолітних залізобетонних конструкцій», Денис Розвадовський «Принципи створення віброкотків із високими показниками якості ущільнення з урахуванням напружено-деформованого стану ущільнювального середовища», Антон Шабалов «Зниження енергоємності розробки міцних робочих середовищ», Влад Клічес «Ефективні конструкції робочих органів для розробки міцних матеріалів», Володимир Стецюк «Універсальне устаткування для розробки міцних матеріалів».

Традиційно приймають участь в наших форумах спеціалісти з екологічних питань в галузі будівництва − Едуард Малкін, Наталія Журавська, які на цей раз представили роботи «Ефективне використання геотермальної енергії для систем теплопостачання житлових та промислових будівель» та «Ecological scientific aspects of technogenic safety with nonchemical water treatment for a technical water-supply». Олексій Дворко і Андрій Бондар (КНУБА) розказали про принципи і методи функціонально-планувальних рішень простих нерегульованих перетинів на вулично-дорожній мережі міста (на прикладі Києва) та про транспортно-пересадочний вузол як елемент планувальної структури міста.

З красномовними ідеями виступили архітектори Bachynska Liudmyla і Bachynska Olha, які натхненно і переконливо розповіли про відмінність в соціально-економічних умовах і політичному устрої в державі впливають на напрями формування архітектурно-градобудівельного об'єкту: "The development of the architectural object under the influence of social history" та "Historical Kiev and its temples is the religious centre of the surrounding areas".

Частину робіт, опублікованих у міжнародних журналах напередодні, було допущено до конкурсу на кращу публікацію за тематикою конференції. Були й такі, що з різних причин не вписалися в регламент конференції, але все ж зараховані в якості апробованих досліджень і, зважаючи на підтверджений науковий рівень матеріалу, рекомендовані до опублікування в наступних випусках журналу «Підводні технології. Промислова та цивільна інженерія». Насамперед, це: Svyatoslav Gomon, Andriy Pavluk (National University of Water Management and Environmental Engineering, Rivne) "Study on working peculiarities of glue laminated beams under conditions of slanting bending", Валерій Гавриленко, Олександр Галкін (Національний транспортний університет) та Анатолій Обшта, Богдан Шувар (Національний університет «Львівська політехніка») "Декомпозиція операторних рівнянь на основі агрегаційно-



**Рис.8**. Учасники та переможці конкурсів
**Fig. 8**. Participants and winners of competitions

ітеративного підходу"; Olga Petrunya (KNUCA) "Methods of taking into account of traditions are at forming of the system of technical service in Ukraine"; спільна робота Євгеній Горбатенко, Віталій Хомицький, Лідія Терещенко (Інститут гідромеханіки НАН України) «Експериментальне дослідження підводного хвилелома активної дії» та ін.

Отже, авторам, що безпосередньо приймали участь у роботі форуму, вручені **Сертифікати**, які засвідчують персональну участь у III міжнародній науково-практичній конференції *Underwater Technologies 2017* (Рис.8).

Переможцям конкурсів, проведених серед учасників конференції, вручені відповідні **Дипломи** (Рис.9). Так, кращою була *Презентація* директора Міжгалузевого науково-технічного колективного підприємства «Лана» (Київ) к.т.н. Миколи Гарницького, який продемонстрував низку власних винаходів і діючих зразків альтернативних джерел енергії. За одностайним рішенням комісії кращим *Проектом* визнано розробку акустичного каналу відеозв'язку для підводних автономних апаратів типу AUV (Autonomous Underwater Vehicles), представлену президентом компанії BaltRobotics Sp.z.o.o. (Limited liability company, Poland) Sergii Kornieiev. В конкурсі на кращу *Публікацію* перемогла робота Антона і Наталії Махінько «Особливості імовірнісного розрахунку висотних споруд при врахуванні випадковості обох складових вітрового впливу».

Згідно з рішенням конкурсної комісії за активність в роботі конференції *Underwater Technologies 2017* **Подяками** оргкомітету нагороджені:

- за *заслуги в розбудові української науки* − Президент Національної академії наук України академік Борис Патон

- за *сприяння трансферу технологій* − директор Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАНУ чл.-кор. НАНУ Олександр Трофимчук

- за *інноваційні технічні рішення* − директор МНТКП «Лана» к.т.н. Микола Гарницький, який став Лауреатом конкурсу *Underwater Technologies*

- за *трансконтинентальні наукові зв'язки* − PhD, Snr. Res. Ass. Vladislav Bogdanov (Serenidad Consulting Pty. Ltd Sidney, Australia)

- за *створення спеціальних землерийних машин* – завідувач кафедри НТУ к.т.н. проф. Володимир Мусійко

- за *екологічний захист довкілля* − завідувач кафедри ІФТУНГ д.т.н. проф. Леонід Заміховський

- за *високі наукові досягнення* − завідувач кафедри ХНУРЕ д.т.н. проф. Андрій Тевяшев

- за *кращу стендову доповідь* − керівник групи студентів д.т.н. Микола Кузьмінець

- за *підтримку творчої молоді* – проректора НУК імені адмірала Макарова д.т.н. проф. Володимир Блінцов.

Під час проведення конференції налагоджено творчі й ділові зв'язки поміж фахівцями відповідних спеціальностей, укладено




**Рис.9**. Дипломи переможців
**Fig. 9**. Diplomas of winners

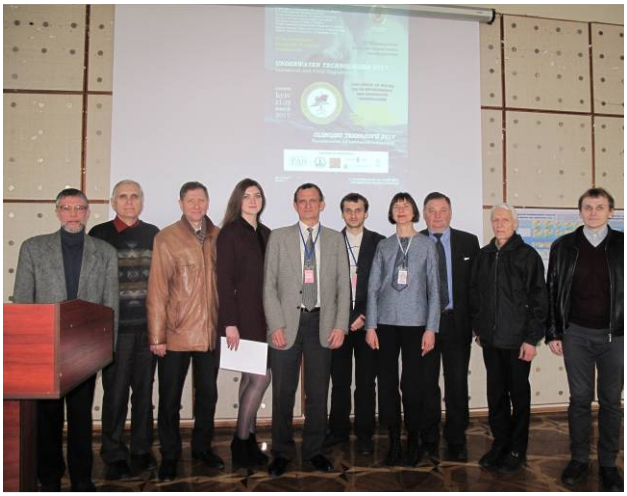




**Рис.10.** Фото на згадку
**Fig. 10**. A photo is on mention

попередні угоди про співпрацю. Узгоджені основні положення про якість та науковий рівень матеріалів, що друкуються, правила оформлення статей у фахових виданнях згідно з вимогами наукометричних баз. Досягнуто домовленості про час проведення наступного форуму і головні його засади (Рис.10).

В ході роботи розглянуто широке коло питань з різних галузей науки, зазначених тематикою конференції й однойменного наукового журналу *Підводні технології*.

Наразі він має реєстрації Мінюст України КВ № 21541-11441Р від 21.08.2015 та НБУ імені В.Вернадського; два ISSN (print 2415-8550 і online 2415-8569); входить до Переліку фахових видань України (Наказ МОНУ № 515 від 16.05.2016 р.); індексується у 8 наукометричних базах. Журнал має міжнародну редакційну раду з фахівців 14 країн світу; понад половину за обсягом статей друкуються іноземними мовами. Є власний (www.uwtech.at.ua); гіперактивний сайт; подвійне (зовнішнє й внутрішнє) рецензування; імпакт-фактор журналу перевищує 1 й знаходиться на реєстрації двох наукомеричних баз Skopus і Web of Science.

З нашим виданням асоційовано чотири Інститути НАН України, Польська академія наук, понад два десятки вищих навчальних закладів України, Німеччини, Польщі; три галузевих науково-дослідних інститути, громадські та виробничі організації, у тому числі міжнародні, на сайтах яких розміщено інформацію про журнал. За два роки від дня заснування, посилаючись на статті, опубліковані в *Підводних технологіях*, вже захищено 3 докторських і 7 кандидатських дисертації.

Отже, бажаємо усім учасникам конференції міцного здоров'я, творчої наснаги й подальших успіхів в науковій роботі та особистому житті!

## Third international scientifically-practical conference Underwater Technologies 2017

*Mykhailo Sukach*

**Summary**. It is conducted III international research and practice conference of Underwater Technologies 2017, sanctified to influence of water on an environment and different aspects of human activity. The Ukrainian and foreign specialists discussed the wide circle of the questions, related to development of theory, realization of researches, creation of new technique and equipment, practical application of modern energy keeping environmentally sound technologies. Almost ninety participants took part in a measure, including from abroad, that is marked corresponding Certificates and Gratitude's of organizational committee of conference. Laureates of competitions after three nominations − Presentation, Innovative project, Publication of − got Diplomas of winners. The best works are recommended to the publication in international scientific journals Underwater Technologies.

**Key words**: research and practice conference, submarine technologies, integration of specialists, international publications.

# Особливості імовірнісного розрахунку висотних споруд при врахуванні випадковості обох складових вітрового впливу

*Антон Махінько[1], Наталія Махінько[2]*

Національний авіаційний університет
1, просп. Космонавта Комарова, Київ, Україна, 03058
[1]pasargada@yandex.ua, orcid.org/0000-0002-9147-7087
[2]orcid.org/0000-0001-8120-6374

**Анотація.** Імовірнісний розрахунок висотних споруд залежить від наявності розрахунково-теоретичної бази, що забезпечує адекватне уявлення про взаємодію споруди із зовнішніми навантаженнями, на основі точних та доступних для інженерів обчислювальних процедур і методів розрахунку. В запропонованій статті було досліджено проблему оцінки реакцій висотних споруд на дію вітрового потоку у формі двох стаціонарних випадкових процесів та запропонована лаконічна методика сполучення цих процесів шляхом застосування фактору пориву. Відповідно до отриманих залежностей та рекомендацій, виконаний практичний розрахунок надійності висотної споруди у просторі переміщень при врахуванні випадковості обох складових вітрового впливу, на прикладі стрижня з одним ступенем вільності.

**Ключові слова**. Швидкість вітру, випадковий процес, фактор пориву, характеристична інтенсивність, частотні характеристики.



**Антон Махінько**
професор кафедри комп'ютерних технологій будівництва
д.т.н., с.н.с.



**Наталія Махінько**
доцент кафедри комп'ютерних технологій будівництва
к.т.н.

## ВСТУП

Оцінка реакцій висотних споруд при сумісній дії статичної $\tilde{U}(t)$ і пульсаційної $\tilde{u}(\tau)$ складової швидкості вітру, коли обидві розглядаються як випадкові, завжди провокує проблему співставлення двох випадкових процесів із різним масштабом часу: макрометеорологічного $t$, що вимірюється у десятках годин і добах та макрометеорологічного $\tau$, що вимірюється у секундах та хвилинах. Справа в тому, що випадкові процеси $\tilde{U}(t)$ і $\tilde{u}(\tau)$, будучи стаціонарними в межах свого масштабу часу, при алгебраїчній сумі породжують нестаціонарний процес із складною частотною структурою. Простота математичного опису цієї структури напряму впливає на процедуру опису випадкових коливань споруди, яка з точки зору інженера повинна бути аналітичною та лаконічною. Очевидно, що для цього необхідно щоб методика поєднання двох складових швидкості вітру також була простою. Типові подібні теоретичні задачі вже вирішувалися в рамках даного журналу [1].

Неможна не відмітити певну іронію даної проблематики: фактичний випадковий процес швидкості вітру на підставі спектру Ван дер Ховена [2] розкладають на два «зручні» стаціонарні процеси $\tilde{U}(t)$ і $\tilde{u}(\tau)$, а потім вирішується питання їх поєднання, тобто «зручного повернення» до первинного процесу. Одним із таких засобів, який добре зарекомендував себе у галузі динаміки висотних споруд, є фактор пориву [3 – 6]. Тому подальші міркування стосовно сполучення процесів $\tilde{U}(t)$ і $\tilde{u}(\tau)$, а також спровокованих ними реакцій $\tilde{R}(t)$ і $\tilde{r}(\tau)$, ув'язуватимемо саме із цим коефіцієнтом.

В якості вихідного положення подальших міркувань приймемо гіпотезу про те, що відмова споруди у будь-якому просторі реакцій при випадкових коливаннях, викликаними процесом $\tilde{u}(\tau)$, може відбутися лише тоді, коли середня швидкість вітру $\tilde{U}(t)$ досягає свого максимуму $\tilde{U}_{\max}$. Доцільність прийняття цієї гіпотези можна пояснити наступним чином. Стандарт процесу $\tilde{u}(\tau)$ зростає пропорційно ординаті процесу $\tilde{U}(t)$, а тому при досягненні останнім величини $\tilde{U}_{\max}$, він буде максимальним; відповідно й ризик виникнення відмови також буде максимальним. Таким чином замість випадкового процесу $\tilde{U}(t)$ можна розглядати лише його максимуми $\tilde{U}_{\max}$ на довжині реалізації рівному проектному строку експлуатації висотної споруди $T_{ef}$.

## МЕТА І МЕТОДИ

Методологія оцінки статистичних характеристик максимумів випадкових процесів налічує не одну сотню різноманітних методик, методів та пропозицій. Проте внаслідок складності математичного апарату, що застосовується й об'єму обчислювальних процедур, вони навряд чи можуть претендувати на інженерне застосування. Крім цього більшість отриманих на сьогодні результатів у статистиці екстремальних значень стосується нормальних випадкових послідовностей і процесів, а середня складова швидкості вітру має розподіл, який навіть віддалено на нагадує нормальний. У зв'язку з цим виникає потреба в наближених методах, які б поєднуючи простоту і лаконічність викладення, забезпечували достатню точність розрахунку.

За основу була взята модель [7] та вдосконалена стосовно максимумів середньої швидкості вітру та швидкісного напору.

Зміст даної моделі ґрунтується на передумові того, що будь-яку щільність розподілу випадкового процесу $\tilde{\gamma}(t)$ з нульовим середнім та одиничним стандартом можна записати як

$$f_\gamma(\gamma) = g_1(\gamma)\exp[-g_2(\gamma)], \qquad (1)$$

де $g_1$ та $g_2$ – деякі функції, що характеризують форму розподілу.

Для середньої кількості викидів за деякий детермінований рівень $\gamma$ матимемо

$$N_+(\gamma\,|\,t) = \exp\left[-g_0(\gamma,t)\right], \qquad (2)$$

$$g_0(\gamma,t) = g_2(\gamma) - \ln\left[\sqrt{2\pi}\, n_e\, \kappa(\gamma)\, t\, g_1(\gamma)\right], \qquad (3)$$

де $n_e$ – ефективна частота випадкового процесу $\tilde{\gamma}(t)$, $\kappa(\gamma)$ – функція, яка враховує можливе відхилення похідної ВП від нормального розподілу.

Підставивши (2) у (1), для інтегральної функції розподілу максимумів випадкового процесу за час $t$ матимемо наступну формульну інтерпретацію:

$$F(\gamma,t) = \exp\left\{-\exp\left[-g_0(\gamma,t)\right]\right\}. \qquad (4)$$

Дана формула асоціюється з інтегральною функцією першого екстремального розподілу Гумбеля [8] і переходить в нього у випадку лінійної залежності аргументу $\gamma$ в показнику експоненти. Припустимо далі, що при деякому значенні $\gamma \geq \gamma_0$ функція $g_0(\gamma,t)$ починає мало відрізнятися від прямої пропорційності і її можна замінити дотичною, проведеною у точці $\gamma = \gamma_0$. Очеви-

дно, що рівняння цієї дотичної матиме вигляд

$$g_{0,\ell}(\gamma,t)=\lambda_0\,(\gamma-\gamma_0)\,, \qquad (5)$$

де величини $\lambda_0$ і $\gamma_0$, по аналогії із розподілом Гумбеля, будемо називати характеристичною інтенсивністю та характеристичним максимумом ВП $\tilde{\gamma}(t)$.

Характеристичний максимум $\gamma_0$, у відповідності до робіт В.В. Болотіна [9, 10], оберемо таким чином, щоб при $\gamma=\gamma_0$, виконувалась умова $N_+(\gamma_0\,|\,t)=1$, а характеристичну інтенсивність – виходячи з геометричного змісти дотичної:

$$\begin{array}{c}\sqrt{2\pi}\cdot n_e(\gamma_0)\,\kappa(\gamma_0)\,t\times\\ \times g_1(\gamma_0)\exp[-g_2(\gamma_0)]=1\end{array}\,, \qquad (6)$$

$$\lambda_0=g'_2(\gamma_0)-\frac{g'_1(\gamma_0)}{g_1(\gamma_0)}-\kappa'\frac{(\gamma_0)}{\kappa(\gamma_0)}\,. \qquad (7)$$

Для обґрунтування запропонованого підходу розглянемо два випадки, коли ординати випадкового процесу $\tilde{\gamma}(t)$ розподіляються за нормальним законом (пульсаційна складова швидкості вітру) і законом Вейбулла (середня складова швидкості вітру). Для нормального процесу $\kappa(\forall\gamma)=1$, $g_1(\gamma)=1/\sqrt{2\pi}$, а $g_2(\gamma)=0{,}5\gamma^2$. Із виразів (6), (7) неважко відразу встановити, що $\lambda_0=\gamma_0$, а характеристичний максимум $\gamma_0$ знаходиться за формулою Райса, тобто

$$\lambda_0=\gamma_0=\sqrt{2\ln\left(n_e\,t\right)}\,. \qquad (8)$$

З іншого боку, відомо, що максимуми нормального нормованого ВП, із двічі диференційованою кореляційною функцією, слідують розподілу Гумбеля I типу із наступними параметрами масштабу $a_t$ та положення $b_t$ [11]:

$$\begin{array}{c}a_t=\sqrt{2\ln(t)}\,,\\ b_t=\sqrt{2\ln(t)}+\ln\left(n_e\right)\big/\sqrt{2\ln(t)}\,.\end{array} \qquad (9)$$

Як видно із формул (7), параметри $a_t$ та $b_t$ залежать від масштабу часу, обраного для представлення процесу. При цьому у такій мірі, що це може інколи служити джерелом непорозумінь. Дійсно, якщо змінити одиниці масштабу у (9), замінюючи $t$ на $t'=t\,\nu$, приймаючи, що $\nu$ деяка константа, то це призведе до заміни $\sqrt{2\ln(t)}$ на $\sqrt{2\ln(t)+2\ln(\nu)}$ і заміні $n_e$ на $n_e/\nu$ і кількісна оцінка параметрів $a_t$ та $b_t$ стане іншою. Проте очевидно, що яким би ні був масштаб часу, для глобального максимуму процесу $\tilde{\gamma}(t)$ існує точний граничний розподіл. Проблема полягає у тому, що помилка при використанні (7) для кінцевих інтервалів часу залежить від масштабу часу. Один логічний спосіб підрахунку часу, який часто використовується на практиці [12 − 16], полягає у вираженні його в одиницях відстані між перетинами нульового рівня або середньої довжини періоду між нулями. Нехай $\nu=n_e$ – середня кількість виходів за нульовий рівень у (стару) одиницю часу. Введемо новий масштаб часу $t'=t\,\nu$, який підраховує час в одиницях кількості виходів за нульовий рівень. Тоді $\ln[n_e\,\nu)]=\ln(1)=0$ і, відповідно, глобальний максимум процесу слідує розподілу Гумбеля I типу із співпадаючими параметрами масштабу і положення:

$$a_t=b_t=\sqrt{2\ln(\nu\,t)}\,. \qquad (10)$$

Таким чином, використання виразів (4) – (6) для нормального процесу дозволяє знаходити точне рішення задачі про розподіл глобального максимуму, хоча виводилися формули (6), (7) та (9), (10) із абсолютно різних математичних передумов.

У випадку, коли ордината випадкового процесу $\tilde{\gamma}(t)$ слідує закону Вейбулла, маємо наступну оцінку функцій $g_1$, $g_2$ та $\kappa$ в нормованій формі:

$$g_1(\gamma)=g'_2(\gamma)\,,\ g_2(\gamma)=\Gamma^{b_w}(1+\gamma\,V_W)^{b_w}\ ,$$

$$\kappa(\gamma) = 1, \qquad (11)$$

де $b_W$ та $V_W$ – параметр форми та коефіцієнт варіації розподілу Вейбулла; $\Gamma^{b_w} = \Gamma(1+b_W^{-1})^{b_w}$ – неповна гама-функція при відповідному аргументі.

Підставляючи дані вирази у (6) та (7), для характеристичної інтенсивності маємо замкнене рішення, а для характеристичного максимуму – трансцендентне рівняння, корінь якого і даватиме числову оцінку параметра $\gamma_0$:

$$\lambda_0 = \frac{1-b_W\left[1-\Gamma^{b_w}\ (1+\gamma_0 V_W)^{b_w}\right]}{1+\gamma_0 V_W} V_W, \qquad (12)$$

$$\sqrt{2\pi}\ n_e\ t\ g_1(\gamma_0)\exp[-g_2(\gamma_0)] = 1. \qquad (13)$$

З іншого боку, у фундаментальній монографії [11] показується, що незалежно від закону розподілу ординат випадкового процесу його глобальний максимум слідує розподілу Гумбеля I типу при умові, що

$$\lim_{\gamma\to\infty} \frac{f_\gamma^{'}(\gamma)\,[1-F_\gamma(\gamma)]}{[\,f_\gamma(\gamma)]^2} = -1, \qquad (14)$$

де $F_\gamma(\gamma)$ – інтегральна функція розподілу ВП $\tilde{\gamma}(t)$, яку для випадку використання закону Вейбулла можна подати у наступному загальному вигляді:

$$F_\gamma(\gamma) = 1-\exp[-g_2(\gamma)]. \qquad (15)$$

Підставивши вирази (1) та (15) у (14), враховуючи що $g_1(\gamma) = g'_2(\gamma)$, зможемо записати

$$\lim_{\gamma\to\infty}\left(\frac{g''_2(\gamma)}{g'^2_2(\gamma)} - 1\right), \qquad (16)$$

Поєднуючи вираз (14) із граничною рівністю (16), можна записати умову відповідності глобального максимуму процесу $\tilde{\gamma}(t)$ екстремальному розподілу Гумбеля I типу:

$$\lim_{\gamma\to\infty}\left[\,g''_2(\gamma)/g'^2_2(\gamma)\right] = 0. \qquad (17)$$

Приведена умова є достатньою для того, щоб функція розподілу $F_\gamma(\gamma)$ належала області тяжіння подвійного експоненціального розподілу Гумбеля. При цьому вона справедлива для будь-якого ВП, щільність та функція розподілу якого представлені у вигляді (1) та (15). Очевидно, що для ВП із розподілом Вейбулла умова (17) виконується. Дійсно, знайшовши перші дві похідні функції $g_2(\gamma)$ і підставивши отриманий результат в (17), будемо мати

$$\lim_{\gamma\to\infty}[\frac{b_W-1}{\gamma+V_W^{-1}}] = (b_W-1)\lim_{\gamma\to\infty}[\frac{1}{\gamma+V_W^{-1}}] = 0. \qquad (18)$$

Таким чином глобальний максимум випадкового процесу з розподілом ординати за законом Вейбулла слідує подвійному експоненціальному закону Гумбеля. Доречно відмітити, що подібний висновок стосовно екстремумів випадкових величин, які слідують розподілу Вейбулла, був раніше сформульований в роботі [17].

Розподіл Вейбулла, при розгляді вітрових впливів, має одну корисну властивість – випадкові процеси середньої швидкості вітру та середнього швидкісного напору мають однакові розподіли. Параметри цих розподілів пов'язані співвідношенням

$$\vartheta_\beta = \frac{\Gamma(1+\beta_w^{-1})}{\Gamma(1+\beta_u^{-1})^2} = \frac{\bar{w}}{\rho_a\,\bar{U}^2/2}, \qquad (19)$$

де $\bar{w}$ і $\bar{U}$ – математичні сподівання випадкових процесів середньої швидкості вітру $\tilde{U}(t)$ та середнього швидкісного напору $\tilde{w}(t)$.

Також важливим є питання частотної структури процесів $\tilde{U}(t)$ і $\tilde{w}(t)$, оскільки вона напряму впливає на точність оцінки їх максимумів. Як відомо, вичерпною характеристикою будь-якого процесу у частотній області є його нормована спектральна щільність $s_\gamma(n)$ або, відповідно до зворот-

ного перетворення Фур'є, нормована кореляційна функція $\rho_\gamma(\tau_0)$. Для процесу середнього швидкісного напору в роботах [14, 17] для цих функцій обґрунтовано можливість застосування виразів вигляду

$$s_w(n) = \frac{32\alpha^5}{3[\alpha^2 + (2\pi n)^2]^3},$$

$$\rho_w(\tau_0) = \exp(-\alpha\,\tau_0)\left(1 + \alpha\,\tau_0 + \frac{\alpha^2\,\tau_0^2}{3}\right), \quad (20)$$

де $\alpha$ – параметр нормованої кореляційної функції.

Ефективна частота $n_{e,w}$, частота за максимумами $n_{m,w}$ та коефіцієнт широкосмуговості $\beta_{\omega,w}$ процесу $\tilde{w}(t)$ можуть бути визначені через похідні нормованої кореляційної функції:

$$n_{e,w}^2 = -\rho_w^{"}(0) = \frac{\alpha^2}{3},$$

$$n_{m,w}^2 = \frac{\rho_w^{IV}(0)}{\rho_w^{"}(0)} = 3\alpha^2,$$

$$\beta_{\omega,w} = \frac{n_{m,w}}{n_{w,w}} = 3{,}0. \quad (21)$$

Для процесу середньої швидкості вітру $\tilde{U}(t)$, очевидно, що функції $s_U(n)$ та $\rho_U(\tau_0)$, а також їх характеристики $n_{e,U}$, $n_{m,U}$ і $\beta_{\omega,U}$, не слідуватимуть виразам (20), (21), а будуть пов'язані з ними деякими співвідношеннями.

Нормовану кореляційну функцію процесу $\tilde{U}(t)$ отримаємо відповідно до її визначення, і враховуючи, що $\tilde{U}(t)$ наближено дорівнює $\sqrt{\tilde{w}(t)}$:

$$\rho_U(\tau_0) = \mathbf{M}\,[U(t)\,U(t+\tau_0)] = \sqrt{\rho_w(\tau_0)}, \quad (22)$$

$\mathbf{M}$ – символ математичного сподівання.

Після цього отримаємо частотні характеристики $n_{e,U}$, $n_{m,U}$ і $\beta_{\omega,U}$ на базі формул (21) для середньої швидкості вітру та підставимо отримані похідні при $\tau_0 = 0$ у вирази (21):

$$n_{e,U}^2 = -\rho_U^{"}(0) = \frac{\alpha^2}{6},$$

$$n_{m,U}^2 = \frac{\rho_U^{IV}(0)}{\rho_U^{"}(0)} = \frac{5}{2}\alpha^2,$$

$$\beta_{\omega,U} = \frac{n_{m,U}}{n_{w,U}} = \sqrt{15}. \quad (23)$$

Звідси легко отримуємо зв'язок між частотними характеристиками випадкових процесів середньої швидкості вітру та середнього швидкісного напору:

$$\frac{n_{e,w}}{n_{e,U}} = \sqrt{2}, \quad \frac{n_{m,w}}{n_{m,U}} = \sqrt{\frac{6}{5}} \approx 1{,}1,$$

$$\beta_{\omega,w} / \beta_{\omega,U} = \sqrt{3/5} \approx 0{,}77. \quad (24)$$

Отже відношення частотних характеристик обох процесів (24) вітрового впливу можуть розцінюватись як частотні інваріанти.

Розгляд вітрового потоку у формі двох стаціонарних випадкових процесів робить за необхідне розглядати реакцію споруди також через синтез двох випадкових складових. У відповідність процесу середньої швидкості вітру $\tilde{U}(t)$ поставимо спровокований нею процес реакції $\tilde{R}(t)$, а пульсаціям вітру $\tilde{u}(\tau)$ – процес $\tilde{r}(\tau)$. Для сумарної реакції споруди будемо мати (Рис.1)

$$\tilde{R}_\Sigma(t,\tau) = \tilde{R}(t) + \tilde{r}(\tau) = \tilde{R}(t)[1 + \frac{\tilde{r}(\tau)}{\tilde{R}(t)}], \quad (25)$$

Візьмемо до уваги, що середня реакція опори знаходить в лінійному зв'язку із процесом аеродинамічної сили $\tilde{F}(t)$, тобто $\tilde{R}(t) = \tilde{F}(t)\eta_{r,x}$, а процес динамічної реакції має нульове середнє та стандарт, який визначається виразом:

$$\sigma_{r,x}(z) = \eta_{r,x}\,\sigma_{f,x}(z)\sqrt{1+Z_g},$$

$$\tilde{\sigma}_{f,x}(t) = 2\tilde{F}_x(t)\,I_u(z); \quad (26)$$

де $\eta_{r,x}$ – коефіцієнти впливу для відповідного простору реакції $r$; $I_u(z)$ – інтенсивність турбулентності; $Z_g$ – коефіцієнт динамічної чутливості. Тоді формулу (25) зможемо переписати у вигляді (тут і далі опущений аргумент висоти $z$):

$$\tilde{R}_\Sigma(t,\tau) = \tilde{F}(t)\ \eta_{r,x} \times \\ \times\left[1+2I_u\ \tilde{\gamma}_N(\tau)\ \sqrt{1+Z_g}\right], \qquad (27)$$

де $\tilde{\gamma}_N$ – нормальний випадковий процес з нульовим середнім і одиничним стандартом.

Випадковий процес аеродинамічної сили $\tilde{F}(t)$ можна представити як

$$\tilde{F}(t) = \tilde{w}(t)\,\Delta_F,\ \Delta_F = \phi_w\, C_D\, A, \qquad (28)$$

де $\phi_w$ – функція вертикального профілю швидкісного напору; $C_D$ – коефіцієнт лобового опору; $A$ – навітряна площа.

Підстановка (28) в (27) для сумарної реакції дозволяє записати

$$\tilde{R}_\Sigma(t,\tau) = \tilde{w}(t)\,\Delta_F\ \eta_{r,x} \times \\ \left[1+2\,I_u\,\tilde{\gamma}_N(\tau)\,\sqrt{1+Z_g}\right], \qquad (29)$$

Припустимо, що динамічна складова реакції $\tilde{r}(\tau)$ може викликати відмову лише тоді, коли середня швидкість вітру $\tilde{U}(t)$ і реакція $\tilde{R}(t)$, досягають свого глобального максимуму на інтервалі часу $T_{ef}$, де $T_{ef}$ – термін експлуатації висотної споруди (см. Рис.1).

Це допущення дозволяє замість випадкового процесу $\tilde{R}_\Sigma(t,\tau)$ розглядати лише його максимуми, приймаючи їх за випадкові величини, пов'язані частотно-часовими зв'язками із вихідними процесами:

$$\tilde{R}_{\Sigma,\max} = \tilde{w}_{\max}\ \ \Delta_F\ \ \eta_{r,x} \times \\ \times\left[1+2I_u\ \tilde{\gamma}_{N,\max}\ \sqrt{1+Z_g}\right]. \qquad (30)$$

Максимуми $\tilde{w}_{\max}$ випадкового процесу середнього швидкісного напору $\tilde{w}(t)$ та процесу $\tilde{\gamma}_N(\tau)$, мають подвійний експоненціальний розподілу Гумбеля. Тому, очевидно, що закон розподілу максимумів реакції висотної споруди визначатиметься через добуток двох однаково розподілених випадкових величин із різними статистичними характеристиками.

Для простоти позначимо

$$\tilde{X} = \tilde{w}_{\max}\ \ \Delta_F\ \ \eta_{r,x}, \\ \tilde{Y} = 1+2I_u\ \ \tilde{\gamma}_{N,\max}\ \sqrt{1+Z_g}\,. \qquad (31)$$

На основі правила знаходження щільності розподілу двох незалежних випадкових величин [26] матимемо

$$f_{\Sigma,R}(R_{\Sigma,\max}) = \int_0^\infty \frac{1}{X}\ \ f_X(X)\ \ f_Y\left(\frac{R_{\Sigma,\max}}{X}\right)dX = \\ = \int_0^\infty \left\{\begin{array}{l}\alpha_{n,X}/X\ \exp[-\alpha_{n,X}\,(X-u_{n,X})]\times \\ \times\exp\{-\exp[-\alpha_{n,X}\,(X-u_{n,X})]\}\times \\ \times\alpha_{n,Y}\exp[-\alpha_{n,Y}\,(R_{\Sigma,\max}/X-u_{n,Y})]\times \\ \times\exp\{-\exp[-\alpha_{n,Y}\,(R_{\Sigma,\max}/X-u_{n,Y})]\}\end{array}\right\}dX.$$

Використаємо класичну для подвійного експоненціального розподілу підстановку Барричеллі [8]:

$$Z = \exp\left\{-\exp\left[-\alpha_{n,Y}\left(\frac{R_{\Sigma,\max}}{X}-u_{n,Y}\right)\right]\right\}. \qquad (32)$$

Після ряду алгебраїчних перетворень для щільності $f_{\Sigma,R}$ запишемо

$$f_{\Sigma,R}(R_{\Sigma,\max}) = \int_{Z_0}^1 \left[\begin{array}{l}\dfrac{\alpha_{n,X}\ \exp[-Q(Z)]}{u_{n,Y}-\ln[-\ln(Z)]/\alpha_{n,Y}}\times \\ \times\exp\{-\exp[-Q(Z)]\}\end{array}\right]dZ,$$

$$Q(Z) = \alpha_{n,X}\left(\frac{R_{\Sigma,\max}}{u_{n,Y}-\ln[-\ln(Z)]/\alpha_{n,Y}}-u_{n,X}\right), \qquad (33)$$

$$Z_0 = \exp[-\exp(\alpha_{n,Y}\,u_{n,Y})].$$

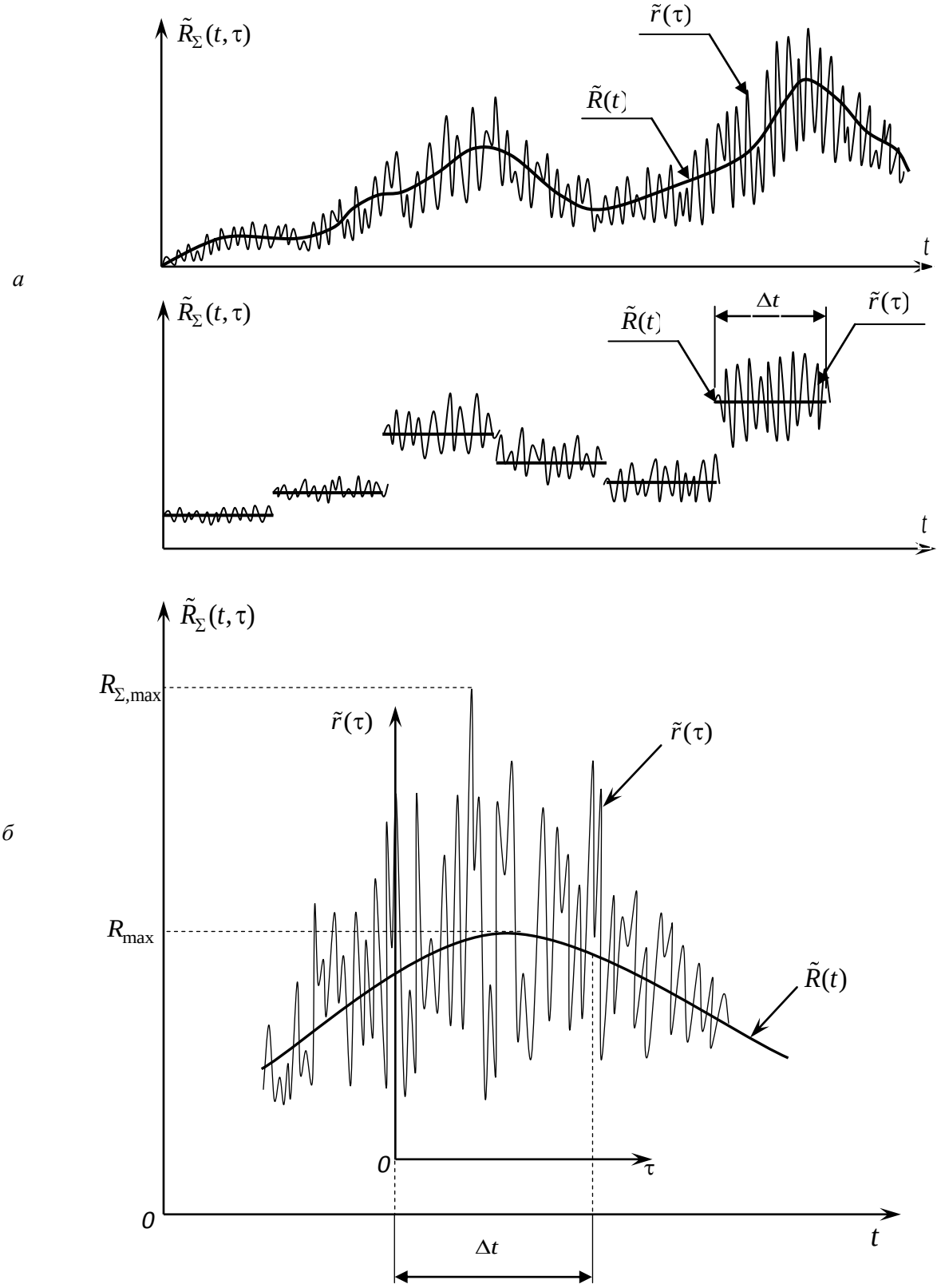



**Рис.1.** Розрахункова модель для максимумів процесів реакцій консолі:
*а* − схематизація випадкового процесу реакції; *б* − схематизація розподілу максимумів

**Fig.1.** The estimated model for maxima of the process reactions in the console:
*б* − schematization of a random process reaction; *б* − schematization of the distribution of maxima

Слід відмітити, що в строгій математичній постановці коефіцієнт динамічної чутливості $Z_g$ у виразі (30) повинен також розглядатися як випадкова величина. Це обумовлюється його нелінійним зв'язком із середньою швидкістю вітру.

Проте проведені нами статистичні випробування виявили досить несуттєву мінливість виразу $\sqrt{1+Z_g}$.

Це в кінцевому рахунку дозволило рекомендувати визначати $Z_g$ при значенні середньої швидкості вітру:

$$U_0 = \bar{U}\,(1+\gamma_{0,U}\,V_U), \qquad (34)$$

де $\gamma_{0,U}$ – характеристичний максимум випадкового процесу середньої швидкості вітру [19]; $\bar{U}$ та $V_U$ – стандарт та коефіцієнт варіації випадкового процесу $\tilde{U}(t)$.

Запишемо формулу (30) у більш зручній формі. Для цього дамо формульне визначення величинам $\alpha_{n,X}$, $u_{n,X}$ та $\alpha_{n,Y}$, $u_{n,Y}$:

$$\alpha_{n,X} = \frac{\lambda_{0,w}}{\hat{w}\;\Delta_F\;\eta_{r,x}},$$

$$u_{n,X} = \bar{w}\;\Delta_F\;\eta_{r,x}\;(1+\gamma_{0,w}\;V_w), \qquad (35)$$

$$\alpha_{n,Y} = \frac{\gamma_{0,u}}{\zeta_g},$$

$$u_{n,Y} = 1+\zeta_g\;\gamma_{0,u},$$

$$\zeta_g = 2I_u\;\sqrt{1+Z_g}\quad, \qquad (36)$$

де $\gamma_{0,w}$ та $\lambda_{0,w}$ – характеристичний максимум та характеристична інтенсивність випадкового процесу середнього швидкісного напору $\tilde{w}(t)$, які визначаються за формулами (12) та (13) при $n_e = n_{e,w}$; $\gamma_{0,u}$ – характеристичний максимум випадкових процесів реакцій споруди:

$$\gamma_{0,u} = \sqrt{2\ln\left[n_{x,1}\;\Delta t\;Z_g/(1+Z_g)\right]}. \qquad (37)$$

Підставляючи (35) і (36) у вираз (33), остаточно матимемо (формула 38):

$$f_{\Sigma,R}(R_{\Sigma,\max}) = \int_0^1 \frac{\alpha_{n,X}\;\exp[-Q(Z)]}{1+\zeta_g\;\left(\gamma_{0,u}-\dfrac{\ln[-\ln(Z)]}{\gamma_{0,u}}\right)}\times$$

$$\times\exp\{-\exp[-Q(Z)]\}dZ,$$

$$Q(Z) = \alpha_{n,X}\;\left(\frac{\alpha_{n,X}\;R_{\Sigma,\max}}{1+\zeta_g\;\left(\gamma_{0,u}-\ln[-\ln(Z)]/\gamma_{0,u}\right)}-\right.$$

$$\left.-\lambda_{0,w}\;\left(\gamma_{0,w}+V_w^{-1}\right)\right).$$

Нижню межу інтегрування прийнято рівною нулю за рахунок того, що добуток $\alpha_{n,Y}\;u_{n,Y}$, або, що таке саме, $\gamma_{0,u}\;(\gamma_{0,u}+\dfrac{1}{\zeta_g})$ при будь-яких вихідних даних не набуває значень менших дев'яти; звідси слідує наближення $Z_0 \approx 0$.

Для знаходження інтегральної функції розподілу максимумів випадкової величини $\tilde{R}_{\Sigma,\max}$ залучимо метод умовних ймовірностей [18], згідно якого

$$F_{\Sigma,R}(R_{\Sigma,\max}) = \int_0^\infty F_X\left(\frac{R_{\Sigma,\max}}{Y}\right)\;f_Y(Y)dY, \qquad (38)$$

де $F_X$ – інтегральна функція розподілу випадкової величини $\tilde{X}$.

Підставивши формульне визначення функцій $F_X$, $f_Y$ і скориставшись підстановкою Барричеллі, отримаємо

$$F_{\Sigma,R}(R_{\Sigma,\max}) = \int_0^1 \exp\{-\exp[-Q(Z)]\}dZ. \qquad (39)$$

Формули (38), (39) однозначно вирішують задачу стосовно розподілу максимумів випадкового процесу $\tilde{R}_\Sigma(t,\tau)$ реакції споруди, викликаною дією обох складових вітрового потоку. Проте, не зважаючи на лаконічну форму записів цих формул, безпосереднє застосування їх на практиці вимагає

залучення процедури чисельного інтегрування, що з точки зору інженерного підходу є незручним. У зв'язку з цим були виконані пошуки аналітичної альтернативи для функцій $f_{\Sigma,R}$ і $F_{\Sigma,R}$. Дивлячись на структуру виразу (39), логічно припустити, що подвійний експоненціальний розподіл повинен достатньо точно відповідати вихідній функції. Для перевірки цього знайдемо статистичні характеристики максимумів реакції $\tilde{R}_{\Sigma,\max}$, вираженої добутком двох випадкових величин $\tilde{X}\,\tilde{Y}$ [20]:

$$\bar{R}_{\Sigma,\max} = \bar{X}\ \ \bar{Y} = \bar{R}\ \ \Phi_1\ \ \Phi_2, \qquad (40)$$

$$\hat{R}_{\Sigma,\max} = \sqrt{\hat{X}^2\ \ \hat{Y}^2 + \bar{X}^2\ \ \hat{Y}^2 + \bar{Y}^2\ \ \hat{X}^2} = \\ = \frac{\hat{R}\,\pi}{\lambda_{0,w}\ \ \sqrt{6}}\ \sqrt{\frac{\zeta_g^2}{\gamma_{0,u}^2\ \ V_w^2}} \times \\ \times \sqrt{\left(\frac{\pi^2}{6V_w^2} + \Phi_1^2\ \ \lambda_{0,w}^2\right) + \Phi_2^2}, \qquad (41)$$

де $\bar{R}$ та $\hat{R}$ – математичне очікування і стандарт статичної реакції споруди; $\Phi_1$ та $\Phi_2$ – безрозмірні коефіцієнти, які враховують частотну часову структуру обох складових вітрового потоку та динамічні властивості споруди:

$$\Phi_1 = 1 + V_W\ (\gamma_{0,w} + C_{Ei}/\lambda_{0,w}), \qquad (42)$$

$$\Phi_2 = 1 + \zeta_g\ (\gamma_{0,u} + C_{Ei}/\gamma_{0,u}). \qquad (43)$$

Для інтегральної функції розподілу максимумів реакції споруди матимемо загальний вираз подвійного експоненціального закону

$$F_{\Sigma,R}(R_{\Sigma,\max}) = \exp\{-\exp[-\alpha_{n,R} \times \\ \times (R_{\Sigma,\max} - u_{n,R})]\}, \qquad (44)$$

де параметри розподілу

$$\alpha_{n,R} = \pi/(\sqrt{6}\hat{R}_{\Sigma,\max}),$$
$$u_{n,R} = \bar{R}_{\Sigma,\max} - 0,45\hat{R}_{\Sigma,\max}.$$

Обчислення функцій $F_{\Sigma,R}$ за формулами (39) та (43) при варіюванні геометричних параметрів споруди та вітрового режиму місцевості показали, що відмінність в результатах не перевищує 1,5%. З огляду на це, можна з повною впевненістю рекомендувати формулу (43), у поєднанні із (40) і (41), для безпосереднього практичного застосування.

## РЕЗУЛЬТАТИ

Для конкретизації отриманих залежностей розглянемо практичний розрахунок показників надійності висотної споруди у просторі переміщень. Для полегшення розрахункову схему представимо системою з одним ступенем вільності у вигляді стрижня висотою $H = 50$ м, поперечний переріз якого виконаний трубчастим, зовнішнім діаметром $D_b = 80$ см та товщиною стінки $t_b = 16$ мм. На верхівці стрижня розташована зосереджена маса $m = 500$ кг, навітряною площею $A_m = 10$ м$^2$ із коефіцієнтом лобового опору $C_D = 2,0$ Місце розташування – м. Полтава ($V_w = 1,6$, $\bar{w} = 12$ Па) у відкритій місцевості. Термін експлуатації прийнято $T_{ef} = 20$ років.

Згинальна жорсткість консолі складає $EJ_x = 639 \cdot 10^3$ кНм$^2$, що відповідає частоті основного тону коливань:

$$n_{x,1} = (1/2\pi)\sqrt{3EI/(m\,H^3)} = \\ = (1/2\pi)\sqrt{3 \cdot 639 \cdot 10^3/(5 \cdot 50^3)} = 0,881 \text{ Гц}.$$

Характеристичний максимум та характеристична інтенсивність випадкових процесів середньої швидкості вітру та швидкісного напору визначаються за формулами (12) і (13) із використанням співвідношень (24)

$$\gamma_{0,U} = 6,797; \qquad \lambda_{0,U} = 1,533;$$
$$\gamma_{0,w} = 12,554; \qquad \lambda_{0,w} = 0,462.$$

Коефіцієнт динамічної чутливості споруди при середній швидкості вітру, що відповідає рівню $\gamma_{0,U}$, тобто, м/с:

$$\xi_u = 7,788,$$
$$S_{u,ref}(n_{x,1}, H) = 0,04 \text{ сек.},$$
$$Z_g = 1,156.$$

Характеристичний максимум динамічної реакції споруди за виразом (37)

$$\gamma_{0,u} = \sqrt{2\ln\left[\frac{0,881\cdot 600\cdot 1,156}{1+1,156}\right]} = 3,361.$$

Коефіцієнт $\zeta_g$ за формулою (36)

$$\zeta_g = 2\cdot 0,12\cdot\sqrt{1+1,156} = 0,351.$$

Математичне сподівання $\bar{R}$ і стандарт $\hat{R}$ статичної реакції споруди

$$\Delta_F = \phi_w(H)\ C_D\ A = 1,621\cdot 2,0\cdot 10 = 32,42, \text{ м}^2,$$
$$\eta_{d,x} = \frac{1}{m\,(2\pi\ n_{x,1})^2} =$$
$$= \frac{1}{5\,(2\cdot 3,14\cdot 0,881)^2} = 65,2 \text{ мм/кН}.$$
$$\bar{R} = \bar{w}\ \Delta_F\ \eta_{r,x} = 12\cdot 65,2\cdot 32,42\cdot 10^{-3} =$$
$$= 25,37 \text{ мм}.$$
$$\hat{R} = \bar{w}\ V_w\ \Delta_F\ \eta_{r,x} =$$
$$= 12\cdot 1,6\cdot 65,2\cdot 32,42\cdot 10^{-3} = 40,6 \text{ мм}.$$

Коефіцієнти сумісної дії вітрового потоку, за формулами (42) та (43):

$$\Phi_1 = 1+1,6\,(12,554+\frac{0,577}{0,462}) = 23,085,$$
$$\Phi_2 = 1+0,351\,(3,361+\frac{0,577}{3,361}) = 2,240.$$

Математичне сподівання $\bar{R}_{\Sigma,\max}$ і стандарт $\hat{R}_{\Sigma,\max}$ реакції споруди з урахуванням дії обох складових вітрового потоку:

$$\bar{R}_{\Sigma,\max} = 1311 \text{ мм},\ \hat{R}_{\Sigma,\max} = 265 \text{ мм}.$$

Параметри розподілу Гумбеля

$$\alpha_{n,R} = 4,85\cdot 10^{-3} \text{ 1/мм};$$
$$u_{n,R} = 1192 \text{ мм}.$$

За формулою (44) при $R_{\Sigma,\max} = \frac{H}{100} = 500$ мм остаточно отримаємо ймовірність неперевищення даного рівня протягом $T_{ef} = 20$ років:

$$F(T_{ef}) = F_{\Sigma,R} = \exp\{-\exp[-4.85\cdot 10^{-3}\times (500-1192)]\} = 3,75\cdot 10^{-13}.$$

Тобто стрижень із даним поперечним перерізом можна вважати абсолютно ненадійним. Збільшивши поперечний переріз до $D_b = 100$ см, матимемо ймовірність безвідмовної роботи $F(T_{ef}) = 0,087$, а при $D_b = 120$ см – $F(T_{ef}) = 0,946$.

Якщо запроектувати суцільностінчастий стрижень без урахування стохастичної мінливості середнього вітру на розрахункове значення $\gamma_{0,U}\ \hat{U}+\bar{U} = 21,74$ м/с (саме із таких міркувань виконано нормування середнього швидкісного напору у ДБН [21]), то імовірність безвідмовної роботи стрижня для $D_b = 120$ см складатиме при індексі безпеки $\beta_{d,x} = 5,524$ – $F(T_{ef}) = 0,99989$, а якщо запроектувати без урахування пульсацій швидкісного напору – $F(T_{ef}) = 0,999991$, тобто показники надійності будуть занадто переоцінені.

## ВИСНОВКИ

1. Методологія оцінки статистичних характеристик максимумів випадкових процесів має багато пропозицій, проте їх застосування ускладнюється внаслідок складності математичного апарату і об'єму обчислювальних процедур. Інноваційний підхід у визначенні показників надійності висотних споруд будь-якого типу [22] полягає у застосуванні наближеного методу, модель

якого стосовно максимумів середньої швидкості вітру та швидкісного напору задекларована в даній статті. Її застосування дозволяє значно спростити обчислювальний процес із забезпеченням достатньої точності розрахунку.

2. Розгляд вітрового потоку у формі двох стаціонарних випадкових процесів робить за необхідне розглядати реакцію споруд також через синтез двох випадкових складових. Запропонована методика сполучення двох складових вітрового впливу з отриманням простих виразів для знаходження статистичних характеристик максимумів реакції.

3. Чисельні розрахунки показали доцільність використання отриманих аналітичних виразів для інтегральної функції розподілу максимумів реакції споруди та можливість їх безпосереднього практичного застосування при встановлені показників надійності висотних споруд.

ЛІТЕРАТУРА


1. **Bilyk S., 2016.** Determination of critical load of elastic steel column based on experimental data. Underwater technologies. Industrial and civil engineering, Vol.04, 89-96.
2. **Van der Hoven, 1956.** Power Spectrum of Horizontal Wind Speed in the Frequency Range From 0.0007 to 900 Cycles per Hour. Journal of Meteorology, Nr.14, 160-164.
3. **Liepmann H.W., 1952.** On the Application of Statistical Concepts to the Buffeting Problem. Aerodynamics Science, Nr.19, 793-822.
4. **Solari G., 1986**. 3-D Response of Buildings to Wind Action. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Nr.23, 379-393.
5. **Kasperski M., Niemann H., 1992.** The L.R.C. (Load Response-Correlation) Method a General Method for Estimating Unfavorable Wind Load Distributions for Linear and Non-linear structural behavior. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Nr.41-44, 1753-1763.
6. **Holmes J.D., 1994.** Along-Wind Response of Lattice Towers: Part I – Derivation of Expressions for Gust Response Factors. Engineering Structures, Vol.16, 287-292.
7. **Махінько А.В., 2006.** Надійність елементів металоконструкцій під дією випадкових змінних навантажень. Розширений автореферат канд. дисертації. Полтава, ПолтНТУ, 24.
8. **Гумбель Э., 1965**. Статистика экстремальных значений. Москва, Мир, 450.
9. **Болотин В.В., 1971.** Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. Москва, Стройиздат, 255.
10. **Болотин В.В., 1965.** Статистические методы в строительной механике Москва, Стройиздат, 279.
11. **Лидбеттер М., Линдгрен Г., Росен Х., 1989**. Экстремумы случайных последовательностей и процессов. Москва, Мир, 392.
12. **Аугусти Г., Баратта А., Кашиати Ф., 1988**. Вероятностные методы в строительном проектировании. Москва, 584.
13. **Пашинський В.А., 1999.** Методологія нормування навантажень на будівельні конструкції. Розширений автореферат докторської дисертації. Полтава, ПДТУ, 33.
14. **Пичугин С.Ф., 2009.** Надёжность стальных конструкций производственных зданий. Полтава, АСМИ, 459.
15. **Райзер В.Д., 1998.** Теория надежности в строительном проектировании. Москва, Россия, Ассоциация строит. вузов, 304.
16. **Cornell C.A., 2001.** A First-Order Reliability Theory for Structural Design. Solid Mechanics Division. Ontario, Canada, University of Waterloo, 56-64.
17. **Пичугин С.Ф., 1994.** Надежность стальных конструкций производственных зданий. Дисс… д.т.н., Киев, 489.
18. **Вентцель Е.С., 2001.** Теория вероятностей. Москва, Россия, Высш. школа, 575.
19. **Махінько А.В., 2012.** Імовірнісний розрахунок баштових опор зв'язку. Полтава, Україна, Норд Комп'ютер, 409.
20. **Жлуктенко В.І., 2000.** Теорія ймовірностей і математична статистика. Київ, Україна, КНЕУ, 304.
21. **Система** забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування, **2006**. ДБН В.1.2-2:2006 від 1 січня 2007. Київ, Сталь, 120.
22. **Сукач М., 2016.** Друга міжнародна науково-практична конференція Підводні технології. Підводні технології, Вип.04, 4-15.


REFERENCES


1. **Bilyk S., 2016.** Determination of critical load of elastic steel column based on experimental data.

Underwater technologies. Industrial and civil engineering, Vol.04, 89-96.
2. **Van der Hoven, 1956.** Power Spectrum of Horizontal Wind Speed in the Frequency Range From 0.0007 to 900 Cycles per Hour. Journal of Meteorology, Nr.14, 160-164.
3. **Liepmann H.W., 1952.** On the Application of Statistical Concepts to the Buffeting Problem. Aerodynamics Science, Nr.19, 793-822.
4. **Solari G., 1986.** 3-D Response of Buildings to Wind Action. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Nr.23, 379-393.
5. **Kasperski M., Niemann H., 1992.** The L.R.C. (Load Response-Correlation) Method a General Method for Estimating Unfavorable Wind Load Distributions for Linear and Non-linear structural behavior. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Nr.41-44, 1753-1763.
6. **Holmes J.D., 1994.** Along-Wind Response of Lattice Towers: Part I – Derivation of Expressions for Gust Response Factors. Engineering Structures, Vol.16, 287-292.
7. **Makhinko A.V., 2006.** Nadijnist' elementiv metalokonstrukcij pid dieju vipadkovih zminnih navantazhen' Rozshirenij avtoreferat kandidats'koï disertaciï. Poltava, PoltNTU, 24 (in Ukrainian).
8. **Gumbel Je, 1965.** Statistika jekstremal'nyh znachenij. Moskva, Mir, 450 (in Russian).
9. **Bolotin V.V., 1971.** Primenenie metodov teorii verojatnostej i teorii nadezhnosti v raschetah sooruzhenij. Moskva, Strojizdat, 255 (in Russian).
10. **Bolotin V.V., 1965.** Statisticheskie metody v stroitel'noj mehanike Moskva, Strojizdat, 279 (in Russian).
11. **Lidbetter M., Lindgren G., Rosen, H., 1989.** Jekstremumy sluchajnyh posledovatel'nostej i processov. Moskva, Mir, 392 (in Russian).
12. **Augusti G., Baratta A., Kashiati F., 1988.** Verojatnostnye metody v stroitel'nom proektirovanii. Moskva, 584 (in Russian).
13. **Pashinskij V.A., 1999.** Metodologija normuvannja navantazhen' na budivelni konstrukciï. Rozshirenij avtoreferat doktorskoj disertacij, Poltava, PDTU, 33 (in Russian).
14. **Pichugin S.F., 2009.** Nadjozhnost stalnyh konstrukcij proizvodstvennyh zdanij. Poltava, ASMI, 459 (in Russian).
15. **Rajzer V.D., 1998.** Teorija nadezhnosti v stroitel'nom proektirovanii. Moskva, Associacija stroitelnyh vuzov, 304 (in Russian).
16. **Cornell C.A., 2001.** A First-Order Reliability Theory for Structural Design. Solid Mechanics Division. Ontario, Canada, University of Waterloo, 56-64.
17. **Pichugin S.F., 1994.** Nadezhnost stalnyh konstrukcij proizvodstvennyh zdanij. Diss… d.t.n. Kiev, KGTUSA, 489 (in Russian).
18. **Ventcel E.S., 2001.** Teorija verojatnostej. Moskva, Rossija, Vysshaja shkola, 575 (in Russian).
19. **Makhinko A.V., 2012.** Imovirnisnij rozrahunok bashtovih opor zv'jazku. Poltava, Ukraina, Nord Kompjuter, 409 (in Russian).
20. **Zhluktenko V.I., 2000.** Teorija jmovirnostej i matematichna statistika. Kyiv, Ukraina, KNEU, 304 (in Russian).
21. **Sistema** zabezpechennja nadijnosti ta bezpeki budivel'nih ob'єktiv. Navantazhennja i vplivi. Normi proektuvannja, **2006**. DBN V.1.2-2:2006 vid 1 sichnja 2007. Kyiv, Stal', 120 (in Russian).
22. **Sukach M., 2016.** Druga mizhnarodna naukovo-praktichna konferencija Pidvodni tehnologii. Pidvodni tehnologii, Vyp.04, 4-15 (in Russian).

## Probabilistic design of high-rise buildings with two stochastic components of wind velocity

*Anton Makhinko, Nataliya Makhinko*

**Summary.** This paper proposes a consistent method for the stochastic analysis of high-rise building under along-wind aerodynamic actions. Stochastic actions are related to spatial-temporal changeability of wind velocity and spatial dependence of aerodynamic coefficient. Instantaneous stochastic wind velocity is given by the sum of a macro-meteorological component, defined as the stochastic mean wind velocity on average time interval, and a micro-meteorological component, defined as the stochastic atmospheric longitudinal turbulence. The probabilistic design of high-rise buildings is carried out with the account of stochastic properties of structure material. Consecutive statement illustrates the simplicity and precision of this method. Because of this simplicity and precision, the method is suitable for use in design offices as a means of providing rapid estimates of the stochastic dynamic response and reliability estimation of the high-rise buildings.

**Key words.** The wind velocity stochastic process, gust factor, characteristic intensity, frequency characteristics.

# Достижения и перспективы разработки механизированного и автоматического оборудования для дуговой подводной сварки мокрым способом

*Борис Патон, Владимир Лебедев[1], Геннадий Жук[2]*

Институт электросварки имени Е.О.Патона НАН Украины
11, ул. Боженко, Київ-150, Україна, 03680
[1]valpaton@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0391-6113
[2]oktbpaton@gmail.com, orcid.org/0000-0001-6615-8239

**Аннотация.** Рассмотрен современный уровень основных направлений разработок механизированного и автоматического оборудования для дуговой подводной сварки и резки мокрым способом. Приведены примеры реальных разработок, апробированных и работающих в производственных условиях полуавтоматов и автоматов.

Подчеркнуто, что наиболее эффективные разработки автоматов и полуавтоматов базируются на основе компьютеризованных электроприводов с шаговыми и вентильными электродвигателями. Основные направления перспективных разработок механизированного и автоматизированного оборудования связаны с внедрением управляемых импульсных алгоритмов управления в его системах, а также применением новых конструкционных материалов.

**Ключевые слова:** подводная сварка, резка, мокрый способ, оборудование, полуавтомат, автомат, системы управления, модуляция, колебания.



**Борис Патон**
директор, президент Национальной академии наук Украины
академик



**Владимир Лебедев**
главный конструктор ГП ОКТБ
д.т.н., проф.



**Геннадий Жук**
директор ГП ОКТБ

ОКТБ Института электросварки им. Е.О.Патона Национальной академии наук Украины, являясь одним из самых больших мировых центров в области сварки, смежных технологий, электрометаллургии и др. имеет очень большой опыт исследования, создания и успешного внедрения технологий сварки и сварочного оборудования различного назначения во всех областях хозяйственной деятельности. Накоплен громадный объём научных и конструкторско-технологических разработок с потенциалом решения любой проблемы и задачи в области сварочного производства, восстановления и упрочнения рабочих органов машин и механизмов.

Одним из направлений разработок является создание комплексного научно-технического продукта − способа механизированной (полуавтоматической) и автоматической дуговой сварки мокрым способом. Оборудование, порошковая проволока и технологии для его реализации были предложены в ИЭС имени Е.О.Патона [1] и получают в настоящее время развитие в различных сферах. Это ремонт кораблей и судов, подводных продуктопроводов, портовых подводных сооружений, строительные работы под водой и др. [2 − 5].

В последнее время в институте уделяется всё больше внимания энерго- и ресурсосберегающим технологиям сварки и наплавки, а также созданию уникального оборудования, способного осуществлять сварочный и наплавочный процессы, а также процесс резки в средах и положениях ранее недоступных сварочному оборудованию. Это в полной мере относится к оборудованию для подводной сварки мокрым способом.

Новые технико-технологические разработки направлены на совершенствование сварочного оборудования с использованием импульсных и модулированных сварочных процессов а, также возможности применения сварочного оборудования для решения сложных задач сварки в жидкой среде (под водой, в водных растворах и др.) [6 − 8]. При этом, учитывая, что большая часть разработок не имеет аналогов в мировом производстве.

Целью настоящей работы является рассмотрение в достаточно широком объёме выполненных реальных (апробированных и внедрённых) разработок оборудования для реализации механизированном и автоматическом режиме весьма экономичных в сравнение, например, со сваркой в искусственно созданной среде (камера) процесса подводной сварки и резки мокрым способом, более производительных чем ручная дуговая сварка и резка покрытыми штучными электродами, а также перспектив развития это вида оборудования как основы для более широкого его применения.

Если укрупнено рассматривать оборудование для дуговой сварки и наплавки, то можно выделить два основных его вида. Это полуавтоматы и автоматы. До недавнего времени реальных конструкций автоматов практически не создавалось.

Основные технические решения относились к полуавтоматам, основу которых составлял погружной блок с механизмом подачи электродной проволоки на основе регулируемого электропривода с коллекторными электродвигателем постоянного тока с напряжением питания 110 В. Уровень напряжения питания выбран по условиям электробезопасности и необходимости компенсации потерь в кабеле питания электродвигателя. Использовался механизм подачи с понижающим редуктором. Создано достаточно большое число таких разработок, например [9, 10], отличающихся, в основном, способами защиты механизма подачи от воды, которая может быть пресной и морской. Полуавтоматы такого типа достаточно активно использовались в различных регионах.

Основными недостатками таких конструкций следует считать малую надёжность из-за контактного коллекторного узла электродвигателя, а также ограниченные функциональные возможности этого типа оборудования и как следствие невозможность совершенствования технологий подводной сварки и резки мокрым способом. Ограничение возможностей не позволяют эффективно решать такие актуальные задачи как качественная сварка в положениях отличных от нижнего, например, сварка на вертикальной плоскости, а также расширение зоны обслуживания полуавтоматов, в том числе и глубины, на которой есть необходимость вести работы по сварке и резке [11 − 13].

В последнее время, на основе имеющегося опыта применения полуавтоматов в различных условиях, выполнен поиск новых технических решений, направленных на устранение вышеуказанных недостатков и совершенствования техники и технологии.

На основе нового поколения электродвигателей шагового типа в комплекте с компьютеризованными системами управления регулирования разработан полуавтомат для подводной сварки и резки мокрым способом с механизмом подачи без редуктора [14]. На Рис.1 показан полуавтомат нового типа “НЕПТУН”.

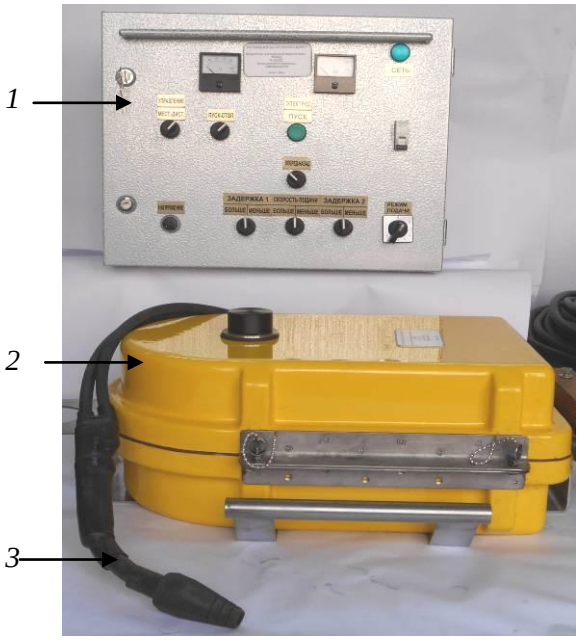



**Рис.1.** Полуавтомат для подводно сварки и резки: *1* – блок компьютеризованного управлении и регулирования; *2* − погружной блок; *3* – специализированный щланговый держатель

**Fig. 1**. Semi-automatic for underwater welding and cutting: *1* − computerized control and regulation unit; *2* − immersion unit; *3* − specialized hose holder

Основные (паспортные) данные полуавтомата приведены в Табл.1.

В модификациях полуавтомата реализованы технические возможности использования новых технологий: сварка управляемой модуляцией режимов, сварка с управляемой импульсной подачей электродной проволоки. Введение новых возможностей позволяет в значительно мере улучшить качество формирования сварного соединения на вертикальной плоскости.

Новый полуавтомат имеет малые массогабаритные характеристики – в 1,5…2 раза меньше чем у предыдущих разработок, позволяет при изменении глубины погружения (длинный кабель питания электродвигателя) компенсировать потери в кабеле питания и обеспечивает:

1) получение сварного шва хорошего качества с обеспечением заданных механических и коррозионостойких характеристик и реза достаточной для разделочного и заготовительного произвоства сталей разных типов в нижнем и других пространственных положениях;

2) облегчение для водолаза сварщика выполнения швов и реза, обеспечиваемые новыми технологиями и приёмами сварки и резки;

3) сварка и резка в водной среде различного уровня солёности;

4) возможность ведения процессов, как в аварийной ситуации, так и при создании новых конструкций;

5) ведение процесса сварки на глубинах более 100м без перестройки (переналадки) систем полуавтомата и источника сварочного тока при высокой мобильности оборудования.

**Таблица 1.** Техническая характеристика

**Table 1.** Technical description

| | |
|---|---|
| Максимальный сварочный ток при ПР = 60% и цикле 5 мин., А | 400 |
| Род сварочного тока | постоянный |
| Полярность | прямая или обратная |
| Диаметр электродной проволоки, мм | 1,6 |
| Диапазон скорости подачи электродной проволоки, м/час | 100….450 |
| Изменение скорости подачи | плавное |
| Время непрерывной работы полуавтомата от одной катушки электродной проволоки на средних режимах работы (ток сварки 250…300 А) мин. | 60…70 |
| Масса погружного блока, кг, не более | 25 |

Новые разработки полуавтоматов прошли апробацию, выпускаются мелкими партиями и эксплуатируются в различных регионах мира.

Работы по совершенствованию полуавтоматов продолжаются по нескольким направлениям, основные из которых связаны с применением новых конструкционных материалов с увеличением показателя плавучести погружного блока и введении в систему управления и регулирования новых алгоритмов функционирования, которые, в частности связаны с управляемым переносом электродного металла порошковых самозащитных проволок [15, 16]. Это определённым образом формируемая по параметрам дугового процесса дозированная подача электродной проволоки, а также применение инверторных источников сварочного тока с импульсным и синергетическим управлением.

Немаловажным является комплексное решение задачи защиты элементов конструкции оборудования от коррозии и электроэрозии.

Следует отметить, что не все источники питания дуги могут быть использованы в комплекте с полуавтоматом для подводной сварки. При значительном удалении погружного блока от источника питания неизбежны возрастающие с длиной кабеля падения напряжения в нём, что приводит к невозможности устойчивого ведения процесса. Требуется особый подход к разработке источника. Нами предложена концепция разработки источника с компенсацией потерь, а привлечённый украинский производитель освоил производство таких источников с тиристорным [17] и транзисторным инверторным вариантами. Источник с компенсацией падения напряжения целесообразно применять при удалении погружного блока на расстояние более 60 м. Конструкция такого источника представлена на Рис.2.

Следующее основное направление разработок оборудования для подводной сварки мокрым способом это автоматы, конструирование которых ранее практически не осуществлялось. Следует остановиться на двух особенностях этого направления. Это узкоспециализированные конструкции автоматов и автоматы, которые могут быть




**Рис.2**. Источник сварочного тока для работы с удалёнными объектами

**Fig. 2**. Welding current source for working with remote objects

использованы на разных объекта сварки, возможно с некоторой их модификацией.

Примером специальной уникальной разработки является комплекс оборудования для подводной сварки мокрым способом, предназначенный для приварки заглушки к внутренней поверхности труб, используемых в качестве элементов тепловых насосов. Сварка ведётся на глубинах более 200 м в среде воды с противокоррозионным составом. Выполняется работа на разных расстояниях от поверхности в водорастворимой среде угловыми круговыми швами по достаточно широкому зазору. При этом, как правило, внутренний диаметр трубы, где необходимо производить сварку не превышает 120…130 мм, что является крайне стеснёнными условиями для комплекта устройств автомата для дуговой сварки. На Рис.3 представлена схематически сварочная часть разработанного автомата. Детально конструкция автомата описана в работе [18, 19].

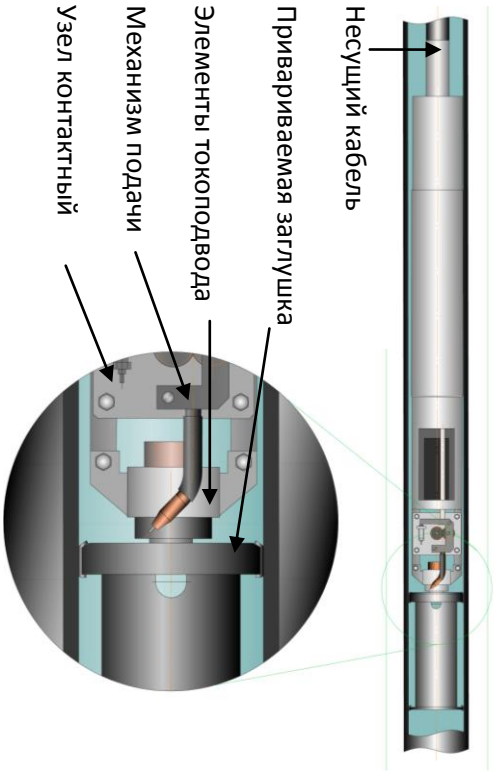



**Рис.3.** Автомат для глубоководной подводной сварки мокрым способом
**Fig. 3**. Automatic for deep-water underwater welding by wet method

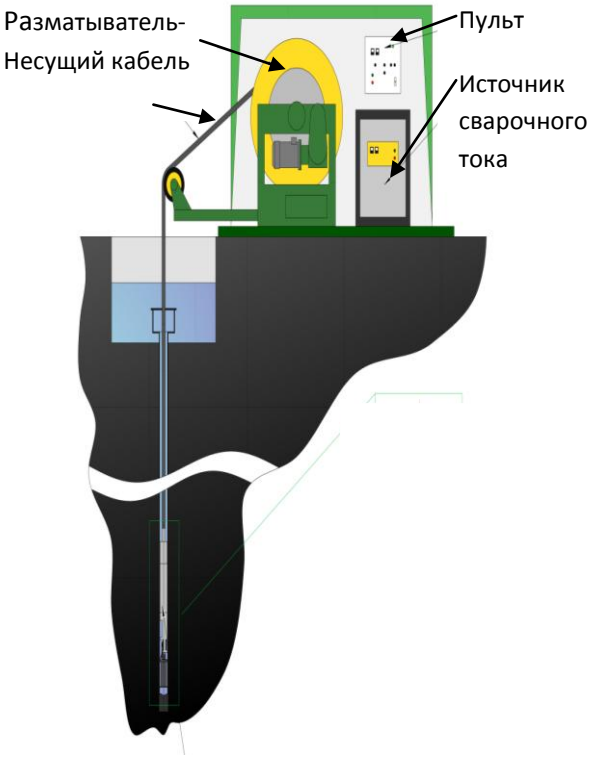



**Рис.4.** Полный комплекс автомата для глубоководной подводной сварки мокрым способом
**Fig. 4.** Full complex of submersible welder for wet welding

В состав автомата входит источник сварочного тока, рассмотренный выше, новая разработка разматывателя кабеля с локальной системой управления, кабель с рядом функций, объединённых общей оболочкой: прямой и обратный кабели, кабель управления, элементы несущие. Все эти разработки аналогов не имеют. Управление пропроцессом сварки производится компьютеризованной системой управления, задающей программу цикла сварки, работу системы подачи электродной проволоки, сварочного перемещения. Наличие негарантированного зазора между заглушкой и внутренней поверхностью трубы обусловило введение ещё одного оригинального технического решения – колебателя сварочного инструмента, обеспечивающего гарантированное перекрытие зазора при сварке с качественным формированием кольцевых швов.

На Рис.4 схематически представлен комплекс автомата для глубоководной подводной сварки в стеснённых условиях.

Автомат представляет собой трубчатую металлоконструкцию, объединяющую следующие основные узлы: модуль подачи электродной проволоки, модуль вращения сварочной головки (механизма подачи), модуль контактных узлов. Модуль подачи и модуль вращения выполнены на основе безредукторных компьютеризованных электроприводов постоянного тока в составе безколлекторных электродвигателей с передачей вращательного движения на подающий ролик.

Автомат апробирован и выполняет производственные задачи по заглушке труб энергосберегающих комплексов в Лондоне.

Рассмотренный автомат, являясь, как отмечалось выше, уникальной и специализированной категорией оборудования, с некоторой модернизацией может быть ис-

пользован и в других областях, например, для заглушки труб газовых и нефтяных скважин, выполнения сварки в аварийных ситуациях и т.п.

Другая категория разработки – автоматы широкого применения. Разработан ряд таких автоматов, основу которых составляют хорошо отработанные узлы механизмов координатного перемещения сварочного инструмента и системы подачи электродной проволоки в конструктивах, защищённых от воздействия водной среды. Эти узлы базируются на применении бесколлекторных электродвигателей с компьютеризованными системами регулируемых электроприводов. Разработка, в настоящее время проведена для ведения процесса по заданной (программируемой) траектории на горизонтальной или вертикальной плоскости. Общее управление циклом сварки, реализация программного перемещения сварочного инструмента осуществляется общей компьютеризованной системой управления.

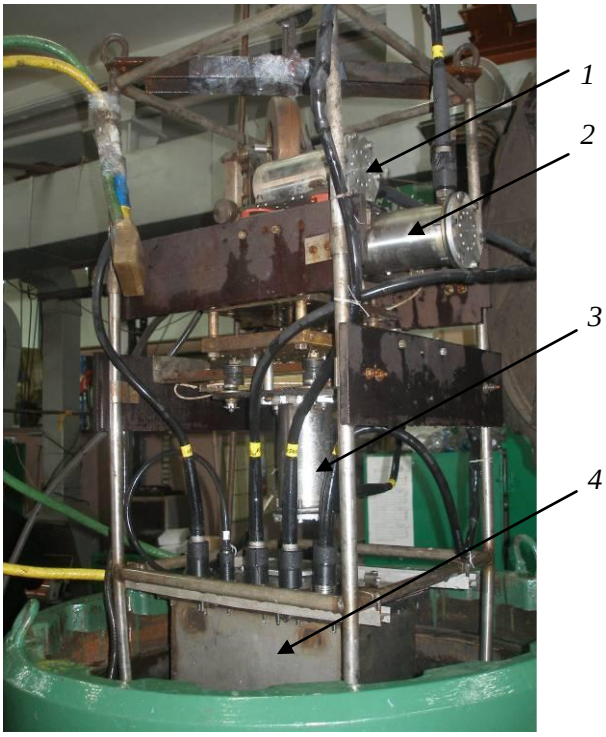



**Рис. 5.** Автомат для сварки наплавки под водой с электродвигателями механизмов: *1* – продольного перемещения; *2* − продольного перемещения; *3* − подачи; *4* – блок управления погружной

**Fig. 5**. Automatic welding machine for surfacing under water with electric motors mechanisms: *1* − longitudinal displacement; *2* − longitudinal displacement; *3* − feed; *4* − immersion control unit

На Рис.5 представлен автомат для подводной мокрой сварки с механизмами координатных перемещений и системы подачи электродной проволоки на основе компьютеризованных электроприводов с вентильными электродвигателями. Разработанный автомат имеет перестраиваемую конструктивную базу и может легко модернизирован для решения задач сварки под водой в местах и глубинах, где доступ оператора водолаза ограничен или даже невозможен. Заметим, что объём подаваемой электродной проволоки в данной конструкции может быть достаточным для работ по сварке и резке, требующих большого времени для её выполнения.

Возможность программируемого управления движениями суппортов со сварочным инструментом показана на Рис.6, где показаны результаты наплавки под водой в испытательной камере (глубина 200 м).

В настоящее время на основе имеющегося опыта конструирования автоматов для подводной сварки ведутся работы по созданию автоматом для сварки под водой в



**Рис. 6.** Дуговая наплавка автоматом под водой с программированием двухкоординатного перемещения сварочного инструмента

**Fig. 6.** Arc surfacing with automatic submersible with programming of two-coordinate movement of welding tools

трёхмерном пространстве, повышение качества сварочных процессов должно быть обеспечено новыми разработками по модуляции режимов, импульсных алгоритмов функционирования источников сварочного тока (в основном инверторного типа, управляемой импульсной подачи электродной проволоки. Полезным должно быть введение колебательных режимов работы сварочного инструмента с управляемыми параметрами, что обеспечит сварку деталей с зазорами.

Следует особо отметить, что эффективность разработок оборудования для сварки и наплавки под водой мокрым способом основывается на комплексном подходе – создание автоматов и полуавтоматов, специальных порошковых электродных проволок и технологических приёмов и методик их применения.

Подчеркнем, что наиболее эффективные разработки автоматов и полуавтоматов базируются на основе компьютеризованных электроприводов с шаговыми и вентильными электродвигателями.

Основные направления перспективных разработок механизированного и автоматизированного оборудования связаны с внедрением управляемых импульсных алгоритмов управления в его системах, а также применение новых конструкционных материалов.

То есть задачи, которые стоят перед промышленностью сегодня и будут реализовываться в обозримом будущем, например освоение полезных ископаемых Мирового океана [20], обязательно потребуют применения современного высокоэффективного оборудования для подводной механизированной и автоматической сварки и резки мокрым способом.

ЛИТЕРАТУРА


1. **Патон Б.Е., Савич И.М., 1987**. К 100-летию сварки под водой// Автомат. сварка, Вып.12, 1-2.
2. **Савич И.М.,1969**. Подводная сварка порошковой проволокой. Автомат. сварка, Вып.10, 70.
3. **Кононенко В.Я., 2011**. Подводная сварка и резка. Киев, Экототехнология, 264.
4. **Патон Б.Е., Лебедев В.А., Максимов С.Ю., Пичак В.Г., Полосков С.И., 2011.** Совершенствование оборудования для подводной механизированной и автоматизированной сварки и резки. Сварка и діагностика, Вып.5, 54-59.
5. **Лебедев В.А., Максимов С.Ю., 2015**. Механизированное оборудование нового поколения для подводной мокрой сварки и резки металлоконструкций. Монтажные и специальные работы в строительстве, Вып.10, 30-32.
6. **Гусаченко А.И., Кононенко В.Я., 1989**. Автоматическая сварка под водой низколегированных сталей порошковой проволокой. Автомат. сварка, Вып.7, 32-34.
7. **Evans N.H., 1974**. Welding in offshore constructions. Metal Construction and British J., Vol.5, 153-157.
8. **Лебедев В.А., 2015**. Перспективное оборудование для сварки, наплавки и резки в судостроении. Вопросы материаловедения, Вып.1, 278-286.
9. **Авторское** свидетельство СССР 256914 В23К 31/00, **1976**. Устройство для подводной сварки. Б.Е.Патон, В.Б.Смолярко, М.Г.Бельфор и др. Опубл. 25.06.76, БИ 23.
10. **Авторское** свидетельство СССР 382327 В23К 9/12, **1971**. Устройство для подводной сварки. Б.Е.Патон, В.Б.Смолярко, М.Г.Бельфор и др. Заявлено 22.03.1971.
11. **Gennadiy Haiko, Petro Zakharchenko, 2016**. Perspectives of tunnel passages construction under the Dnieper. Underwater Technologies, Vol.04, 72-79.
12. **Максимов С.Ю., Грецкий Ю.Я., Бут В.С., Олейник О.И., 2008**. Ремонт подводных участков магистральных трубопроводов способом мокрой дуговой сварки. Материалы отраслевого совещания Состояние и направления развития сварочного производства ОАО Газпром, п. Развилка, Московская обл., 10-12 ноября 2008 г., 76-81.
13. **Keats DJ., 2005**. Underwater Wet Welding - A Welder's Mate. Speciality Welds Ltd, 300.
14. **Лебедев В.А., 2015.** Мехатронные и другие основне электротехнических системы механизированного оборудования для подводной сварки мокрым способом. Электротехнические и компьютерные системы, Вип.17, 42-47.
15. **Лебедев В.А., Кононенко В.Я., 2015**. Мокрая сварка под водой покрытыми электро-

дами и самозащитными порошковыми проволоками. Упрочняющие технологии и покрытия, Вып.3, 24-30.
16. **Лебедев В.А., Гулый М.В., 2014**. Быстродействующий вентильный электропривод для оборудования механизированной дуговой сварки. Мехатроника. Автоматизация. Управление, Вып.6, С.47-51.
17. **Лебедев В.А., Ярос Ю.А., 2014**. Источник сварочного тока для удалённых объектов механизированной дуговой сварки. Тяжёлое машиностроение, Вып.2-3, 34-38.
18. **Максимов С.Ю., Лебедев В.А., Лендел И.В., 2015**. Герметизация труб теплообменников «мокрой» сваркой на глубине 200 м. Вопросы материаловедения, Вып.1, 199-204.
19. **Зайнулин Д.И., Лебедев В.А., Максимов С.Ю., Пичак В.Г., 2013**. Уникальный комплекс оборудования для автоматической дуговой сварки на большой глубине в максимально ограниченных условиях. Сборник тезисов стендовых докладов Международной конференции «Сварка и родственные технологии – настоящее и будущее», 25-26 ноября 2013, 70-71.
20. **Kulikov P., Sukach M., 2016**. Program of development of minerals of the World Ocean. Underwater Technologies, Vol.03, 3-10.

REFERENCES

1. **Paton B.E., Savich I.M. 1987**. K 100-letiyu svarki pod vodoj. Avtomat. Svarka, Vyp.12, 1-2 (in Russian).
2. **Savich I.M., 1969**. Podvodnaya svarka poroshkovoj provolokoj. Avtomat. Svarka, Vyp.10, 70 (in Russian).
3. **Kononenko V.YA., 2011**. Podvodnaya svarka i rezka. Kiev, Ekototexnologiya, 264 (in Russian).
4. **Paton. B.E., Lebedev V.A., Maksimov S.Yu., Pichak V.G., Poloskov S.I., 2011**. Sovershenstvovanie oborudovaniya dlya podvodnoj mexanizirovannoj i avtomatizirovannoj svarki i rezki. Svarka i diagnostika, Vyp.5, 54-59 (in Russian).
5. **Lebedev V.A., Maksimov S.Yu., 2015**. Mechanizirovannoe oborudovanie novogo pokoleniya dlya podvodnoj mokroj svarki i rezki metallokonstrukcij. Montazhnye i specialnye raboty v stroitelstve, Vyp.10, 30-32 (in Russian).
6. **Gusachenko A. I., Kononenko V. Ya., 1989**. Avtomaticheskaya svarka pod vodoj nizkolegirovannyx stalej poroshkovoj provolokoj. Avtomat. svarka, Vyp.7, 32-34 (in Russian).
7. **Evans N.H., 1974**. Welding in offshore constructions. Metal Construction and British J., Vol.5, 153-157.
8. **Lebedev V.A., 2015**. Perspektivnoe oborudovanie dlya svarki, naplavki i rezki v sudostroenii. Voprosy materialovedeniya, Vyp.1, 278-286 (in Russian).
9. **Avtorskoe** svidetelstvo SSSR 256914, **1976**. V23K 31/00. Ustrojstvo dlya podvodnoj svarki. V.E. Paton, V.B. Smolyarko, M.G. Belfor i dr. Opubl. 25.06.7, Bjul.23 (in Russian).
10. **Avtorskoe** svidetelstvo SSSR 382327 V23K 9/12, 1971. Ustrojstvo dlya podvodnoj svarki. V.E.Paton, V.B.Smolyarko, M.G.Belfor i dr., Zayavleno 22.03.1971 (in Russian).
11. **Gennadiy Haiko, Petro Zakharchenko, 2016**. Perspectives of tunnel passages construction under the Dnieper. Underwater Technologies, Vol.04, 72-79.
12. **Maksimov S.Yu., Greckij Yu.Ya., But V.S., Olejnik O.I., 2008**. Remont podvodnyx uchastkov magistralnyx truboprovodov sposobom mokroj dugovoj svarki. Materialy otraslevogo so-veshhaniya «sostoyanie i napravleniya razvitiya svarochnogo proizvodstva OAO Gazprom. p. Razvilka, Moskovskaya obl., 10-12 noyabrya, 2008 g., 76-81 (in Russian).
13. **Keats DJ., 2005**. Underwater Wet Welding - A Welder's Mate. Speciality Welds Ltd, 300.
14. **Lebedev V.A., 2015**. Mexatronnye i drugie osnovne elektrotexnicheskix sistemy mexanizirovannogo oborudovaniya dlya podvodnoj svarki mokrym sposobom. Elektrotexnicheskie i kompyuternye sistemy, Vyp.17, 42-47 (in Russian).
15. **Lebedev V.A., Kononenko V.Ya.,** 2015. Mokraya svarka pod vodoj pokrytymi elektrodami i samozashhitnymi poroshkovymi provolokami /Uprochnyayushhie texnologii i pokrytiya, Vyp.3, 24-30 (in Russian).
16. **Lebedev V.A., Gulyj M.V., 2014**. Bystrodejstvuyushhij ventilnyj elektroprivod dlya oborudovaniya mexanizirovannoj dugovoj svarki. Mexatronika. Avtomatizaciya. Upravlenie, Vyp.6, 47-51 (in Russian).
17. **Lebedev V.A., Yaros Yu.A., 2014**. Istochnik svarochnogo toka dlya udalyonnyx obektov mexanizirovannoj dugovoj svarki. Tyazhyoloe mashinostroenie, Vyp.2-3, 34-38. (in Russian).
18. **Maksimov S.Yu., Lebedev V.A., Lendel I.V., 2015**. Germetizaciya trub teploobmennikov

"mokroj" svarkoj na glubine 200 M. Voprosy materialovedeniya, Vyp.1, 199-204 (in Russian).
19. **Zajnulin D.I., Lebedev V.A., Mak-Simov S.Yu., Pichak V.G., 2013**. Unikalnyj kompleks oborudovaniya dlya avtomaticheskoj dugovoj svarki na bolshoj glubine v maksimalno ogranichennykh usloviyakh. Sbornik tezisov stendovykh dokladov mezhdunarodnoj konferencii Svarka i rodstvennye texnologii – nastoyashhee i budushhee, 25-26 noyabrya 2013, 70-71 (in Russian).
20. **Petro Kulikov, Mikhailo Sukach, 2015**. O gotovnosti Ukrainy k osvoeniyu poleznyx iskopaemyx mirovogo okeana. Underwater Technologies, Vol.02, 3-10 (in Russian).

## Achievements and prospects of development mechanized and automated equipment arc, for underwater welding in the wet way

*Boris Paton, Vladimir Lebedev, Hennadii Zhuk*

**Summary**. The article deals with the current level of the main directions of development of mechanized and automatic equipment for arc-welding and wet cutting. Examples of real developments of semi-automatic machines and automatic machines tested and operating in production conditions are given.

It is emphasized that the most effective development of automatic machines and semiautomatic devices is based on computerized electric drives with stepper and gate electric motors. The main directions of promising developments of mechanized and automated equipment are associated with the introduction of controllable impulse control algorithms in its systems, as well as the use of new structural materials.

**Key words**: underwater welding, cutting, wet method equipment, automatic, automatic, system, control, modulation, oscillation.

# E.O.Paton Electric Welding Institute activity in the field of underwater welding and cutting

*Sergey Maksimov*

E.O.Paton Electric Welding Institute of National Academy of Sciences of Ukraine
11, K.Malevich str., Kyiv, Ukraine, 03680
maksimov@paton.kiev.ua, orcid.org/0000-0002-5788-0753

**Summary**. Presents the results of E.O.Paton Electric Welding Institute developments on creating electrode materials, equipment and technology for wet underwater welding and cutting. The R&D efforts in this area include investigation of the effect of cooling rate, hydrogen saturation, hydrostatic pressure and other factors upon process of welding and quality of resulting joints, studies of weldability of steels, development of special welding consumables, methods and procedures, elaboration of the basic principles of mechanisation of the wet welding and cutting processes. The experience of wet underwater welding and cutting application is evidence of possibility to apply the methods, at least, for restoration of wharfs, platforms, pipelines, ships and other underwater constructions.

The electrodes and flux-cored wires can be used for:
- welding the mild steels and low alloyed high strength steels up to 40 mm in thickness with tensile strength of up 600 MPa at the depths down to 30 m;
- welding high-alloy corrosion-resistant steels ANSI 304L, 308L, 347 AND 321 type;
- cutting of carbon and alloyed steels and non-ferrous alloys up to 40 mm in thickness at the depths down to 60 m.

**Key words**: underwater welding and cutting, flux-cored wire, low-alloyed steel, stainless steel, mechanical properties.



**Sergey Maksimov**
Head of department of physical and mechanical researches of weldability of structural steels and cast irons
ScD eng., Snr. Res.

## INTRODUCTION

The world ocean is an inexhaustible source of mineral resources [1, 2]. Welding takes the important place in construction and repair of underwater structures. The volume of application for these purposes of wet welding, which is performed directly in water and excludes application of expensive caissons and chambers, recently has considerably extended [3, 4]. During the underwater welding the arc is burning in a gas bubble which is formed due to evaporation and decomposition of water, vapors and gases of molten metal and components of welding consumables. Water consists of 88,9% oxygen and 11,1% hydrogen. Reliable protection of molten metal, first of all from hydrogen and oxidizing effect of environment, is one of the main tasks in the development of consumables for welding steels under water. The second typical feature in underwater welding is the intensive cooling which should also be taken into account. It is possible to compensate the heat losses by optimum selection of slag-forming components. The problem of overcoming the difficulties associated with wet welding and its related applications such as the repair and maintenance of subsea structures and pipelines by arc welding, was solved by the introduction of semi-

automatic wet welding with self-shielding flux-cored wires developed at the E.O.Paton Electric Welding Institute (PWI) [5, 6].

## THE GENERAL DIRECTIONS OF THE PWI ACTIVITY

Due to the increased volume of underwater constructions in the 60's and 70's encompassing a variety of applications, a quest for an economical and quality underwater welding began. Though both dry hyperbaric and wet welding techniques were introduced, the method of wet welding was adopted in the former USSR because of its inherent versatility, manoeuvrability, and relatively low cost. Most often the techniques and technologies associated with wet welding focus on the shielded metal-arc welding (SMAW) process using in many cases a proprietary waterproof coating developed by the manufacturer.

When assessing the performance requirements of wet welding to obtain quality joints the greatest difficulties to be overcome are due to the following circumstances:

- a high rate of cooling of welding joint causes the formation of quenching structures and brittle fracture of the joints
- large amount of hydrogen and oxygen drastically reduces the toughness and ductility of the welded joints and is dissolved in the welds
- a high skill of the diver-welder is required to obtain welds of satisfactory quality.

Therefore, taking into consideration the aforementioned, the application of the SMAW process to wet welding is limited by its inability to consistently produce quality welded joints by surface standards. Nevertheless, underwater welding directly in water (so-called wet welding) becomes an important technological method due to a number of its advantages as compared with dry welding.

The general directions of the PWI activity in the field of underwater wet welding and cutting are as follows:

- R&D on wet semi-automatic arc welding with the self-shielded flux-cored wire
- R&D on wet manual arc welding
- R&D on wet semi-automatic cutting without additional supply of oxygen
- R&D on arc cutting with stick electrodes
- *Creation of the unique equipment (semi-automatic machine) for wet underwater arc welding*
- *Working out and introduction of wet arc welding and cutting technologies*

The fundamental researches of PWI in the field of wet arc underwater welding are as follows:

∗ Peculiarities of arc burning in fresh water and water of different salinity

∗ Conditions for ensuring the stable arcing under different hydrostatic pressures

∗ Composition of waste gases and their interaction with molten metal in the vapour-gas bubble atmosphere

∗ Peculiarities of transfer of the alloying elements from the electrode to the weld metal

∗ Effect of alloying upon the structure and properties of the weld metal

∗ Conditions for elimination of porosity and non-metallic inclusions in weld metal

∗ Effect of hydrostatic pressure and welding parameters upon the level of mechanical properties of welded joints

∗ Quality of the cut and economical indices of mechanized underwater arc cutting of steels and non-ferrous metals

∗ Structural steels weld ability including peculiarities of formation of the welded joint microstructure and properties, mechanism of formation and precautions for avoidance of heat-affected zone cracking

∗ Structural strength of welded joints and considerations for their fitness-in-service

∗ Technical requirements to unique equipment for wet welding and cutting including power sources and feeding devices.

## WET SEMI-AUTOMATIC UNDERWATER WELDING

The idea of developing the basic technology of wet welding using self-shielded flux-cored wire was based on the evident advantages of such an approach. The nature of the flux-cored wire is such that its chemical composition can be varied over wide ranges. This offered us a possibility of having tight and strong welds without any additional gas or flux shielding of metal. The reliable shielding

could be provided by the wire itself, i.e., by the proper selection of its chemical composition. We believed that the problem of hydrogenation of the weld metal and the heat-affected zone, as well as the consequences of this phenomenon, which were already well-known, could be solved if not completely then at least partially, through a special design of the flux-cored wire. Whereas an electrode coating is in a direct contact with water and, hence, is moistened, the core of the flux-cored wire is protected by a sheath. It is an advantage of this wire with regard to one of the sources of hydrogen saturation. Then, development of the self-shielding wire meant elimination of extra devices which made the torch heavier and the work of a welding diver more difficult and eventually greatly simplified the basic operations. Handling the above problem on the basis of using the flux-cored wire provided a combination of maneuverability and versatility of manual welding and the advantages characteristic of the semi-automatic welding. It was evident that with this method we could solve the problem of continuity of welding operations, provide a fundamental increase in the productivity of labor of a welding diver and reduce the time of a stay of a human being under the water. Additionally, it was known that the semi-automatic welding could be mastered under conventional conditions much quicker than the manual welding. This advantage must also manifest itself under the underwater welding conditions. Therefore, the above idea accounted also for human factor. This could simplify choosing and training of people for performing the underwater welding.

At the first stages of developing the semi-automatic wet flux-cored arc welding (FCAW) it was applied to structures of mild steels with yield point up to 280 MPa. Further research and development permitted the field of the method application to be widened. By now the satisfactory quality of wet welded joins is also ensured when welding the low-alloy structural steels with yield and tensile strength of up to 350 MPa and 500 MPa respectively and with the carbon equivalent value up to 0,35 [7]. The welded joint mechanical properties are presented in Table 1. Analysis of these data shows that even with slight alloying the weld metal has the sufficiently high level of strength, ductility, and Charpy toughness. The appearance of the samples after the tests is shown in the Fig.1.



*a*



*b*

**Fig.1.** The appearance of the samples after the bend (*a*) and tensile (*b*) tests of the welding joints of low alloyed steel

The use of this flux-cored wire in transition to modern low alloyed high strength steels yields unsatisfactory results. The main cause is formation of cold cracks in the heat-affected zone [8]. This problem can be solved through using electrode materials providing formation of the austenitic structure of the weld metal [9] and, therefore, decreasing the amount of hydrogen diffusing into the HAZ. For these purposes, for welding at depths of up to 30 m, electrodes and flux-cored wire were developed. It is very important that mechanical properties of the deposited metal are in good agreement with mechanical properties of the base metal (Table 2), which is required to maintain operating reliability of a welded joint. The bend angle in this case was $180^{o}$. Macrosections and appearance of the samples after the tests are shown in the Fig.2.

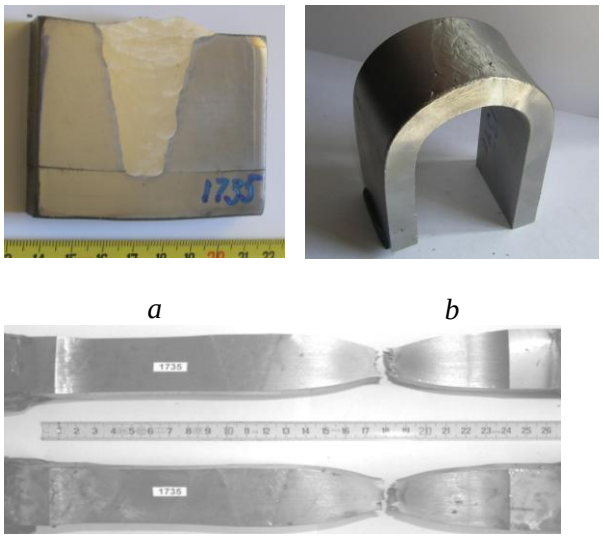
**Table 1**. Welded joint mechanical properties

| Steel | Tensile Strength, MPa | Yield Strength, MPa | Impact Energy, J (-20°C) | Bend angle, degrees |
|---|---|---|---|---|
| St3 | 420...450 | 320...340 | 35...45 | 180 |
| 09G2 | 430...460 | 330...350 | 40...50 | 180 |
| A36 (USA) | 420...460 | 320...350 | 40...50 | 180 |

Note: 1. All samples were tested according with ANSI/AWS D3.6
2. Bend angle values have been determined at root and face bend testing

**Table 2**. Mechanical properties of the weld metal (ANSI/AWS D3.6)

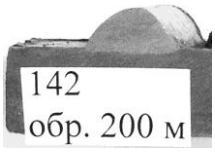
| Welding method | $\sigma_{0,2}$, MPa | $\sigma_в$, MPa | δ, % | ψ, % | $KCV_{-20°C}$, $J/sm^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| manual | ≥ 410 | ≥ 600 | ≥ 30 | ≥ 40 | ≥ 110 |
| semi-automatic | ≥ 350 | ≥ 550 | ≥ 30 | ≥ 64 | – |
| API 5L X60 | ≥ 415 | ≥ 520 | ≥ 19 | – | – |



*a* *b*

*c*

**Fig.2.** Macrosections (*a*) and appearance of the samples after the bend (*b*) and tensile (*c*) tests of the 40 mm thick welding joints of low alloyed high strength steel




*a*



*b*

**Fig.3**. Macrosections (*a*) and the appearance of the butt joint (*b*), depth 200 m




**Fig.4**. Formation of metal of multilayer weld

For welding at great depths, a flux-cored wire with a nickel shell was developed. Bead on plate macrosections and the appearance of the butt joint are shown in Fig.3.

## WELDING OF STAINLESS STEELS UNDER WATER

Repair of elements of nuclear power plants constructions is attended with the risk of radioactive irradiation of personnel. The use of water as a physical barrier against a radiation allows to increase possible time of performing of works. It does perspective development of materials for the wet underwater welding of stainless steels. Evident is the expediency of mechanization and automation of the process to minimize the human labor near the radiation source Based on long-term experience of application of the mechanized flux-cored wire welding in the E.O.Paton Electric Welding Institute a selfshealding flux-cored wire is worked out for wet welding of stainless steels [10]. It allows to perform welding of butt, fillet and overlapped joints in flat and vertical positions of high-alloy corrosion-resistant steels type of AISI 304L, 308L, 347 and 321. Fig.4 shows the appearance of a filling layers of 12 mm thick steel 12Cr18Ni10Ti welded joint, made under water using 1,6 mm diameter flux-cored wire [11].

Mechanical properties of weld metal meet to the requirements, specified to the welds, performed on air. Results of testing specimens, cut out from the butt joint, are given in Table 3.

**Table 3**. Mechanical properties of weld metal at 20°C test temperature

| $\sigma_{0,2}$, MPa | $\sigma_{ult}$, MPa | δ,% | ψ,% | KCV, $J/cm^2$ | Bend angle, $R = t$ |
|---|---|---|---|---|---|
| ≥ 350 | ≥ 620 | ≥ 26 | ≥ 29 | ≥ 90 | 68…103 |

Application of the flux-cored wire opens the prospect of automation of welding process and exception participating of diver-welder in works in extra hazardous conditions.

## WET SEMI-AUTOMATIC UNDERWATER CUTTING

One of the actual tasks, determining the development of underwater technique, is improvement of existing underwater cutting methods, creation of new electrode materials and of highly efficient process of cutting metals and non-metals. Arc cutting methods have a key position in these attempts. They are based mainly on application of stick electrodes with oxygen supplied to arcing zone. The heat of both the electric arc and exothermic reactions of base metal and metal electrode in the oxygen environment is used for heating metal being cut. Essential disadvantages of such a technique are high oxygen consumption (0,2...0,35 $m^3$ per running meter of a cut) and the necessity of frequent changes of electrodes. Besides, application of this method for cutting non-ferrous metals and high-alloy steels is practically impossible.

To eliminate the above-mentioned disadvantages of the known cutting methods, to increase the process capacity, and to improve diver's labour conditions, the fundamental researches on metallurgical peculiarities of underwater cutting have been performed at the E.O.Paton Electric Welding Institute, including study the physical characteristics of arcing under water down to depth of 60 m [12].

Absence of additional oxygen supply into the arc zone and the continuity of cutting performance are important feature of the technique. The high cutting through capability and arc burning stability are achieved at the expense of the flux-cored wire composition. Gas- and oxygen forming components, besides their action as liquid metal oxidisers and vapour-gas bubble creators, form the plasma jet. The latter exerts active gas-dynamic pressure on the liquid metal, thus accelerating the burning through of the base metal.

Flux-cored wires for underwater cutting meet a number of technical requirements which determine the possibility and expediency of their application for steel of different thickness in the wide range of operation depths. The main requirement of the metallurgical nature is intensive oxidizing of molten

metal in the cut cavity. The technological requirements include the stable arcing and quality formation of the cut edges. The components of the flux-cored wire charge are strong oxidiser, gas-forming and arc stabilising compounds.

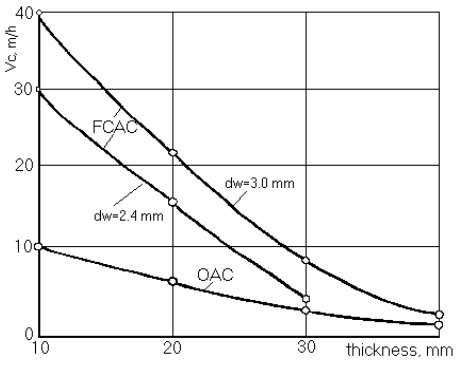



**Fig 5**. Relationship between underwater cutting speed and thickness of sheet being cut (St3) in FCAC (Vwf=350 m/h) and OAC

The wires of a small diameter (2,0...2,4 mm) are preferable for semi-automatic FCAC, because they allow a light-weight holder to be used which is more convenient for underwater application.

When 2,0...2,4 mm dia. wires are used, up to 30 mm thick low-carbon steels can be cut by FCAC; however, the said wires are more reasonable to be used for underwater cutting the 15...20 mm thick metals at cutting speed not less than 10...15 m/h (Fig.5) [13]. Some data in respect to process parameters are given in Table 4.

The arc cutting process with flux-cored wire exceeds the best procedure of manual oxy-arc cutting by tubular electrodes in terms to productivity. The speed of cutting low-carbon and low-alloy steels is practically similar.

Austenitic steels can be cut by 10...15% faster, this being explained by the higher concentration of the cutting jet heat energy due to the lower thermal conductivity of the metal. The speed of cutting aluminum is 1.5...2 times as high as that of cutting low-carbon steel of the same thickness, this being related mainly to the great differences in the melting points. At the same time, the speed of cutting copper is by 2...3 times lower, though the difference in the melting points is effective as well. In the latter case, the great effect is produced by the high thermal conductivity of copper.

**Table 4**. Typical process parameters of underwater flux-cored arc cutting of carbon steels

| H, msw | δ, mm | dw, mm | Ic, A | Ua, V | Vc, m/h |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 10 | 2,0<br>2,4 | 470<br>620 | 40<br>45 | 20,0<br>25,0 |
| | 20 | 2,0<br>2,4 | 460<br>600 | 45<br>50 | 8,0<br>15,0 |
| 20 | 10 | 2,0<br>2,4 | 450<br>610 | 42<br>47 | 18,0<br>23,0 |
| | 20 | 2,0<br>2,4 | 440<br>580 | 47<br>52 | 6,0<br>13,0 |
| 30 | 10 | 2,0<br>2,4 | 440<br>570 | 44<br>49 | 16,0<br>20,0 |
| | 20 | 2,0<br>2,4 | 420<br>560 | 49<br>54 | 4,0<br>10,0 |

The E.O.Paton Electric Welding Institute widely uses the new cutting technology in practice [11]. A number of unique operations are performed in salvaging of ships, repair of oil and gas pipelines, restoration of bridges, clearing of river-beds, repair of sea moorages and so on.

## PECULIARITIES OF THE SEMI-AUTOMATIC WELDING AND CUTTING EQUIPMENT

To realize the processes of welding and cutting by using the flux-cored wires, the E.O.Paton Electric Welding Institute has developed a series of semi-automatic machines of a unique design [14]. The control cabinet and power source are on the surface. Submersible block is filled with water to balance the hydrostatic pressure and can operate at the depths down to 500 m. If necessary, the diver can open the cover of container “in situ”, replace the empty reel and install new one with wire. The multi-year service confirmed the reliability and serviceability of the suggested conception.

At present this direction is successfully developed using both a previous experience, and

also new technological solutions and updated element base. The E.O.Paton Electric Welding Institute has designed and tested under the real conditions the new high-efficient model of the semi-automatic machine for underwater welding and cutting [13].

The new semi-automatic machine provides:

- stability of flux-cored wire feeding at varying of conditions of works fulfillment (depth, water salinity, manipulation of holder by a diver-welder) and condition parameters
- reliability of service: safety of hardware and possibility of a quick change of units and elements, coming out of order (maintainability)
- convenience of service in setting-up and keeping the condition parameters
- feasibility of operation using any type of welding current source
- integral protection of supply system from the effect of water medium of different origin at action of high pressures.

## EXPERIENCE OF APPLICATION

The important feature of wet semi-automatic technology is its many years successful application. The first experimental tests on real objects were made at the end of 70-s. By now serious experience has been accumulated in repair of gas- and oil pipelines and ships afloat.

Pipelines. Since 1970 more than 80 gas-, oil-, and water pipelines across the water obstacle were restored using the FCAW system, Fig.6. In the most difficult cases the defective site of pipe was excluded with help semi-automatic cutting by flux-cored wire. The samples simulating repair of typical defects are shown in Fig.7 [15].

The experience of E.O.Paton EWI and CIS-companies which use the FCA welding techniques relates to restoration of river pipeline passages at the depths down to 20 m [16]. The maximum diameter of repaired pipes was 1020 mm, the inner operating pressure being up to 5 MPa. Usually, the duration of restoration including removing of faulty area, mechanical treatment, adjustment of patch, welding and quality inspection, was 4...10 days.

Ship afloat. For the first time the semi-automatic flux-cored arc welding was applied in salvaging the motor ship "Mozdok" sunk in the Odessa port [17]. The mentioned ship got a 7×14 m breach as a result of collision and submer-creating hazards for normal navigation in this region.



**Fig.6**. Wet semi-automatic welding of pipeline



**Fig.7**. The samples simulating repair of the typical defects of pipelines after testing under inner pressure of 5 MPa

The ship salvaging was performed by the combined methods: using lifting pontoons and creating the positive floatability of the hull by pumping polystyrene into the holds. It was necessary to ensure complete tightness of the brought-in patch and of the ship cargo hold covers to prevent the leakage of polystyrene pumped into the holds. The semi-automatic underwater welding allowed to perform a large volume of welding jobs in a short time. The vertical overlap welds, 30…12 m deep, and the welds in the vertical and flat position 12 m

deep, were made in two passes. The total length of welds was 230 m, Fig.8. There were no problems of polystyrene leakage after a through sealing, and the ship was lifted by the time fixed.

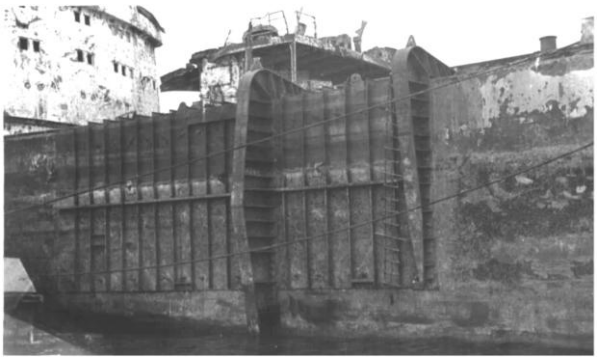


**Fig.8**. The path (7×14 m) welded with semi-automatic welding

Since that time more than 200 ship-repairing and ship-rising works were carried out on the base of FCA welding technology. The accumulated experience of practical application of FCA welding technique shows the possibility and expediency of its utilization in the next cases:

- repair of ship hulls with navigation and corrosion damages
- hermetization of ship hulls before transportation to place of ship liquidation
- hermetization of Kingston's shafts for repair and substitution of fittings
- installation of protective casing around screw propeller
- substitution of protectors
- restoration of rudders
- repair of floating docks and moorages
- ship rising.

## CONCLUSIONS

1. At the E.O.Paton Electric Welding Institute the two unique methods for performance of underwater work have been created: wet semi-automatic welding and wet semi-automatic cutting. Both of them are based on using special flux-cored wires permitting the process to be performed directly in water.

2. The reached level of weld metal mechanical properties is believed to be sufficient for satisfactory performance of repair and maintenance work on underwater structures made from mild and low-alloyed high strength steels.

3. The semi-automatic underwater welding application in emergency cases and in case of emergency repair in distant industrial regions gives such important advantages as mobility and a possibility of a fast mobilization of the equipment, high speed of the operation performance due to a high efficiency of the process, moderate expenses for the welding performance and very high economic efficiency.

4. The underwater flux-cored wire semi-automatic arc cutting is widely used in restoration of underwater steel structures and salvaging operations. The method features the absence of any additional supply of oxygen to the arcing zone and is intended for cutting of carbon and high-alloyed steels, non-ferrous metals and alloys up to 40 mm thick at the operation depths up to 60 m, both in fresh and sea water.

## REFERENCES


1. .**Kulikov P., Sukach M., 2016**. Program of development of minerals of the World Ocean. Underwater Technologies, Vol.03, 3-10.
2. **Kulikov P., Sukach M., 2015**. About readiness of Ukraine to mastering minerals of World Ocean Underwater Technologies, Vol.02, 3-10.
3. **International** Workshop on Underwater Welding of Marine Structure, **1995**. December 7-9, 1994. New Orleans, Louisiana, USA, ABS, N.Y., 451.
4. **Chon L. Tsai**, **1995**. Underwater Welding, Cutting and Inspection. Welding Journal, 2, 55-62.
5. **Underwater** Wet Welding and Cutting. International seminar and workshop, TWI North, Middlesbrough, UK, 17-18 April **1997**. Woodhead Publishing Ltd.
6. **Gretskii Yu.Ya., Maksimov S.Yu., Savich I.M.**, **1999**. Underwater Semi-automatic Welding and Cutting of Metals By the Wet Method, The Paton Welding Journal, Pilot Issue, 87-91.
7. **Gretskii Yu.Ya., Maksimov S.Yu.**, **1997**. Technological processes of underwater welding and cutting of steels with flux-cored wires. Welding and Joining science and technology.

The ASM International European Conference, Madrid, Spain, 10-12 March, 165-179.
8. **Gretskii Yu.Ya., Maksimov S.Yu.**, **1995**. About assessment of low-alloyed steel weldability with considering of wet underwater welding conditions. Second Pipeline Technology Conf., Ostend, 11-14 September, 123-127.
9. **Maksimov S.Yu.**, **2010**. Underwater arc welding of higher strength low-alloy steels. Welding International, 24 (6), 449-454.
10. **Yushchenko K.A., Maksimov S.Yu., Kakhovsky N.Yu., Fadeeva G.V., Suprun S.A.**, **2011**. Welding of stainless steels under water. Unterwassertechnik. Vorträge der Sondertagung im Rahmen von DVS Congress und DVS Expo in Hamburg, 28 September, 28-31.
11. **Kakhovsky N.Yu., Maksimov S.Yu.**, **2015**. Tehnologija mehanizirovannoj podvodnoj svarki vysokolegirovannoj korrozionno-stojkoj stali tipa 18-10 samozashhitnoj poroshkovoj provolokoj. Voprosy materialovedenija, Vol.1 (81), 187-191 (in Russian).
12. **Danchenko M.E., Nefedov Yu.N.**, **1989**. Underwater flux-cored wire cutting. Proc. Int. Conf., Helsinki, Finland, 4-5 Sept., Pergamon Press.
13. **Nefedov Yu.N., Danchenko M.E.**, **1998**. Technology and experience of application of underwater flux-cored wire arc semi-automatic cutting. Underwater Wet Welding and Cutting. Woodhead Publishing Series in Welding and Other Joining Technologies, 96-104.
14. **Savich I.M., Smolyarko V.B., Rfveshev M.A.**, **1976**. Tehnologija i oborudovanie dlja poluavtomaticheskoj podvodnoj svarki metalokonstrukcij. Neftepromyslovoe stroitel'stvo, Vol.1, 10-11 (in Russian).
15. **Maksimov S.Yu., Lebedev V.A.**, **2012**. Novoe pokolenie oborudovanija dlja mokroj podvodnoj svarki. Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija Svarochnye materialy – 2012. Sankt-Peterburg, 16-18 oktjabrja, 270-278 (in Russian).
16. **Yushchenko K., Gretskii Yu., Maksimov S.**, **2001**. Underwater wet arc semi-automatic welding in repair of pipelines. Int. Conference on Pipeline Repairs, March 5-6, Australia, 8.
17. **Maksimov S.Yu.**, **2014**. Primenenie svarki pod vodoj pri remonte sudov na plavu. Mezhdunarodnaja konferencija Morskie i rechnye perevozki. Sudostroenie. Voprosy jekonomicheskogo vzaimodejstvija, funkcionirovanija i razvitija, 21-22 oktjabrja, Odessa, 115 (in Russian).

## Разработки Института электросварки имени Е.О.Патона в области сварки и резки под водой

*Сергей Максимов*

**Аннотация**. Представлены результаты разработок ИЭС имени Е.О.Патона по созданию электродных материалов, оборудования и технологии мокрой подводной сварки и резки. Научные исследования в этой области включают изучение влияния скорости охлаждения, насыщения водородом, гидростатического давления и других факторов на процесс сварки и качество получаемых соединений, изучение свариваемости сталей, разработку специальных сварочных материалов, методов и технологий, развитие основных принципов механизации процессов мокрой сварки и резки. Опыт применения мокрой подводной сварки и резки наглядно свидетельствует о применимости этих технологий по крайней мере к восстановлению причалов, платформ, трубопроводов, судов и других подводных конструкций.

Электроды и порошковые проволоки могут быть использованы для:

- сварки малоуглеродистых сталей и низколегированных сталей повышенной прочности толщиной до 40 мм с пределом прочности до 600 МПа на глубинах до 30 м

- сварки высоколегированных коррозионностойких сталей типа ANSI 304L, 308L, 347 AND 321

- резки углеродистых и легированных сталей цветных сплавов толщиной до 40 мм на глубинах до 60 м.

**Ключевые слова**: подводная сварка и резка, порошковая проволока, низкоуглеродистая сталь, нержавеющая сталь, механические свойства.

# Underwater wireless video communication in operations of AUV/UUVs – new horizon of underwater explorations

*Kirill Otradnov, Volodymyr Shuliak, Sergii Kornieiev*

BaltRobotics Sp.z.o.o., Limited liability company
3, str. Trzy Lipy, Gdansk, 80-172, Poland
sergii.kornieiev@baltrobotics.com, orcid.org/0000-0003-3969-0304

**Summary**. This article presents the experience of BaltRobotics® in the development, production and testing of *wireless underwater acoustic video communications* − unique in the world technology today. It is also considered the use of wireless underwater video implementation in Autonomous Underwater Vehicles (AUV's) as applied to perform inspections of underwater oil and gas pipelines and other applications. The achieved characteristics, limitations and coming prospects were presented.

**Key words**: Wireless underwater video communications, acoustics, AUV, ROV, offshore, oil&gas, NDT, underwater pipelines inspections.



**Kirill Otradnov**
Chief Technical Officer /
Partner



**Volodymyr Shuliak**
Partner



**Sergii Kornieiev**
President /
Chief Executive Officer

## THE ISSUE & CHALLENGE

Currently, there are about 1000 Remotely Operated Vehicles (ROV) units and up to 700 AUVs (Autonomous Underwater Vehicle) in the world [1].

In the upcoming 4 − 5 years it is expected that this fleet can be increased 50…60% according to «most likely» scenario and can even be more than doubled according to "High Case" scenario.

The vast majority of AUVs currently belongs to defense – as "Unmanned Underwater Vehicles" (UUV, − UUV and AUV have no differences in the meaning, but the abbreviation "UUV " is used in the defense industry).

Of these, approximately 35% are "heavy", 25% − "middle", and 40% − "light" vehicles. The majority of heavy ROV vehicles is used in drilling and construction support of subsea infrastructure in oil & gas industry. Light ROV vehicles are used in Inspection Repair and Maintenance (IRM). Approximately 70…80 percent of all ROV's are "heavy" to "medium and 20…30% are "light" vehicles. IRM-

segment of the market for “light ROV” was in 2015 – 17% and as estimated will grow 3,8% till 2019 [2].

As market tendency there are the attempts to spread AUV/UUV applications from the defense to “civil market”, with this it is assumed that AUV’s will take over some IRM tasks from ROV’s.

Much attention is paid to «Deep Water» − ROV & AUV operations in depths up till 3000 meter of water. Although from a market point of view, such "frontier types” of vehicles will not be decisive because of about 80% of the total pipelines length (and oil&gas platforms and undersea infrastructure) belong to the depths less 500 meters.

The service delivery market of IRM is highly monopolized: 60% of all ROVs owned by top three operators, 22% − owned next four, 18% remaining – spread across 10 other smaller ROV-operators.

With AUV/UUV the development really is in the “start position” when we see the civil tasks. There are only about 30 units in the operations out of defense applications. About 10 companies have its own AUV/UUV design. BaltRobotics is one of them [3].

In the last 2 − 3 years the Oil & Gas industry has been under "pressure", which has resulted in a challenge to reduce prices which results in a critical review of approaches to development in the industry.

For example, with regards to IRM of underwater pipelines. Currently the total length of pipelines in the world is estimated as 150 thousand km, and still increasing with 20% towards 2019. As a great part of these pipelines is older than 20 − 25 years − their end of life cycle. Ecological requirements will press the operators through governmental regulations to increase IRM operations with the increasing of “age” of pipelines despite the decline in oil prices. Another thing is that the need to optimize the budgets in this situation requires the introduction of new advanced technologies, including the transition from ROV-based inspections to AUV-based ones.

Thus, the objective reasons and formal requirements force operators to increase the operating costs when the optimization of budgets is in the urgent agenda!

What does this means “in money”? – The rent of a vessel with an ROV is roughly estimated around $100 thousand per day – it depends from the depth and the amount we mentioned belong to the “shallow water” experience. In the “deep water” the rates are higher. The "availability factor" taking into account of weather condition influence is about 0,3 − in the equatorial regions, − and in the North Sea – less. In theory Vessel & ROV can inspect some 10…20 km, but really with the missed days/weeks of hard weather the average productivity per day usually lays – 2…5 km.
With this initial data we can calculate: if “5 км” the financing of the inspection of 25% of extent should around $2…3 billion! This is serious amount. Although, if considering that BP paid 62 billion dollars for the accident in 2010 at the Deepwater Horizon spill, and the real damage to nature no one can really estimate the costs of 4 billion seem to be fully justified. Anyway, any possible optimizations will be welcomed by operators.

Also there are some limitations with ROVs: "hooks" of tethers, "start" and "extracting" breaks, etc., which was observed with waves of 1…1,5 m. And with waves 2,5 m the vessels with ROV must stop productive work.
How can we optimize the costs? The general approach the same in any industry – it is automation! In the case we can reach the enlarged effectiveness if we will expand the limits for weather conditions and will have more "availability factor". The first and the second lead to AUVs instead of ROVs.

“The lack of breakthroughs in wireless underwater communication and battery capacity is prolonging the wait for a fully autonomous underwater vehicle (AUV), one that will not need a $100,000/day vessel and crew <authors’: as ROV-approach>, a heavy tether for power and control or hours to complete a task that might take minutes onshore…” [4].

This quote clarifies the essence of the problem: to go to the automatic inspection on the basis of AUVs it was necessary at the first to solve the problem of transmitting video wirelessly. The problem of power is not very criti-

cal now for light AUVs, it is quite acceptable with the batteries that provide mission durations of up to 24 hours or even more. When an AUV can cruise up to a speed of 5 knots it has the possibility of carrying out inspections at a distance of 100 km!

## THE HISTORY OF WIRELESS UNDERWATER VIDEO DEVELOPMENT

Dozens of scientific and industrial groups from almost all the leading countries of the world are involving in the development of over the past 20 years.

The most development activities had been done in Massachusetts Institute of Technology (MIT), Georgia Institute of Technology, State University of New Jersey, University of Connecticut, Boise State University, The University of Texas at Austin, Missouri University of Science and Technology, Florida Atlantic University, University of Delaware (all USA), and also some scientific teams from UK, France and Italy, in particular G.E.S.M.A. (Groupe d'Etudes Sous-Marines de l'Atlantique), Naval Brest, France.

The results of the researches can be resumed that it was revealed that the wireless acoustic communications can be realized with the rate 115…128 kbit/s and the distances 100…200m. But in USA market and in the world one also you can buy only modems with 62 kbit/s with the range 300 m − not more.

Data transmission schemes used:

- orthogonal frequency division multiplexing (OFDM);
- frequency shift keying (FSK);
- direct sequence spread spectrum (DSSS);
- single carrier phase-coherent modulation with adaptive channel equalization − direct transmission of phase-coherent modulations, including: phase shift keying (PSK) and quadrature amplitude modulation (QAM);
- multiple-input multiple-output (MIMO).

Modulation schemes with modulation efficiencies are in Table [6].

**Table**. Modulation schemes with modulation efficiencies

| Modulation scheme | Modulation efficiency, bits/s/Hz |
|---|---|
| DPSK | 0,8 |
| BPSK | 1 |
| QPSK | 1…1,6 (typ)<br>2 (max) |
| 8 PSK | 2,75 (typ)<br>3 (max) |
| 16 PSK | 4 |
| 16 QAM | 4 |
| 64 QAM | 6 |

QAM is used extensively as a modulation scheme for digital telecommunication systems. Spectral efficiencies of 6 bits/s/Hz can be achieved with QAM (64 QAM) – but taking into account the reliability of communications the real figures are about 2 bits/s/Hz.

As system requirements for video transmission *bit error rate* (BER) should be: **~ $10^{-3}$…$10^{-4}$**.

"Applied Ocean System" proposed "SeaHorse" Wireless Underwater Digital Video Transmission System but there are no data about the channel characteristics; and the system is not integrated with AUVs.

## THE NATURAL OBSTACLES

Among the three types of waves (electromagnetic waves, acoustic waves and optical waves (lasers)), acoustic waves are used as the primary carrier for underwater wireless communication systems due to the relatively low absorption in underwater environments.

But the use of acoustic waves especially in shallow water can be adversely affected by Doppler effect, temperature gradients, surface ambient noise, and multipath propagation due to reflection and refraction.

**Propagation velocity**

The much slower speed of acoustic propagation in water, about 1520 m/s (meters per second), compared with that of electromagnetic and optical waves, is another limiting factor for efficient communication and networking. The matter is not only in the "slow speed"

when you need only transmit video. But in our case we need also to control AUV from operator. In the case we have the delay for signal propagation – every 152 m "deliver" the delay 0,1 s. It is not much but there will be also the delay for data processing! We will discuss this issue below.

A typical speed of sound in water near the ocean surface is about 1520 m/s. The speed of sound in water increases with increasing water temperature, increasing salinity and increasing depth. Most of the changes in sound speed in the surface ocean are due to the changes in temperature. This is because the effect of salinity on sound speed is small and salinity changes in the open ocean are small. Near shore and in estuaries, where the salinity varies greatly, salinity can have a more significant effect on the speed of sound in water. As depth increases, the pressure of water has the largest effect on the speed of sound. Under most conditions the speed of sound in water is simple to understand. Sound will travel faster in warmer water and slower in colder water. Approximately, the sound speed increases **4,0 m/s** for water temperature arising **1˚±C˚**. When salinity increases **1 practical salinity unit (PSU)**, the sound speed in water increases **1,4 m/s**. As the depth of water (therefore also the pressure) increases **1 km**, the sound speed increases roughly **17 m/s**.

It is noteworthy to point out that the above assessments are only for rough quantitative or qualitative discussions, and the variations in sound speed for a given property are not linear in general. But the communication system has to follow and carry out these dependences!

**Absorption**

During propagation, wave energy may be converted to other forms and absorbed by the medium. The absorptive energy loss is directly controlled by the material imperfection for the type of physical wave propagating through it. For acoustic waves, this material imperfection is the inelasticity, which converts the wave energy into heat. The absorptive loss for acoustic wave propagation is frequency-dependent. For the frequency range (0,5…1,0) MHz (that is the only can deliver to us the signal bandwidth till 80 kHz with practical intended distances till 200m) – the absorption about 200…300 dB/km.

One more serious limitation is that you could not increase the power of transmitter for your choice – you will be limited with cavitation effect – the water will be "boiled" on the antenna's surface when transmission power increased and the range of communication immediately dropped down.

**Multipath**

An acoustic wave can reach a certain point through multiple paths. In a shallow water environment, where the transmission distance is larger than the water depth, wave reflections from the surface and the bottom generate multiple arrivals of the same signal. In deep water applications, surface and bottom reflections may be neglected. Due to the spatially varying sound speed, the wave refractions, however, can cause significant multipath phenomena.
Large channel delay spread introduces time dispersion of a signal, which causes severe inter-symbol interference. This brings grand challenges for efficient modulation and demodulation.

**Path Loss**

For any propagation wave, there are three primary mechanisms for energy loss: (i) geometric spreading, (ii) absorptive loss, and (iii) scattering loss. We next focus on geometric spreading and scattering loss. Geometric spreading is the local power loss of a propagating acoustic wave due to energy conservation. When an acoustic impulse propagates away from its source with longer and longer distance, the wave front occupies larger and larger surface area. Hence, the wave energy in each unit surface (also called energy flow) becomes less and less. For the spherical wave generated by a point source, the power loss caused by geometric spreading is proportional to the square of the distance.

*Scattering* is a general physical process whereby one or more localized non-uniformities in the medium, such as particles and bubbles, force some forms of wave radiation to deviate from a straight trajectory. It

also includes deviation of reflected radiation from the angle predicted by the law of reflection. This is especially relevant to underwater channels. When the wind speed increases, the surface roughens and the effect of surface scattering becomes evident.

Surface scattering introduces not only power loss, but also spreading in delay of each surface bounce path (thus contributes to multipath phenomena).

**Ambient Noise**

Ambient noise is defined as "The noise associated with the background din emanating from a myriad of unidentified sources: its distinguishing features are that it is due to multiple sources, individual sources are not identified, and no one source dominates the received field". The common sea-surface noise sources include the surface-ship radiated noises, breaking waves associated with ensuing bubble production, and so on; and the deep water noises mainly come from marine animals. Moreover, surface ships that cross ocean basins could produce a general low frequency background traffic noise that may not in fact sound like coming from surface shipping. The level of underwater ambient noise may have large fluctuations upon a change in time, location or depth. Nevertheless, it is still possible to sketch out a function describing the approximate magnitude range to characterize underwater ambient noises in very general terms. Often pressure spectral density, defined as the mean squared pressure of noise within a given frequency band divided by the bandwidth f, is used. The unit of pressure spectral density is pressure squared per Hertz. It should be noted that noise level is *frequency-dependent*. When (0,5…1,0) MHz is used – roughly we can estimate Ambient noise as Intensity Spectral Density $10^{-14}$…$10^{-16}$ (W/m$^2$/Hz).

**Time-dispersion**

Slow speed of acoustic waves and significant multipath phenomena cause very large channel delay spread, which leads to severe inter-symbol interference due to the waveform time-dispersion (also called time-spreading).

**Doppler spread**

In motion environments (such as platform motion, scattering of the moving sea surface, AUV motion), the slow propagation speed of sound introduces large Doppler spread or shifts, which causes severe interference among different frequency components of the signal (also referred to as frequency-spreading). On the outset, large Doppler spread results in a reduction in the channel coherence time (the time period when the channel can be viewed as static) or an apparent increase in the rate of channel fluctuation. The ratio of Doppler to carrier frequency in underwater channels is on the order of $10^{-3}$ to $10^{-4}$.

In short, the objective of underwater acoustic communication is to overcome the performance limitations induced by the highly dispersive channel, while at the same time improve the bandwidth efficiency as much as possible.

BaltRobotics have designed the solution and successfully tested it in the mode "point-to-point" with the presence of invited international experts in Burgos (Bulgaria) in 2011, – **till now it is the only solution in the world**! In Fig.1: the moment when one of the high data rate modems had being immersed down.



**Fig.1.** Burgos, Bulgaria, September, 2011: the first wireless underwater acoustic video channel is going to start the "new era" of underwater development

ALTERNATIVES AVAILABLE

Free-space optical (FSO) waves used as wireless communication carriers are generally

limited to very short distances because the severe water absorption at the optical frequency band and strong backscatter from suspending particles. Even the clearest water has 1000 times the attenuation of clear air, and turbid water has more than 100 times the attenuation of the densest fog.

Nevertheless, underwater FSO, especially in the blue-green wavelengths (450…550 nm), offers a practical choice for high-bandwidth communication − 10 Mbps with negligible delay over moderate ranges − up to about 100 m. The solution had been designed by Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI, USA). It was reported in November, 2012 the WHOI have developed a wireless underwater communication system to control remotely operated vehicles (ROVs) in real time. It was reported in [9] the WHOI optical modem had been used for communication with AUV.

There are two main disadvantages of Free-space optical approach: 1) very large dependence from transparency of water – in some area of offshore oil&gas platforms one cannot see his arm in the water (!) – that can decrease the range to several meters as the most; 2) very narrow beam to reach the longest range that needs high precision of antennas' orientation and control system.

## VIDEO DATA COMPRESSION

The limiting factor in video technology is not only the sensors, but also the corresponding data rate which results for high resolution and high frame rates. Using the example above, a 720×640 at 30 Hz camera with 12 bits conversion depth will yield around 165Mbit/s uncompressed. To transmit this data flow with Modulation efficiency 2 bits/s/Hz one needs the bandwidth 82,5 MHz! For that reason digital video has to be compressed, where this is most often achieved at the cost of image quality, although lossless compression techniques also exist. But just in our case there should be used all compromises and some reasonable decrease of image quality because of we have the bandwidth not more 80 kHz! Thus we need the combined optimization to 1000 times!

The standard method for image coding is the transform domain coding, using the discrete cosine transform (DCT). In this method, the image is first transformed into a set of DCT coefficients. By eliminating the (spatial) redundancy between pixels, this transformation provides energy compaction, i.e., the number of coefficients needed to represent the image is generally much smaller than the number of original pixel levels. An alternative to transform domain coding is subband coding. In this approach, a discrete wavelet transform (DWT) is taken, which effectively decomposes the signal (pixel levels) into subbands of unequal length, where each subband is represented by its transform coefficients.

ITU standards H.263 "Video coding for low bit rate communication" (ITU - "International Telecommunication Union"), and the efforts of MPEG-4 group are concerned with video transmission at bit rates below 64 kbps. For example, reference [10] describes a compression scheme that transmits (144 x 176) pixel images, with 8 bits per pixel and 10 frames per second using 16 kbps. Bit rates in this range could be well supported by a carefully designed acoustic link, and that was the reached level before BaltRobotics results and out of them it is the same till now!

Despite the advances in *low bit rate coding for video transmission* over band-limited channels, all but the most recent experimental underwater systems rely on encoding of still images using JPEG principles and ITU standards H.264 "Advanced video coding for generic audiovisual services".

The data processing algorithm influences directly the quality of control of AUV through the video channel and command channel – operator's reaction. For 200m – the objective and gained result of BaltRobotics, - the propagation delay ("to and from") 0,133 s. JPEG and H.264 usually deliver compression efficiency about 0,2 bit per pixel for the most applications.

BaltRobotics for the task had designed and implemented special proprietary Video Compression Algorithm "UltraVNP-Compression" with **0,02** bit per pixel (!). This algorithm has

also and high level of stability and keep the recovery stable from 10 kbit/s till 128 kbit/s.

As it was demonstrated by BaltRobotics in Malta in 2015 H.264 and JPEG in the channel with AUV "X-3A" need 20-30 sec for the video flow to be processed and recovered. It is obvious that with such additional delay it is impossible to control AUV from operator's side.

The testing and Demonstration had shown that Video Compression Algorithm "Ultra VNP-Compression" has the video flow processing delay about **0,1 sec** that can be seen as adoptable.

## THE APPLICATION

However, the mere existence of the *underwater wireless acoustic video transmission channel* it is not yet the application! In our case, – it is NDT-application (Non-Destructive Testing) for CP-inspections ("Cathodic Protection Inspection") of oil&gas subsea pipelines. Any parameters and video channel characteristics should be fitted with the task and meet all technical requirements.

We will not explain it in details CP-Inspection approach – it can be easily found in the web-sources. The only we will draw that the lack till now automatic underwater inspection approaches for pipelines concerned wireless video because of all current AUVs in many cases cannot find the pipeline! But when we identify the pipeline with wireless video we need to find the "sacrificial anode" to make the direct connection with it with "o-potential" wire. AUV "X-3A" with "o-potential wire" behind can measure CP-potential along the pipeline in the most precise approach and also does it for buried pipelines! To follow the pipeline AUV "X-3A" has "Magnetic Autopilot" and after was connected with "sacrificial anode" AUV will fulfill the inspection in automatic mode. The productivity in compare with ROV-approach can be increased several times! AUV "X-3A" can cover till 100 km in one mission and more – this issue concerning battery capacity can be optimized in the balance with the price of AUV.

The working depth/distance up to 200m. That's a lot or a little? − More than 50% of the length of the undersea oil & gas pipelines in 2015 are in the depths of 0…100m, and about 20% − at a depth of 100 m to 500 m [11], i.e. on the continental shelf (depths up to 500 m). Thus there are more than 50% of all subsea pipelines that can be expected by the systems with underwater wireless video had been designed.

## AUV "X-3A"

The operational depth of AUV – till 200m, − it covers 30% of continental shelf where the main resources are. In Fig.2: AUV "X-3A" is underwater.

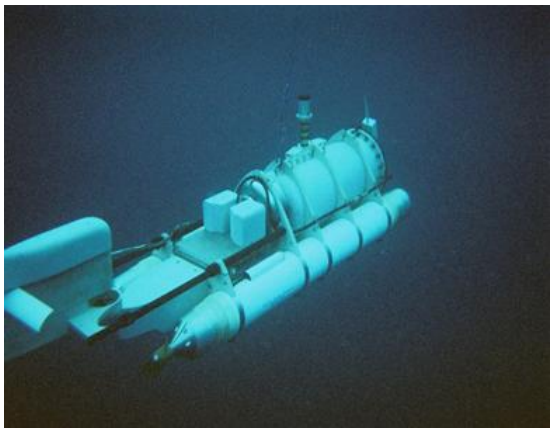


**Fig. 2.** AUV "X-3A"

For undersea navigation we use DVL&INS – "four beams" one, - of our own design with the accuracy – 0,3%.

AUV "X-3A" has DP ("Dynamic Positioning") – to keep the position when it is needed with the seabed currents impact.

Till now AUV "X-3A" does not use any sonar equipment: forward or side-sonar, - the task does not need them and we do not want to enlarge the price. But they can be mounted in any time when the mission needs it.

AUV includes:

- Engines;
- Thrusters of DP («Dynamic Positioning»);
- Buoyancy Control System;
- Wireless Underwater Acoustic Video Communication System (with antennas orientation system);

- Acoustic Communication Command System;
- DVL/INS;
- SBL (“Short Base Line”) - AUV side;
- Central Processing System;
- Video Cameras;
- Lighting System;
- Radio System;
- System Emergency Ascent;
- Batteries;
- Strong case;
- Light case;
- Embedded software.
- GPS receiver;
- GSM(INMARSAT) modem;
- Search Magnetometer (“magnetic autopilot”);
- Mounting System for payload and its replacement;
- HUB of interfaces of payload.

Central Processing System is represented with “NVideo-560”: processors – 512 cores, 0,9 GHz.
Weight of AUV – less 200 кg.
Payload – less 20 кg.
Dimensions of AUV − less 2600x900x800.
Maximum speed of AUV “X-3A” − **5 knots**.
AUV “X-3A” had been designed and tested for 2011-2015.

The difference of AUV “X-3A” from many solutions is: (1) the presence of “Dynamic Positioning” mode that critically needed in offshore but usually absent in UUVs; and (2) the “Automatic Routing System” also was implemented. With this AUV “X-3A” can be remotely controlled wirelessly by child with simple joystick! It differs AUV “X-3A” not only from ROVs – that needs very large and expensive trainings, − but also from most AUVs.

AUV “X-3A” can be adopted for other tasks concerning:

- mapping and profiling;
- raw materials exploration;
- archeology;
- rescue operations.

## VESSEL

Of course to deliver AUV to the point of destination we need the vessel. In our case it is motor-sailing boat – MAEKSA.

BaltRobotics redesigned a vessel from the former German Fishing Seiner made in 1935… In Fig.3 – one page of German Fishing Seiner Project dated of 1935. In Fig.4 – “marine laboratory” − Motor-Sailing Boat “MAEKSA”.




**Fig. 3.** Fishing Seiner, Germany – project 1935



**Fig. 4.** Motor-Sailing Boat “MAEKSA” – reincarnation

It combined special marine laboratories and scientific facilities. “Sailing-approach” delivers the possibility to keep fuel in most cases – in compare with ROVs we do not need to follow AUV in the missions. It also can be accounted that “Sailing Boat” approach has no limitations on the area of operations, and has many privileges in the channels, ports, etc. The tonnage of the carrier vessel with AUVs can be decreased 10 times that optimized the costs.

The Vessel is equipped with SBL (“Short Base Line” navigation system) with the range 200m and accuracy 3%.

The Vessel includes:

- Hull;
- Engines;
- Thrusters (DP);
- Sails («Bermudez»);
- Life support system;
- Anchoring system;
- GPS-navigation system;
- Radio system;
- System of underwater communication with AUV (video, command);
- LBL-navigation system (“Long Base Line”);
- Launch system for AUV;
- Submerged platform of AUV communication;
- Servers;
- Local network;
- Solar Batteries;
- Mechanical, electronic and chemical workshops;
- crew cabins.

## DEMONSTRATION IN MALTA

21 May 2015, BaltRobotics held the live demonstration of the Vessel & AUV complex in Malta (St. Julian’s Bay, Sliema).

In Fig.5 – live on-line video of the target with the signatures of the participants of the Demonstration – the approach usually used by BaltRobotics to prove that all one see – not the trick!

The publications of the event had been made in the magazines by the company and

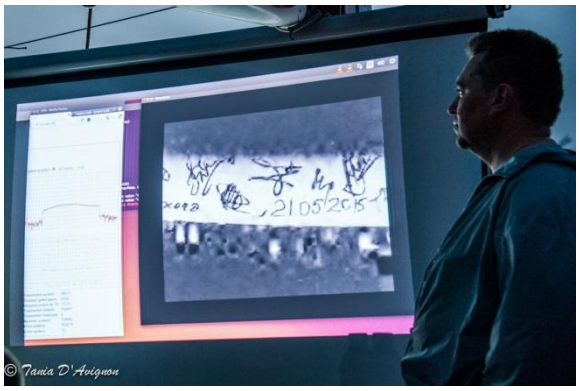



**Fig.5.** Wireless Underwater Acoustic Video transmitted from AUV “X-3A” “on-line” with the signatures of the participants of the Demonstration

the invited experts from Polish Navy Academy [12].

BaltRobotics is cooperating with Polish Navy Academy and “International Dialogue on Underwater Munitions” (IDUM) on the issue of chemical munitions from Germany arsenal which were flooded in the Baltic Sea after WWII. It is not very understood that in the Baltic Sea there are more 300000 ton of chemical munitions (gross weight) and more 60000 ton “pure materials” (“net weight”)! The half – in *Skagerrak channel* near Sweden seashore and the other half – on the area more 2100 sq.km in front of Poland, Lithuania, Latvia. This is very large dangerous and in the nearest future it has to be overcome.

## PUBLICATIONS

There were published several articles [13, 14].

BaltRobotics representatives took part in several international conferences with the reports in particular in AOG-2017, Perth, Australia.

In 2016 BaltRobotics had been selected as one of the “**20 finalists**” of the Award: "START UP WORLD-2016" in the nominations “Automatics & Robotics” with the solution "Wireless Underwater Acoustic Video Communication Channel − "AUV-based one” [15].

## CONFIGURATION AND CHANNEL CHARACTERISTICS

System Parameters and Specification of Wireless Underwater Acoustic Video Communication Channel are below.

Acoustic High Data Rate Modem:

- working distance – till 0,2 km;
- data rate – 115,2 kbit/s;
- full duplex mode;
- interface – Ethernet.

Antenna with Positioning & Control System:

- frequency − 500 kHz/1000 kHz;
- beam width – 4°.

Video Camera: 720 x 640.

Video Blaster: Black Magic.

PC & "NVideo-560" (processors – 512 cores, 0,9 GHz).

Underwater Unit Software for Video Compression of "UltraVNP-Compression Algorithm":

- 0,02 bit per pixel;
- 30 frames per sec.

Vessel Unit Software for Video Decompression of "UltraVNP-Compression Algorithm": buffering − 0,1 s.

## PROSPECTS

The research conducted by BaltRobotics revealed the principal limit for wireless underwater acoustic video – 500 m, – it hardly can be overcome in the nearest future. In the current plans of the company to enlarge the working distance of wireless video to 350m.

## VIDEOS

Technology: http://www.baltrobotics.com/.

The first wireless underwater acoustic video – AUV-based: https://www.youtube.com/watch?v=lgiOv0hNZKE.

Remote Control of AUV "X-3A" and Automatic Routing: https://www.youtube.com/watch?v=MVoFUraVyp0.

## SOME AFTERTHOUGHTS

The world ocean became the main source of recourses increasing of the human population in the future. In the article [16] mentioned the first steps had been done in this direction. The importance of ocean resources and the attention they attract from the leading countries can be seen in the example of the United States: all air-space companies of the country every year are increasing "ocean budgets": NASA, Boeing, Lockheed-Martin, others. The leading company with the largest in the world ROV-fleet is "Oceaneering", – 100% owned by Boeing. NASA has more 10% of the budget for ocean exploration! The "space #1" just now is the Ocean! The real space is becoming the "space #2".

**BaltRobotics**

"BaltRobotics Sp.z.o.o."®, Gdansk, POLAND (http://www.baltrobotics.com/) − is a scientific research, design, development, and engineering business specializing in the area of the competences that includes in particular: engineering in robotics, telecommunications, navigation (AUV, UGV).

BaltRobotics had been established in Poland by several Ukrainian specialists in 2013. The key personnel have large experience gained whilst working in former Soviet Union defense industry and state scientific research institutes.

The leading specialists and management staff of the company were the project managers in many international projects, and they were awarded with prestigious prizes, in particular: "Start Up World-2016", "Gold Medal" of Brussels Exhibition "Eureka 2006" and the Medal of US Department of Defense − DARPA – for the robots' racing (UGV) − "Grand-Challenge 2005", and also were awarded with the medals of Exhibition "VDNH of USSR".

## REFERENCES

1. **Douglas**-Westwood Market Report: http://www.douglas-westwood.com/.

2. **Wilby B.** and others, **2016.** Reviewing the global ROV-market, WORLD PIPELINES, Vol.16, Nr.4.
3. **Unmanned** Systems Technology (UST) magazine, **2015.** http://www.unmannedsystemstechnology.com/category/supplier-directory/platforms/uuv-manufacturers/.
4. **Nichols B., 2013.** Surveying the field in the search for fully autonomy, Offshore Engineer, January.
5. **Evologics, 2017.** https://www.evologics.de/en/products/acoustics/s2cm_series.html.
6. **Zheng Y.R.** and others, **2007.** Frequency-domain channel estimation and equalization for single carrier underwater acoustic communications, in Proceedings of MTS/IEEE OCEANS conference, Vancouver, BC, Canada, Sep.29 − Oct.4.
7. **Applied** Ocean, **2017.** http://www.applied-ocean.com/see-horse-modem.html.
8. **Springer** Handbook of Ocean Engineering, **2016.** Edited by Manhar R. Dhanak, Nikolas i. Xiros, Springer, N.Y.
9. **Pontbriand C.** and others, **2015.** Wireless data harvesting using the AUV Sentry and WHOI optical modem, in Proceedings of MTS/IEEE OCEANS 2015, Washington, D.C., USA. http://toc.proceedings.com/ 29426webtoc.pdf; AUV Sentry − http://www.whoi.edu/main/sentry.
10. **Kwon H.** and others, **1997.** Very low bit-rate video coding using variable block-size entropy-constrained residual vector quantizers, IEEE J. Select. Areas Commun, Vol.15, 1714-1725.
11. **Infield** Market Report, **2015.** http://www.infield.com/market-forecast-reports/.
12. **Pachek B., 2015.** Wireless Underwater Acoustic Video Communication, ROV Planet, Issue 04, 39-43. http://issuu.com/rovplanet/docs/rovplanet_magazine_04_web_/38?e=13380389/14076867.
13. **Otradnov K., Kornieiev S., 2015.** The AUV approach, World Pipelines, Special Issue Coatings&Corrosion, 63-66. https://drive.google.com/open?id=0B-8eS9GaQlqFeGF4eXVkN0F3eXM.
14. **Otradnov K., Shuliak V., Sergii Kornieiev S., 2016.** Underwater Wireless Video Communication – new horizon of underwater explorations, HYDRO International, Vol.20, Nr.7, 2016, 20-22. https://www.hydro-international.com/content/article/underwater-wireless-video-communication.
15. **Start Up World-2016**. http://www.start-up.world/index.php#awards.
16. **Kulikov P., Suckach M., 2015.** About readiness of Ukraine of mastering minerals of world ocean, Underwater Technologies, Vol.02, 3-10 (Ukraine).

## Подводная беспроводная видеосвязь в операциях AUV/UUVs – новые горизонты подводных исследований

*Кирилл Отраднов, Владимир Шуляк, Сергей Корнеев*

**Аннотация**. Представлен опыт компании BaltRobotics® в разработке, производстве и тестировании беспроводного подводного акустического канала видеосвязи – уникальной в мире технологии в настоящее время. Также рассматривается применение подводной беспроводной видеосвязи в интеграции с подводными автономными аппаратами типа AUV (Autonomous Underwater Vehicles) применительно к задачам неразрушающих инспекций подводных нефтегазопроводов и в других приложениях. Представлены достигнутые характеристики, ограничения и перспективы развития.

**Ключевые слова**: беспроводная подводная видеосвязь, акустика, подводные аппараты, AUV, ROV, оффшорная нефтегазодобыча, неразрушающие методы контроля, NDT, инспекции подводных нефтегазопроводов.

# Алгоритмічна послідовність узагальнених етапів виконання масштабного проекту «Комплексне вирішення проблем екології і утилізації промислово-побутових відходів на базі технології «ресайклінгу»

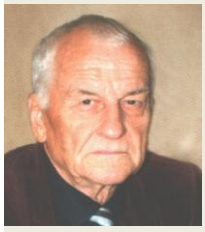
*Петро Купрієнко[1], Світлана Лаповська[2], Наталія Купрієнко[2, 3]*

[1]Київський національний університет будівництва та архітектури
Повітрофлотський просп., 31, Київ, Україна, 03680,
pkuprienko@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3054-4976
[2]ДП Науково-дослідний і проектно-конструкторський
інститут будівельних матеріалів та виробів
68, вул. Костянтинівська, Київ, Україна, 04080,
mit@kievweb.com.ua, orcid.org/0000-0001-9637-2631
[3]pkuprienko@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3820-3404

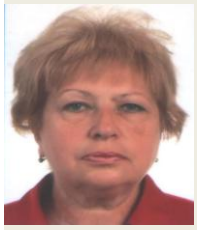
**Анотація.** Розроблено концепцію комплексного вирішення конкретних завдань, пов'язаних з проблемами забруднення навколишнього середовища. Основним інструментом у вирішенні цих завдань є використання наномодифікованого природного алюмосилікату при очищенні води з подальшою утилізацією відпрацьованого сорбенту, а також відходів різної природи в якості інгредієнта шихти у виробництві керамічних виробів.

Як приклад, приводиться алгоритмічна послідовність узагальнених етапів проведення робіт при виконанні проекту в частині очистки води. Приводиться перелік вод, що містять домішки різної природи і підлягають очистці, де ефективно працюють в якості сорбентів наносистеми на основі природних алюмосилікатів. Масштабний проект в цілому приведено у вигляді презентації і готовий до реалізації.

**Ключові слова.** Алюмосилікати, комплексне рішення, наномодифікування, утилізація, керамічні вироби, продукти водоочистки.



**Петро Купрієнко**
професор кафедри товарознавства і комерційної діяльності, д.т.н., проф.



**Світлана Лаповська**
заступник директора з наукової роботи, д.т.н.



**Наталія Купрієнко**
завідувач лабораторії фізико-хімічних досліджень і будівельної кераміки

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Переробка промислово-побутових відходів, що знаходяться у вигляді порошків, паст, суспензій в матеріали, вироби для будівельної індустрії включає розробку окремих технологічних процесів, перелік яких визначається природою, хімічним складом, об'ємами промислових та побутових відходів.

В основу технологій, що пропонуються, покладено технологію ресайклінгу – отримання технічної будівельної кераміки з використанням в якості складової шихти промислово-побутові відходи різної природи та походження по принципу матриця + речовина.

Наукову концепцію реалізації технології ресайклінгу створено на базі колоїдно-хімічного матеріалознавства з використанням елементів нанотехнології, яка дає можливість конкретно вирішувати складні проблеми, пов'язані зі станом навколишнього середовища. На сьогоднішній день отримано результати попередніх наукових досліджень та технологічних випробувань технології отримані зразки будівельних матеріалів з використанням керамічної технології (Рис.1), які підтверджують реальну значимість запропонованої ідеї [1 − 5].

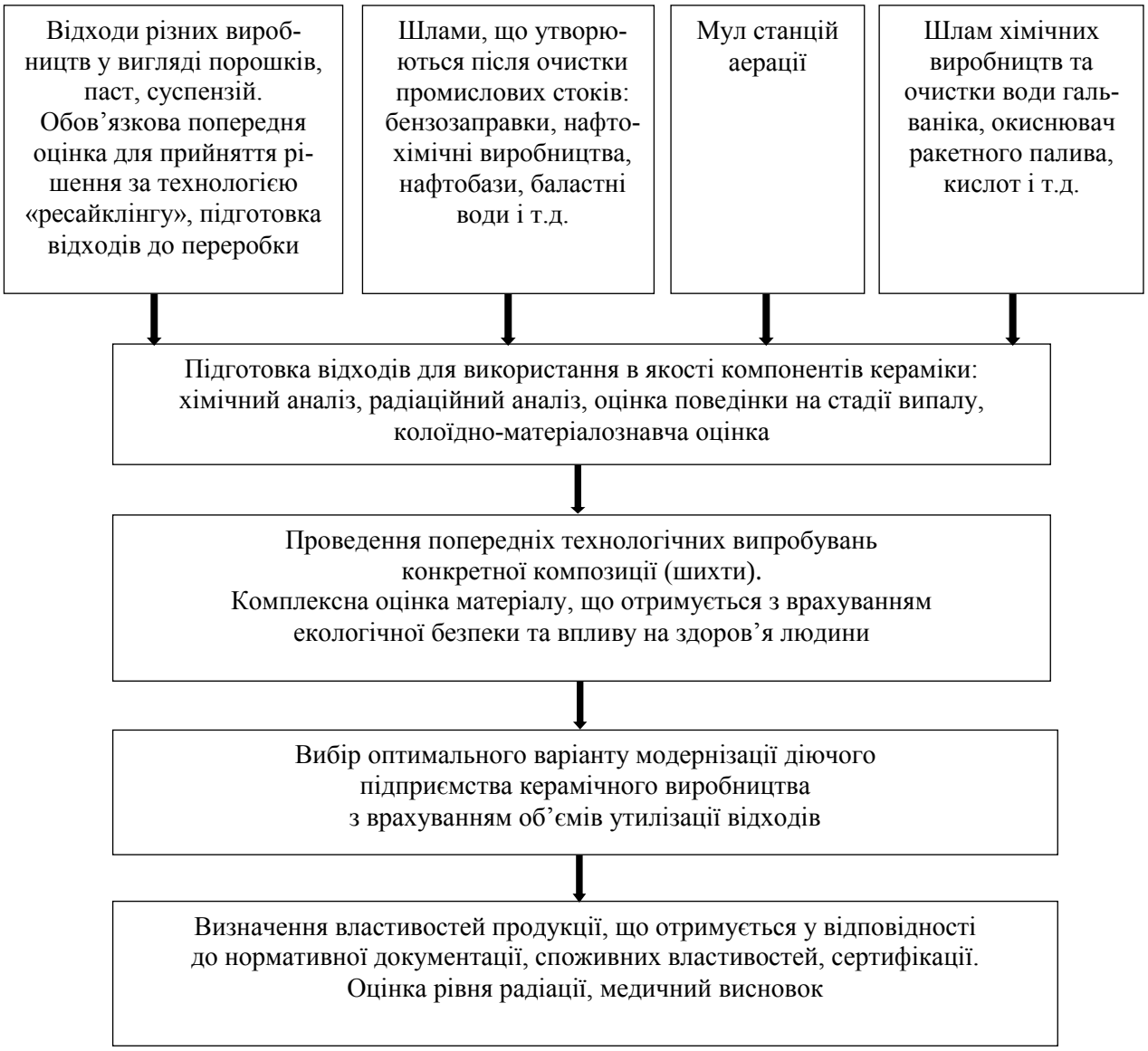



**Рис.1.** Схема інноваційної діяльності за технологією «ресайклінгу»

**Fig.1.** The scheme of innovation technology "recycling"

| Перелік промислово-побутових відходів, що підлягають утилізації | Виробництво, отримані продукти |
|---|---|
| Шлам, що утворюється в результаті очистки прісної і морської води, забрудненої нафтопродуктами | Отримання органомінеральних нанокомпозицій. Сировина для виробництва будівельної кераміки |
| Шлам очистки гальваностоків | Інгредієнти шихти у виробництві будівельної кераміки: цегла, плитка, санітарно-технічні вироби |
| Шлам після нейтралізації травильних розчинів у виробництві стальних труб | Компонент у виробництві будівельної кераміки |
| Продукти переробки мулу станцій аерації | Виробництво технічної кераміки: промислові приміщення, керамічний щебінь |
| Окиснювач ракетного палива, продукт переробки | Отримання нанокомпозитів, інгредієнтів шихти у виробництві керамічних будівельних матеріалів, мінеральні добрива |

**Рис.2.** Перелік технологій і продуктів отриманих при утилізації промислових і побутових відходів

**Fig.2.** The list of technologies and products resulting in the disposal of industrial and domestic waste

Пропонується перелік технологічних рішень з використанням ресайклінгу для отримання керамічного матеріалу різного застосування в будівництві (дорожнє будівництво, керамічний гравій, блоки для господарських споруд) з використанням у якості інгредієнтів шихти для виробництва керамічних виробів, промислових та побутових відходів різної природи (Рис.2).

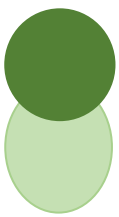
## ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

Відходи промислові, комунальні, господарські, побутові, як штучна, новостворена компонента довкілля, видима кожній людині, є одним з головних чинників, які прямо, безпосередньо, всебічно впливають на якість життєвого середовища в нашій країні. Тож науково-технічна, практично значима розробка технології утилізації відходів є складовою напрямку Сталого розвитку, актуальна і має перспективу використання з конкретним результатом, який сприяє безпечному життю людини [6, 7].

Використання керамічної технології, обов'язковою стадією якої, як відомо, є випал напівфабрикату того чи іншого будівельного виробу, при з температурі 1000°С і вище, що дозволяє зв'язати шкідливі хімічні складові відходів в результаті твердофазної реакції в склад кераміки, як структурний елемент, чи просто фіксація в матеріалі, який не розчиняється у воді і не дає виходу, в навколишнє середовище. Як приклад, є дані тестових вимірювань отриманих нами при використанні природних наномодифікованих алюмосилікатів для очистки гальваностоків з подальшою утилізацією отриманого шламу, як компонентів шихти у виробництві керамічної цегли.

Запропонований проект дозволяє вирішувати проблему захисту навколишнього середовища у 2-х напрямах, а саме: дозволяє утилізувати деякі відходи, які раніше підлягали тільки зберіганню в певних умовах, шлам, відпрацьовані сорбенти, що утворюються після очистки стоків різної природи, а другий напрямок – утилізація відходів будівельного виробництва – кераміка, вапно, пісок, деревина, папір при умові проведення необхідної технологічної підготовки.

Аналіз технологічних властивостей зразків, які досліджуються, показали, що за



ПРОМИСЛОВО-ПОБУТОВІ ВІДХОДИ НА СЛУЖБУ РЕГІОНАЛЬНОМУ ГОСПОДАРСТВУ

всіма класифікаційними позначками, які приведені в ДСТУ Б.В.2.7-26-95 та ДСТУ Б.В.2.7-60-97 шлам, утворений в результаті очистки промстоків наномодифікованими сорбентами, може бути утилізовано шляхом введення в якості добавки в шихту при виробництві цегли керамічної на любому діючому підприємстві.

Є впевненість в тому, що при маніпуляції складом базової шихти та кількості наномодифікованої добавки, можливо буде виявити і інші корисні не виявлені раніше ефекти, які вчені і технологи фіксують при роботі з наносистемами.

В даному випадку вирішальну роль відіграє природа модифікатора, ступінь модифікування поверхні оксиду чи алюмосилікату. Пояснення цьому лежить в площині збільшення дефектності системи, що виникає в процесі випалу відформованого та висушеного зразка, що містить наномодифікований алюмосилікат, стимулює процеси спікання керамічного матеріалу. Результатом цього є підвищена густина кристалізаційних структур, міцності, експлуатаційних та споживних властивостей у цілому аналізуючи отримані раніше результати матеріалу попередніх випробувань, застосування наномодифікованих алюмосилікатів для очистки води забрудненої іонами важких металів, нафтопродуктами (розчинними та у вигляді емульсій), окиснювача ракетного палива, травильних розчинів, можна зробити висновок, що запропонований інноваційний проект має перспективу реалізації. Приведені дані дозволяють з впевненістю констатувати, що наномодифіковані алюмосилікати можуть в широкому плані бути використані у вирішенні глобальних проблем очистки води, проблем захисту навколишнього середовища [8 − 11].

Як приклад, розглядається схема реалізації проекту в частині технології очищення води. Реалізація на виробництві технології потребує проходження ряду етапів, а саме:

- оцінка хімічного складу забруднення та об'ємів стоків;
- ознайомлення з існуючою технологічною схемою та обладнанням для очистки промислових стоків;
- вибір оптимального режиму способу модифікування вибраного сорбенту за критерієм мінімального вибору його маси шляхом проведення тестових випробувань;
- розробка нової технологічної схеми очистки промислових стоків з використанням нового або існуючого обладнання, а при необхідності його модернізації; розробка технологічного регламенту очистки промислових стоків.

Такий підхід відноситься до першого етапу реалізації масштабного проекту – очищення промислових вод і підготовки продуктів водоочистки для використання в технології ресайклінгу.

На Рис.3, 4 наведено загальну схему реалізації ідеї масштабного проекту (у вигляді презентації) за двома напрямками

## ВИСНОВОК

Наведені в статті технологічні рішення теоретично і практично обґрунтовані, випробувані в реальних умовах виробництва. При серйозному підході до вирішення проблем утилізації і екології проект є інвестиційно привабливим. На даний час існує можливість його впровадження з метою вирішення конкретних існуючих проблем очищення господарсько-побутових і промислових стоків, попередження негативного впливу на навколишнє середовище великого переліку різних агресивних сполук і субстанцій. Особливе місце, на нашу думку, займають роботи, пов'язані з очисткою води, у тому числі і морської, забрудненої нафтопродуктами, переробки мулу станцій аерації за технологією «ресайклінгу».

## ЛІТЕРАТУРА

1. **Ребиндер П.А., 1964.** Новая технология дисперсных материалов. Вести АН СССР, Вып.8, 26-28.
2. **Овчаренко Ф.Д., 1979.** Коллоидно-химические явления в процессах получения композиционных материалов. Механика и технология композиционных материалов. София, БАН, 417-421.
3. **Круглицкий Н.Н., 1985.** Вопросы коллоидно-химического материаловедения неорга-

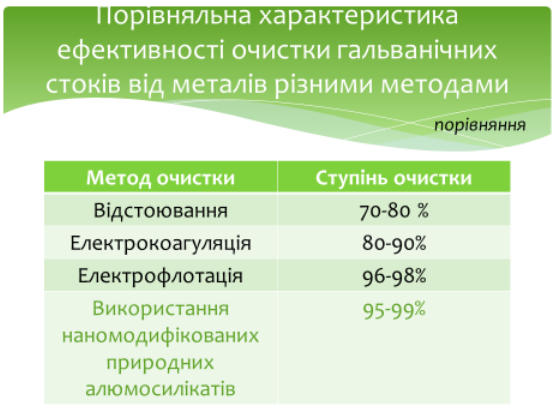
ПЕРШИЙ НАПРЯМОК

**Безвідходна технологія очищення води (стоків)**



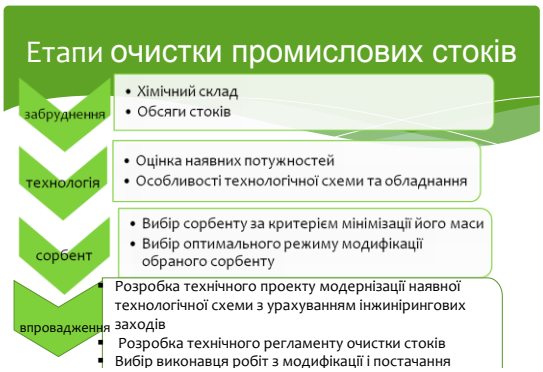






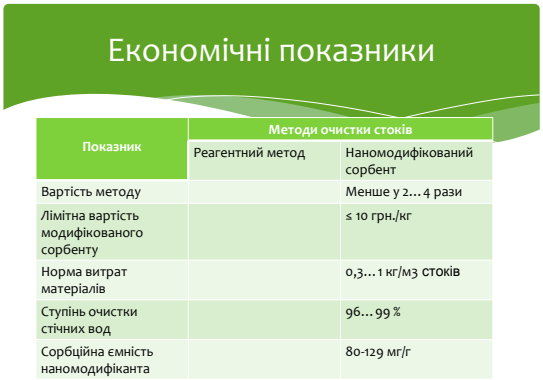












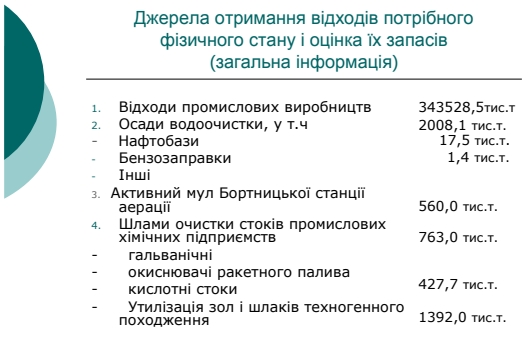




**Рис.3.** Використання відпрацьованих сорбентів (шламу) у виробництві керамічних матеріалів і виробів на базі «ресайклінгу»

**Fig.3.** Use of spent sorbent (sludge) in the production of ceramic materials and products on the basis of "recycling

нических композитов. Физико-химическая механика и лиофильность дисперсных систем, Вып.17, 36-55.
4. **П.И.Куприенко, 2000.** Регулирование коллоидно-химических и технологических свойств. Технические суспензии. Киев, Наукова думка, 287.
5. **Кульский Л.А., Куприенко П.И., Матвиенко Н.И., 1979.** Влияние тепловой обработки на реологические свойства осадков сточных вод. Химия и технология воды, Вип.1-2, 16-19.
6. **Pavlova L.A., Maes A., Wilson M.J., 1999.** Targeted modification of Ukrainian clays for water purification from organic pollutants. Scietific Israel Technological Advantages, Vol.1-3, 43-53.
7. **Куприенко П.И., 2012.** Наномодифицированные природные алюмосиликаты в решении глобальных проблем очистки воды. Матеріали 18 Симпозіуму IGWT технології та інновації для сталого майбутнього: перспектива товарознавства. Рим, 24-28.09.2012.
8. **Petro Kuprienko, 2010.** Colloid-Chemical Science of materials in materials and Goods technology. Матеріали 17-20 Симпозіуму IGWT, 21-25.09.2010. Бухарест, 969-975.
9. **Куприенко П.И., Дюжилова Н.А., Куприенко Н.П., 2016.** Наномодифицированные природные алюмосиликаты в технологии очистки промышленных стоков и производств керамических строительных материалов. Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка, Науково-технічний збірник, Вип.57, 68-76.
10. **Petro Kuprienko, Svetlana Lapovska, Natalia Kuprienko, 2017.** Nanomodified natural aluminum silicates in technology treatment of industrial waste and the production of building materials. Underwater Technologies, Vol.05, 74-83.
11. **Victor Kuhar, Vitalij Kuzminskiyj, Olga Ovchinnikova, 2016**. Broaden options industrial grid water filters. Underwater Technologies, Vol.04, 60-71.

## ДРУГИЙ НАПРЯМОК

### Утилізація відходів з використанням технології «ресайклінгу»




**Рис.4.** Реалізація проекту (початок)
**Fig.4.** Implementation of the project (began)

ДРУГИЙ НАПРЯМОК

## Утилізація відходів з використанням технології «ресайклінгу»

### Техніко-економічне обґрунтування очікуваних результатів

- Оцінка капіталовкладень за етапами розробки:

1 – ФОП, канцелярські товари, зв'язок
2 – 10 тис.грн.
3 – 10 тис грн.
4 – 50-100 тис.грн.
5 – 50-100 тис.грн.
6 – робота виробництва, до 1 тижня
7 – робота комісії з приймання результатів, до 1 тижня
8 – дослідження у часі, до 200 тис грн./рік контрольних випробувань
9 – за результатами конструкторського обґрунтування
10 – державні тарифи
11 – 10% економічного ефекту

### Техніко-економічне обґрунтування очікуваних результатів *продовження*

- Очікувані обсяги виробництва споживання відходів
  200-500 кг/1000 шт. цегли
  500 т. відходів /рік
  виробництво цегли 1000000 шт./рік
  валовий дохід 363 млн. грн./рік
  валова економія від 18,75 млн.грн./рік
  +
  екологічний ефект + соціальний ефект
- Ринкова ціна матеріалів
  щебінь природний 130 грн./т
  глина природна 100 грн./т
  цегла керамічна 2000 грн./1000 шт
- Період повернення капіталовкладень <1 року в масштабах України

### Етапи проекту

1. Визначення джерела відходів.
- Здійснюється шляхом ухвалення рішення регіональною владою

*(джерело фінансування – екологічні платежі і збори)*

- Здійснюється шляхом оголошення тендеру на пріоритетні закупівлі матеріалів

*(джерело фінансування – кошти інноваційно-активних підприємств)*

### Етапи проекту *продовження*

3. Коригування технології
4. Проведення дослідно-експериментальних робіт
5. Розробка техніко-технологічної документації
6. Виготовлення дослідних зразків
7. Оцінка обсягів і потужностей
8. Оцінка техніко-технологічних, техніко-економічних, екологічних показників і властивостей
9. Організація виробництва (діюче підприємство або додаткові виробничі лінії)
10. Сертифікація
11. Коригування поточне і авторський нагляд

### Підтвердження ідеї проекту

- Властивості матричних матеріалів
- Науково-дослідні роботи
- Патенти, авторські свідоцтва
- Публікації результатів наукових досліджень, розробка технологічної документації реалізації конкретних завдань з врахуванням природи відходів і продуктів ресайклінгу
- Досвід країн світу

### Технологічні показники виробництва

- Температура спікання кераміки 1200…1400 С
- Температура вигоряння вуглеводнів ≥ 300 С
- Температура іммобілізації важких Ме ≥ 100 С

### Токсична безпека продукту

Мул Бортницькой станції – складна система нестабільного складу, суміш мінеральних та органічних речовин

| Речовина | Концентрація у мулі, мг/м3 | ГДК, мг/м3 |
|---|---|---|
| Вуглеводні | 300 | 0,013 - 59 |
| Важкі Ме | 0,9 - 77 | 0,023 – 2,5 |

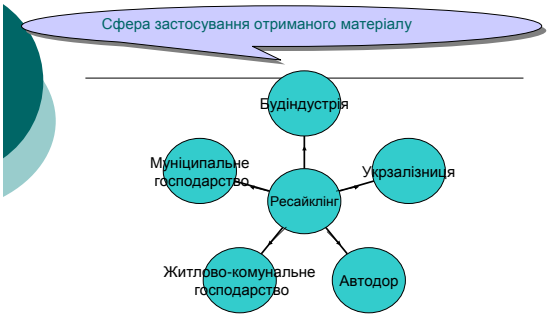



**Рис.4.** Реалізація проекту (закінчення)
**Fig.4.** Implementation of the project (completion)

REFERENCES

1. **Rebinder P.A., 1964.** Novaja tehnologija dispersnyh materialov. Vesti AN SSSR, Vyp.8, 26-28 (in Russia).
2. **Ovcharenko F.D., 1979**. Kolloidno-himicheskie javlenija v processah poluchenija kompozicionnyh materialov. Mehanika i tehnologija kompozicionnyh materialov. Sofija, BAN, 417-421 (in Russia).
3. **Kruglickij N.N. 1985**. Voprosy kolloidno-himicheskogo materialovedenija neorganicheskih kompozitov. Fiziko-himicheskaja mehanika i liofil'nost' dispersnyh sistem, Vyp.17, 36-55 (in Russia).
4. **P.I.Kuprienko, 2000**. Regulirovanie kolloidno-himicheskih i tehnologicheskih svojstv. Tehnicheskie suspenzii. Kiev, Naukova dumka, 287 (in Russia).
5. **Kul'skij L.A., Kuprienko P.I., Matvienko N.I., 1979**. Vlijanie teplovoj obrabotki na reologicheskie svojstva osadkov stochnyh vod. Himija i tehnologija vody, Vyp.1-2, 16-19 (in Russia).
6. **Pavlova L.A., Maes A., Wilson M.J., 1999.** Targeted modification of Ukrainian clays for water purification from organic pollutants. Scietific Israel Technological Advantages, Vol.1-3, 43-53.
7. **Kuprienko P.I., 2012**. Nanomodificirovannye prirodnye aljumosilikaty v reshenii global'nyh problem ochistki vody. Materialy 18 Simpoziumu IGWT tehnologii ta innovacii dlja stalogo majbutn'ogo: perspektiva tovaroznavstva, Roma, 24-28.09.2012 (in Russia).
8. **Petro Kuprienko, 2010**. Colloid-Chemical Science of materials in materials and Goods technology. Materialy 17-20 Simpoziumu IGWT, Buharest, 21-25.09.2010, 969-975.
9. **Kuprienko P.I., Djuzhilova N.A., Kuprienko N.P., 2016**. Nanomodificirovannye prirodnye aljumosilikaty v tehnologii ochistki promyshlennyh stokov i proizvodstv keramicheskih stroitel'nyh materialov. Budivel'ni materiali, virobi ta sanitarna tehnika, Naukovo-tehnichnij zbirnik, Vyp.57, 68-76 (in Russia).
10. **Petro Kuprienko, Svetlana Lapovska, Natalia Kuprienko, 2017.** Nanomodified natural aluminum silicates in technology treatment of industrial waste and the production of building materials. Underwater Technologies, Vol.05, 74-83.
11. **Victor Kuhar, Vitalij Kuzminskiyj, Olga Ovchinnikova, 2016**. Broaden options industrial grid water filters. Underwater Technologies, Vol.04, 60-71.

## Algorithmic sequence of generalized phases of the implementation scale project – a comprehensive solution of ecology problems and recycling industrial and social waste based on «recycling» technology

*Petro Kuprienko, Svetlana Lapovska, Natalia Kuprienko*

**Summary**. Developed the concept of complex decision to specific problems related to pollution problems of environment. The main tool in meeting these challenges – it is used nanomodified natural aluminosilicate in water purification by subsequent recycling of exhaust sorbent and also wastes of different nature as an ingredient of charge at the production of ceramic products.

As an example algorithmic sequence of generalized stages of work in carrying out the project in the water purification section. Lists the water containing additives of different nature and are purified, where work effectively as sorbents based nanosystems based on natural aluminosilicates. Large-scale project is given in the form of presentation and ready for implementation.

**Key words**: aluminosilicates, complete solution, nanomodification, recycling, ceramic products, water treatment products.

# Functioning of filter structures in changing velocity conditions over time

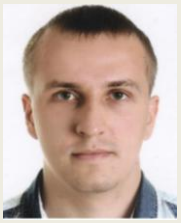
*Kravchuk Oleksandr*

Kyiv National University of Construction and Architecture
31, Povitroflotsky prosp., Kyiv, Ukraine, 03037
kravchuk.oa2@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0001-6578-8896

**Summary.** One of the main constructions, which are used for preparing water of necessary quality, is rapid filter. Functioning of such structures, as a rule, takes place in free-flow regime. Structures operation time depends on two main parameters: water treatment quality and provision of necessary calculated discharge. In this case it is accepted that fluid velocity in a filter bed is constant. In fact, functioning of such structures can differ from reviewed ones. A variant of rapid filters operation under substantial variation of filtration velocity was analyzed in the article. Specific operation conditions of such structures and differential equations, which describe water flow in filter medium and intensity of contaminants removal, were reviewed.

As the result of conducted research, variation over time of suspended particles concentration in the filtrate, filter productivity, quantity of not clarified suspension which accumulates over filter bed under various sorption properties of filter medium was shown. Engineering calculation methodology of filtration structures main characteristics, including technological filtration time, filtration cycle duration and optimal filter media height were suggested. Mentioned calculated relations and equations were illustrated by example series with typical initial data.

**Key words:** filtration, suspension, sediment, filtration cycle, filtrate.



**Oleksandr Kravchuk**
Postgraduate student of the water supply and water sewerage department

## INTRODUCTION

High-quality water delivery for the population and industrial production has always been an important social and technological problem. Thus, the issue of water treatment from different pollution types has been given much attention. The main research directions are how to develop new methods of treatment and improve existing ones [1]. One of the main structures, which are used for that, are rapid filters and other types of filters [2…5], which water delivery is usually carried out under a constant discharge. However, due to insufficient permeability of the filtering material, a layer of water accumulates over its surface in course of time, filtration velocity changes, in which usually takes place at treatment plants with small efficiency. As a result, at the entrance to the filter medium, the increasing head is arisen, which is increasing over time, and is able to significantly accelerate filtration process. On the other hand, under the deposition of suspended solids in the medium pores, which is accompanied by bounding significant water amounts, its hydraulic resistance is increasing, which ultimately leads to an abrupt decrease of the filtering process intensity. In particular, the progressive silting of filter material often limits the operation of water treatment filters [6, 7].

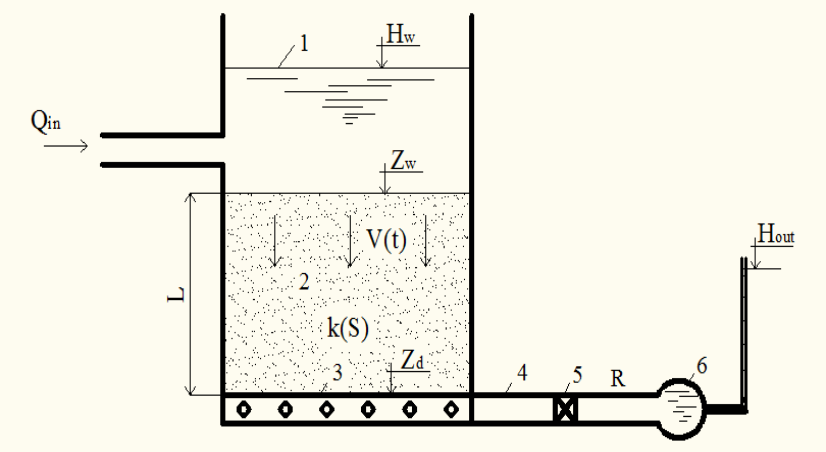



**Fig. 1**. Scheme of the rapid sand filter: *1* − water level above the filter; *2* – filter medium; *3* − collecting pipeline; *4* − pipelines; *5* − valve; *6* − outflow pipeline

The scheme of rapid sand filter is shown in Fig.1.

The study of rapid filters operations over time has been productively engaged by many scientists [8 − 12]. However, existing calculation methods of these structures are rather approximate and do not include many significant factors.

## MATERIALS AND METHODS

In this paper we propose a new approach to the procedure of filtering structures analytical calculation. Mathematical modeling of suspensions clarification in water treatment filters at a filtration velocity that changes significantly over time was conducted [13, 14]. First of all, its variable nature is caused by relatively low filer medium capacity. Thus portion of suspension, which comes into filter under constant discharge, accumulates above medium (Fig.1).

From the very beginning of subsequent filtration cycle water level appears above medium surface, which then during all filtration period gradually increases, what is more irregularly over time. Whereupon the head at the medium inlet accordingly increases, therefore filtration velocity and filter productivity rises. Such filtration intensification is an important result of progressing filter medium siltation and it inevitably leads to the decrease of specified velocity. But specific time slots of water and suspended particles accumulation processes in filter significantly differ, that gives a handle to distinguish the initial stages of water clarification process. Due to its shortness only minimal amount of sediment has time to form in the medium, therefore it is justified to neglect them and considered exceptionally hydraulic aspects of filter operation [15, 16].

For the first stage it is typical for saturated front to form and displace down the medium, which divides it into areas with filled and unfilled by fresh water pores.

The second stage is characterized by fresh water intensive accumulation above the medium surface because of insufficient throughput of as yet factually not silted porous medium.

During the first and the second stage filter is factually only preparing for the third stage of suspension clarification. But because of short duration of the initial two stages they don’t significantly influence the water clarification process on rapid filters. The initial stages are considered in detail in the work [17]. Henceforth the third main stage of filter operation will be considered in the article.

The initial water surface level, which forms above medium, at first rapidly, then slowly increases, forms heightened head at the filter inlet and enhances filtration process. On the contrary, porous bed progressing siltation results in gradual increase of its resistance and, accordingly, in filtration velocity decrease. Thereafter filtration discharge increases during relatively short time period and then monotonically decreases. Significant contribution in

general head loss at the filtration structure can form head loss in disposal communications.

Requested mathematical model of suspensions clarification by filtration under variable velocity consists of three interconnected units – clarified, filtration and hydraulic. Such connection is explained by variability and indeterminacy of filtration velocity, whereupon this units can't be solved consequentially (what was usually done when filtration under permanent velocity was analyzed). Thereby analytical methods application is much more complicated.

The clarification unit includes mass transfer equation

$$V(t)\frac{\partial C}{\partial z}+\frac{\partial S}{\partial t}=0, \qquad (1)$$

linear mass exchange kinetics equation

$$\frac{\partial S}{\partial t}=\alpha(V)\cdot C-\beta(V)\cdot S, \qquad (2)$$

and boundary and initial conditions

$$z=0,\ C=C_0; \qquad t=0,\ S=0, \qquad (3)$$

where: $C$, $S$ are volume concentrations of suspended and deposited suspension particles; $\alpha$, $\beta$ are coefficients of suspended particles adhesion rate and delayed particles separation rate, which according to the literature depend on filtration velocity as follows [18]:

$$\alpha=\alpha_v V^l, \quad \beta=\beta_v V^q, \qquad (4)$$

where: $\alpha_v$, $\beta_v$ are appropriate constant coefficients; $l$, $q$ are empirical constants, which can take significantly variable values depending on the properties of impurities and mechanisms of their delivery to medium grains.

Suspensions filtration, which takes place in the filter bed with height $L$, is described by the motion equation

$$V(t)=-k(S_S)\frac{\partial h}{\partial z}, \qquad (5)$$

where the variation of filtration coefficient under soiling is determined by the formula

$$k=k_0\left[1-\left(\frac{S_S}{n_0}\right)^{m_1}\right]^{m_2}, \qquad (6)$$

the ratio between the solid particles content in sediment is

$$S_S=\gamma(S)\cdot S, \qquad (7)$$

where: $k$, $k_0$ are current and initial filtration coefficients [19]; $S_S$ is volume sediment concentration, which consists of solid particles and bound water; $h$ is piezometric head; $n_0$ is porosity of uncontaminated medium; $m_1$, $m_2$ are empirical coefficients; $\gamma$ is empirical function which characterizes ratio between sediment content and solid particles in it.

The third unit describes the action of not clarified and clarified water in filtration plant before the inlet of medium and after the outlet of it. At that, it is considered that the head in filtrate collector $H_{out}$ is constant, and the surface layer begins to form immediately $(t=0)$. Then the head at the lower feeding border $(z=L)$, including head loss in outflow communications, looks like

$$z=L, \quad h=H_{out}+R\omega^2V^2, \qquad (8)$$

where $R$ is the resistance of outlet communications; $\omega$ is the area of inlet medium surface.

Dynamics of inlet water level is calculated on the basis of its balance equation

$$\omega\frac{dH_w}{dt}=Q_{in}(t)-\omega\cdot V(t), \qquad (9)$$

under the initial condition

$$t=0, \quad H_w=H_m, \qquad (10)$$

where: $Q_{in}$ is water discharge, which comes to the filter; $H_w$ is water level mark over filter bed; $H_m$ is its initial mark (ultimate mark at the second stage).

## RESULTS AND DISCUSSION

As the result of approximate problem solution (1) − (10) by analytical methods, the formulas and equations were received in the work [20].

Using modern mathematical analysis software MathCad allows to define all main filtration process characteristics – concentrations, heads, velocities, levels.

The subject of detailed quantitative analysis is main physic-chemical characteristics and technological parameters which are contained in initial model. Only their relative values were calculated: $\overline{\alpha}_v = \alpha_v L\left(\frac{Q_{in}}{\omega}\right)^{l-1}$ – relative adhesion velocity of contamination particles to medium particles; $\overline{\beta}_v = \beta_v \frac{L}{k_0}\left(\frac{Q_{in}}{\omega}\right)^{q}$ – relative suffusion velocity of contamination particles from medium particles; $\bar{t} = \frac{Q_{in} t}{\omega n_0 L}$ – relative time slot; $L$ – filter bed height; $\overline{C} = \frac{C}{C_0}$ – relative contamination concentration; $C_0$ – initial contamination concentration; $\psi_v = \frac{n_0 L}{\Delta h_0}$; $\Delta h_0 = Z_w - H_{out}$ – head scale; $Z_w$ – inlet surface medium mark; $H_{out}$ – head in filtrate collector; $\overline{R} = \frac{k_0^2 \omega^2 \Delta h_0 R}{L^2}$ – disposal communications relative resistance.

Definitional domains of desired characteristics were selected wide enough. It allows to indicate physic-chemical factors which either improve or complicate clarification process. But due to the limited volume of the article, only the most important relations are illustrated, which directly follow from the filtration task solution under variable velocity over time. At that the following model parameters were fixed: $\overline{\beta}_v = 0{,}01$, $q = 1$, $\overline{\gamma} = 0{,}001$, $\overline{R} = 1$, $\psi_v = 0{,}5$. For exponent $l$ from equation (4) the average of the known in literature value was accepted.

Variation of suspended particles concentration in filtrate, filter productivity, amount of not clarified suspension which accumulates above medium is shown in the first calculation series. The filtration medium sorption capacity varieties from medium $(\overline{\alpha}_v = 5)$ to high $(\overline{\alpha}_v = 9)$.

Fig.2 illustrates the dependence of relative final concentration $\overline{C}_e$ from relative time slot $\bar{t}$.

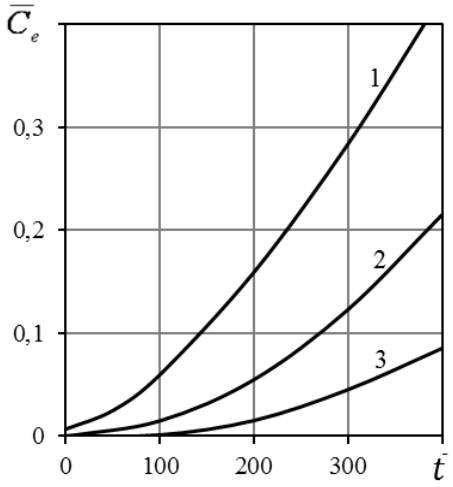



**Fig.2.** Relative final concentration in relation to relative time slot: *1* – $\overline{\alpha}_v = 5$; *2* – $\overline{\alpha}_v = 7$; *3* – $\overline{\alpha}_v = 9$

It allows to draw conclusions, firstly, of the significance of suspended particles primary skip through medium layers, secondly, of deterioration of its separation quality. Obviously the greatest skip takes place under the least value $\overline{\alpha}_v = 5$ (curve 1). In this case less amount of sediment is formed in the filter bed and it allocates much more evenly by its height.

Fig.3 illustrates the dependence of relative filtration velocity from time slot.

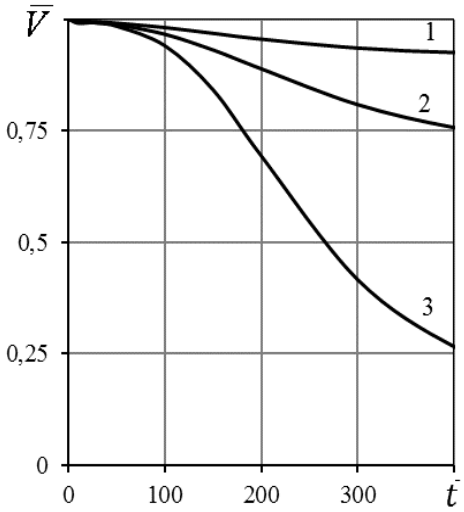



**Fig.3.** Relative filtration velocity in relation to relative time slot: *1* – $\bar{\alpha}_v = 5$; *2* – $\bar{\alpha}_v = 7$; *3* – $\bar{\alpha}_v = 9$

Under not big sorption capacity values (curve 1) minimal filtration velocity decrease over time takes place. Intensified impurities sedimentation on the top part of filter medium (under great $\bar{\alpha}_v$ values, curve 3) leads to sharp filtration velocity and filter productivity decrease.

Fig.4 illustrates the dependence of relative water level above filter medium from relative time slot.

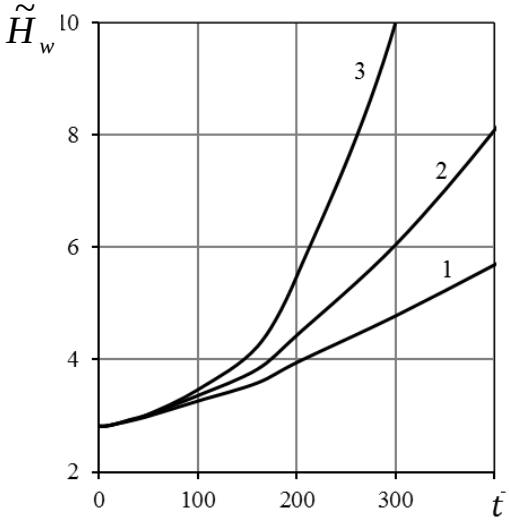



**Fig.4.** Relative water level above filter medium in relation to relative time slot: *1* – $\bar{\alpha}_v = 5$; *2* – $\bar{\alpha}_v = 7$; *3* – $\bar{\alpha}_v = 9$

It witnesses about the considerable increase of water level rise velocity above the medium under increasing material adhesive properties.

On the basis of the derived solution, engineering method for the proof of technological time slots, namely, the time slot of medium protecting action $\bar{t}_p$, the time slot of achieving head loss in filter bed its limit value $\bar{t}_v$ and, most important, the filtration cycles duration $\bar{t}_f$, was elaborated. Moreover, the filtration cycle duration should be assumed the smaller of these two technological time slots. Quality and efficiency criteria of filters operation were involved for this. They regulate the increasing content of suspended solids in the filtrate and filter productivity degradation. That is, by technical and economic calculations it is possible to define specific filtering velocity $\bar{V}_*$, that with less velocity filter further work will be uneconomical.

In the theoretical analysis of clarifying filter effect aforementioned economic criteria should be complemented by quality criteria, which is governed by suspension content in the filtrate. Its observance means, that the concentration of suspension at the medium outlet will not exceed the normative value. For normal filters operation it is necessary to fulfill both criteria simultaneously. Therefore, the key importance is to study patterns of hydrodynamic and physicochemical processes which proceed in the filter bed and over it.

The subject of particular quantitative analysis was physical and chemical characteristics, which were contained in the original model, as well as technological time slots and filtration cycle duration.

Fig.5 shows the dependence of the relative protective action time slot of filter bed $\bar{t}_p$ from its adhesive properties $\bar{\alpha}_v$ under various relative suspension separation velocity $\bar{\beta}_v$. These graphs attest that increasing of relative velocity of inhibited pollutants separation increases the suspension concentration in filtrate, and, consequently, reduces the relative time slot of medium protective action.

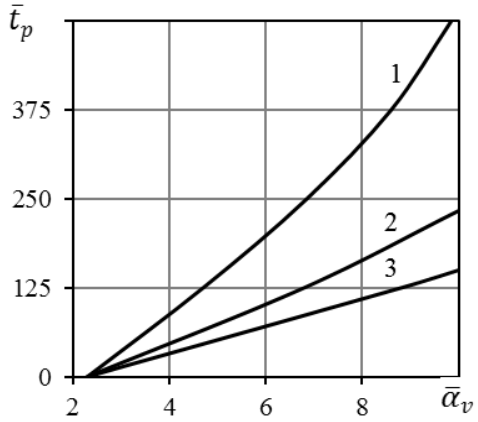



**Fig.5.** $\bar{t}_p$ relation to $\bar{\alpha}_v$ under various relative velocities of suspension separation: $1-\bar{\beta}_v=0{,}01;\ 2-\bar{\beta}_v=0{,}02;\ 3-\bar{\beta}_v=0{,}03$

Fig.6 illustrates the dependence of the relative time slot of filtration velocity decrease $\bar{t}_v$ from adhesive properties of filtering material $\bar{\alpha}_v$ under various relative filtration velocities $\bar{V}_*$. These curves $\bar{t}_v(\bar{\alpha}_v)$ show a sharp time slot decrease $\bar{t}_v$ under increasing adhesive properties of filter bed. Under high values of $\bar{\alpha}_v$ time slot of effective filter work can significantly decrease.

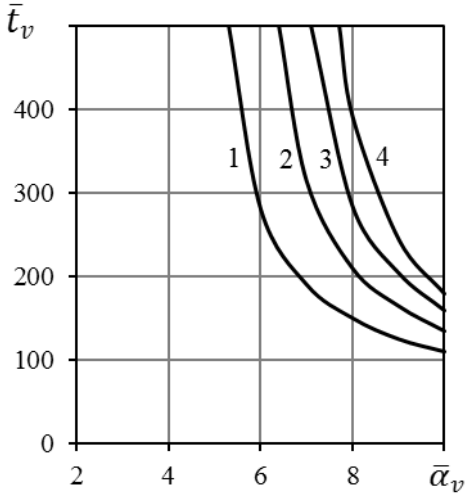



**Fig.6.** $\bar{t}_v$ relation to $\bar{\alpha}_v$ under various relative filtration velocities: $1-\bar{V}_*=0{,}9;\ 2-\bar{V}_*=0{,}8;\ 3-\bar{V}_*=0{,}7;\ 4-\bar{V}_*=0{,}6$

Comparison of the curves in Figures 5 and 6 allows approximately determine the intersection points and appropriate optimal values of filtration cycle duration $\bar{t}_f$ and relative coefficient of particles adhesion velocity $\bar{\alpha}_v$.

In practice, the reliable value of $\bar{t}_f$ allows to start regular filter washing in proper time and thereby to use its clarified resource as much as possible.

However, methods, which follow from this equations and are calculated for theoretical justification of technological time slots and filter bed measure, especially its technologically rational height $L$, have the greatest practical importance. These methods are illustrated by technological time slots calculations as functions of the filter material adhesive properties and innovation construction parameter of relative filter bed height $\bar{L}$, which is equal to ratio of arbitrary value $L$ to its minimum calculated value $L_{\min}$.

Further two typical situations will be considered. They are caused by real opportunities of filtration material supply. In the first case it was received from local manufacturing wastes. So it is cheap and available in almost unlimited amounts. In the second more typical case filtration material is scarce and expensive. So it is necessary to achieve maximum efficiency of filtration material (fix its operating volume) by economical use.

In the first case medium height and volume vary synchronously under constant other parameters.

Theoretical justification methodology of filter bed height is illustrated by the example of calculation of relation to relative filtration cycle duration $\bar{t}_f$ and relative feeding height $\bar{L}$ under various filter material adhesive properties (Fig.7).

At low protective filter feeding capacity ($\bar{\alpha}_v=5$, curve 1) the duration of filter operation is limited by filtrate quality ($\bar{t}_f=\bar{t}_p$). At high protective filter material capacity ($\bar{\alpha}_v=9$, curve 3) the opposite pattern is observed and filtration cycle duration is limited only by filter efficiency decrease ($\bar{t}_f=\bar{t}_v$). At intermediate value $\bar{\alpha}_v=7$ (curve 2), in the beginning filtering process is limited by medi-

um protective properties, later on – by its soiling, and as a result, filtration velocity decreasing. Thus, at the first interval $\bar{t}_f = \bar{t}_p$, at the second interval – $\bar{t}_f = \bar{t}_v$.

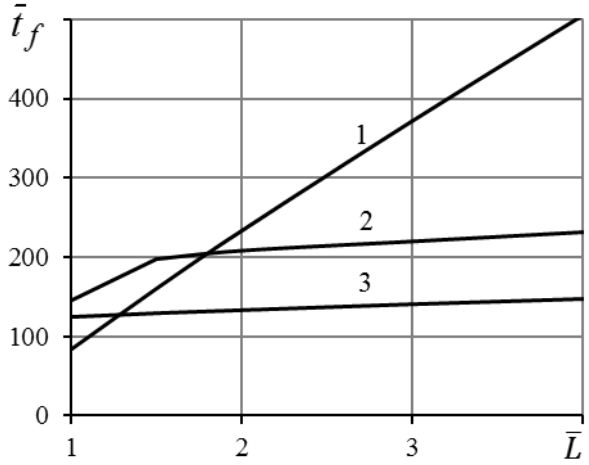



**Fig.7.** Relation $\bar{t}_f(\bar{L})$: *1* – $\bar{\alpha}_v = 5$; *2* – $\bar{\alpha}_v = 7$; *3* – $\bar{\alpha}_v = 9$

It is obvious, that at low filter material adhesion capacity, the increase of $\bar{L}$ leads to sharp filtrate quality improvement and, as the result, extension of filter uninterrupted operation (curve 1). In the case of mild or high adhesive material capacity, the increase of $\bar{L}$ affects filtration cycle duration $\bar{t}_f$ much less (curves 2, 3), at that, obviously curve 2 prevails, due to more even sediment distribution in the feeding.

Fig.8 illustrates the case with fixed volume.

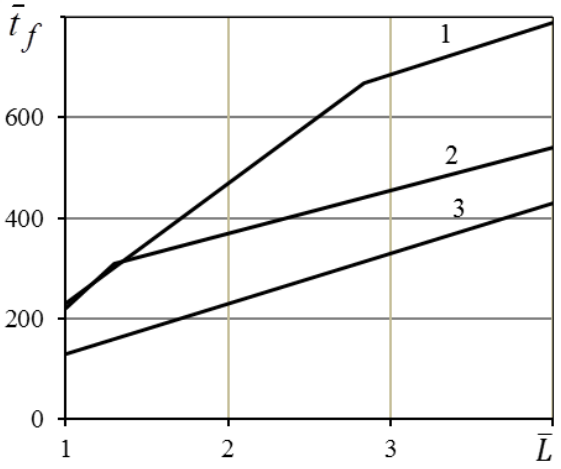



**Fig.8.** Relation $\bar{t}_f(\bar{L})$: *1* – $\bar{\alpha}_v = 5$; *2* – $\bar{\alpha}_v = 7$; *3* – $\bar{\alpha}_v = 9$

In the second case in technological calculations it is necessary to consider that operating volume is constant (*W*=const). Only medium height and concerted medium surface area are varied.

At high protective capacity (curve 3) the filtration cycle duration of filtration cycle is analogously limited only by filter efficiency decrease ($\bar{t}_f = \bar{t}_v$). At low and intermediate protective feeding capacity (curve 1, 2), at first the filtering process is limited by medium protective properties, later on – by its soiling, and as a result, filtration velocity decreasing. Thus, at the first interval $\bar{t}_f = \bar{t}_p$, at the second interval – $\bar{t}_f = \bar{t}_v$.

The increase of medium height leads to medium surface area decrease and filtration velocity increase. At the same time suspended particles adhesion and sediment particles suffusion increases. It explains higher location of analogous curves at Fig.8.

## CONCLUSIONS

1. Filter productivity can essentially vary over time without velocity regulators. Disposition of such variations complicates because of not clarified water accumulation above the medium layer. Intensive raise of water level and appropriate filtration velocity increase takes place mainly at the beginning of filtration cycle. Then because of progressing filtration material sedimentation this velocity decreases gradually and greatly.

2. There are two initial stages of suspension clarification before the main one. Formation of surface water layer under medium pores filling takes place during the first stage. The rapid raise of this layer under almost clean medium takes place during the second stage.

3. Derived analytical solution of a mathematical filtering task allows to predict the spatial and temporal variations of main filtration characteristics: suspended and sediment particles concentrations, filtration discharge dynamics and water level above medium.

4. The key technological parameter is filtration cycle duration, which should be deter-

mined on the basis of clarified water quality criteria and filter operating efficiency.

5. Based on the derived relations, calculation methods of filter medium protective action time slot, achieving the maximum admissible head loss, filtration cycle duration and rational filter bed height were evolved.

6. Summarizing the results of numerous calculations, it can be maintained that unsuccessful choice of filtering material can lead to a significant reduction of filter continuous operation time slot and, as the result, wash water over-expenditure.

7. It is seen from analysis of relations $\bar{t}_p$, $\bar{t}_v$, $\bar{t}_f$ from the value $\bar{L}$, that $\bar{L}$ increasing is able to improve the filtrate quality to a great extend, increase head loss to a lesser degree. But final selection of value $\bar{L}$ in this case is possible only including feeding value and its washing energy loss. If filter medium volume and filter productivity are considered to be constant, the necessity of technical and economical approach to justification of rational value $\bar{L}$ disappears.

REFERENCES


1. **Epoyan S.M., 2013.** Increasing of drinking water treatment structures efficiency. HNAGH, Kharkiv, 190 (in Russian).
2. **Kastalskiy A.A., Mints D.M., 1962.** Water preparation for drinking and industrial water supply. Higher school, Moscow, 558 (in Russian).
3. **Orlov V.O., 2005.** Water treatment filters with granular feeding. NUVGP, Rivne, 163 (in Ukrainian).
4. **Kukhar V., Kuzminskyi V., Ovchynnykova O., 2016.** Broaden options industrial grid water filters. Underwater Technologies, No 4, 60-71 (in Russian).
5. **Kuprienko P., Lapovska S., Kuprienko N., 2017.** Nanomodified natural aluminum silicates in technology treatment of industrial waste and the production of building materials. Underwater Technologies, No 5, 74-83.
6. **Grabovskiy P.A., Gurinchik N.A., 2008.** Water filtration through a granular layer under variable velocity. Water and ecology. Problems and decisions, Vol.37, No 4, 3-11 (in Russian).
7. **Deb A., 1969.** Theory of sand filtration. Journal of the sanitary engineering division, Vol.95, 399-422.
8. **Shehtman Y.M., 1961.** Filtration of low-concentration suspension. AS USSA, Moscow, 212 (in Russian).
9. **Mints D.M., 1964.** Theoretical basis of water treatment technology. Stroiizdat, Moscow, 155 (in Russian).
10. **Zhurba M.G., 1980.** Water treatment on granular filters. Higher school, Lviv, 200 (in Russian).
11. **Fominykh A.M., 1980.** Technological modelling and calculation of filters. Water supply and sanitary engineering, No 12, 4-6 (in Russian).
12. **Ives K., 1969**. Theory of filtration. Special subject. London Inst. Water Supply Assoc., No 7, 3-28.
13. **Grabovskiy P.A., Larkina G.M., Progulny V.I., 2012.** Washing of water-treatment filters. Drainage, wash water runoff. Optimum, Odesa, 240 (in Russian).
14. **Akgiray O., Saatci A., 1998.** An algorithm for bank operation of declining rate filters. Water Resources, Vol.32, No 7, 2095-2105.
15. **Elric D.E., Parkin G.W., Reynolds W.D., Fallow D.J., 1995.** Analysis of early-time and steady-state single ring infiltration under falling head conditions. Water Resources. Vol.31, 1883-1893.
16. **Neuman S.P., 1976.** Hydraulic head at the wetting front in the Green-Ampt model. Water Resources, Vol.12, 564-566.
17. **Polyakov V.L., Kravchuk O.A., 2015.** On hydraulics of water-treatment free-flow filters at the initial filtration stages. Problems of water supply, water disposal and hydraulics, Kyiv, Vol.25, 223-232 (in Russian).
18. **Senyavin M.M., Venitsianov E.V., Ayukaev R.I., 1977**. On mathematical models and engineering calculation methods of natural water filtration process. Water resources, No 2, 157-170 (in Russian).
19. **Kayastha K., 2015.** Application of bell type water well with wide gravel filter. Underwater Technologies, No 1, 65-76 (in Russian).
20. **Polyakov V.L., Kravchuk O.A., 2015.** Mathematical modeling of suspension clarification under substantially variable velocity. Bulletin of ODABA, Odesa, Vol.59, 328-334 (in Russian).

## Работа фильтровальных сооружений в режиме изменения скорости со временем

*Александр Кравчук*

**Аннотация.** Одними из основных сооружений, которые используются для подготовки воды необходимого качества, являются скорые фильтры. Работа таких сооружений, как правило, происходит в безнапорном режиме. Время работы фильтра зависит от двух основных параметров: качество очистки воды и обеспечение необходимого расчетного расхода. При этом принимается, что скорость движение жидкости в теле фильтра является постоянной. В реальности характер работы таких сооружений может отличаться от рассмотренных. В представленной работе проанализирован вариант работы скорого фильтра при существенно изменяющейся со временем скорости фильтрования. Рассмотрены конкретные условия работы таких сооружений и дифференциальные уравнения, которые описывают процесс движения воды в фильтрующей среде и интенсивность удаления загрязнений из нее.

В результате проведенного анализа показано изменение со временем концентрации взвешенных веществ в фильтрате, производительности фильтра, количества неосветленной суспензии, которое накопилось над загрузкой при разных значениях сорбционной способности фильтрующего материала. Предложена методика инженерного расчета основных характеристик фильтрующих сооружений, в том числе технологических времен фильтрования, длительности фильтроцикла и оптимальной высоты фильтрующей загрузки. Приведенные расчетные зависимости и уравнения иллюстрируются серией примеров с типичными исходными данными.

**Ключевые слова**: фильтрация, суспензия, осадок, фильтроцикл, фильтрат.

# Bezpieczeństwo ekologiczne oraz niezawodność eksploatacyjna obiektów budowlanych na terenach poddanych wpływom osuwisk

*Walery Wysoczański*[1], *Stanisław Fic*[2]

[1]Wyższa Szkoła Bezpieczeństwa i Organiacji Pracy w Radomiu
13/19, ul. Mokra, Radom, 26-600
wyswal@wp.pl, orcid.org/0000-1008-1955-1962
[2]Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury
40, st., Lublin, 20-618, s.fic@pollub.pl, orcid.org/0000 1410-1917-2017

**Adnotacja**. We współczesnym świecie występuje intensywna ingerencja antropogeniczna w środowisko naturalne i wywołuje ona zjawisko aktywizacji procesów egzogenicznych. Ogromne straty można zaobserwować na różnego typu budowlach, jak na rysunku1. Przy tym zniszczeniu ulegają domy, budowle przemysłowe, różnego typu drogi, trasy kolejowe, linie elektryczne, rurociągi itp.

Osuwiska, lawiny, zaktywizowane trzęsienia ziemi powodują coraz poważniejsze zniszczenia w/w obiektów. Sposobem na zapobieganie efektom tych oddziaływań jest przewidywanie ich przebiegu i zawiadomienie o niebezpieczeństwie: zniszczeń, awarii katastrofy globalnej, etc. Jedną z metod badania dynamiki osuwisk, jak i zjawisk tego typu, mogą być badania akustoreologiczne.

**Słowa kluczowe**: akustoreologia, osuwisko, naprężenia, procesy egzogeniczne, bezpieczeństwo ekologiczne.



**Walery Wysoczański**
Wykładowca akademicki
Instytutu Budownictwa
Dr inż.



**Stanisław Fic**
Kierownik katedry Budownictwa Ogólnego
Dr hab, Prof.

Nagłe przemieszczenie się mas ziemnych, powierzchniowej zwietrzeliny i mas skalnych podłoża spowodowane jest najczęściej siłami przyrody lub działalnością człowieka (podkopanie stoku lub jego znaczne obciążenie).

Zjawisko to zwane jest osuwiskiem, czyli ruchami masowymi, polegającymi na przesuwaniu się materiału skalnego, lub zwietrzelinowego, wzdłuż powierzchni poślizgu, (na której nastąpiło ścięcie), połączone z obrotem.

Ruch ogromnych mas gruntu zachodzi pod wpływem siły grawitacyjnej. Osuwiska są szczególnie częste w obszarach o sprzyjającej im budowie geomorfologicznej, gdzie w warstwach gruntów przepuszczalnych i nieprzepuszczalnych występują naparzenia zmienne.

Miejsca występowania osuwisk, to naturalne stoki, zbocza dolin i zbiorników wodnych oraz obszary źródłowe rzek (gdzie erozja wsteczna zwiększa spadek terenu), skarpy wykopów, nasypów oraz wyrobisk.

Ostatnie są zaktywizowane ingerencja w naturę człowieka, czyli wpływami antropogenicznymi.

## PRZYCZYNY POWSTAWANIA OSUWISK I ICH ZAPOBIEGANIE

- Wzrost wilgotności gruntu spowodowany długotrwałymi opadami lub roztopami;
- Podcięcie stoku przez erozję, np. w dolinie rzecznej lub w wyniku działalności człowieka, np. przy budowie drogi;
- Nadmierne obciążenie stoku, np. przez zabudowę;
- Wibracje związane np. z robotami ziemnymi, ruchem samochodowym, eksplozjami, trzęsieniem ziemi.

Stateczność zboczy jest jednym z podstawowych zagadnień geotechniki. Zbocze jest stateczne, gdy nie występują w nim ruchy masowe, takie jak osuwiska czy zsuwy. Miarą stateczności jest stosunek sił lub momentów sił dążących do zachowania równowagi, do sił lub momentów sił, dążących do osunięcia.

Ocena stateczności skarp i zboczy polega na wyznaczeniu minimalnego wskaźnika stateczności $F$ i porównania go ze wskaźnikiem dopuszczalnym dla danej konstrukcji ziemnej, np. nasypu drogowego.

Zbocze jest uważane za stabilne, gdy $F > 1$, czyli siły stawiające opór przemieszczeniu są większe niż siły dążące do przemieszczenia mas gruntu, jednak wymagane wskaźniki dla różnych budowli wahają się zazwyczaj w granicach 1,2...1,5.

Zagadnienie oceny stateczności skarp i zboczy obejmuje analizę statyczną i dynamiczną stabilności zboczy: zapór, nasypów, wykopów itd. W przypadku zboczy zbudowanych z gruntów luźnych mogą rozwijać się sferyczne strefy charakteryzujące się osłabioną wytrzymałością.

Prawdopodobieństwo tego zdarzenia można przewidzieć posługując się prostymi pakietami do analizy dwuwymiarowej. Podstawową trudnością w analizie stateczności zboczy jest ustalenie miejsca najbardziej prawdopodobnych przemieszczeń oraz znajomość warunków wodnogruntowych.

Wiele osuwisk może być analizowanych jedynie po wypadkach, które następują, gdy siły prowadzące do przemieszczenia przekraczają stabilizujące siły tarcia w gruncie.

### Skutki osuwisk

Skutkami osuwisk często są zniszczenia w infrastrukturze, domach, nieraz w całym ekosystemie. Osuwiska powodują rozległe w skutkach zniszczenia, wynikające z ogromnej, niszczącej siły, której budowle nie są w stanie przetrwać. Zjawisko to można porównać do działania buldożera uderzającego z dużą prędkością i masą w nieruchomy obiekt.

### Osuwiska w Polsce

Osuwiska w Polsce występują najczęściej w Beskidach. Rzadziej w Sudetach czy na skarpie wiślanej. Tak w roku 2010 tylko w Małopolsce wystąpiło ponad 1300 osuwisk. Głównie: w gminie Lanckorona − powiat wadowicki. Więcej niż 100 przypadków!

W powiecie limanowskim, gmina Laskowa około 30 przypadków, a w powiecie nowosądeckim około 200 przypadków. Głównie w gminie Łososina Dolna, aż około 111. W gminie Gródek nad Dunajcem zostało zniszczonych około 65 domów i uszkodzonych i zagrożonych uszkodzeniem zostało ponad 1000 domów. Około 500 osób przesiedlono.

Osuwiska uszkodziły również budynki i infrastrukturę w powiecie myślenickim (prawie 90 osuwisk), wielickim, nowosądeckim (ponad 50), nowotarskim, oświęcimskim, suskim (głównie w Zembrzycach), tarnowskim, bocheńskim, brzeskim, miechowskim oraz w Krakowie i Nowym Sączu.

Z powodu ulewnych opadów droga 975 całkowicie osunęła się do Jeziora Rożnowskiego w Kurowie i osunęło się również zbocze krakowskiego kopca Piłsudskiego.

W czerwcu uaktywniły się następne osuwiska. W Kłodnem zniszczonych zostało 30 budynków, a kolejne zostały zagrożone. Z wioski ewakuowano 434 osoby.



**Rys.1.** Osuwisko w Kolonii Prusów koło Milówki (Śląskie) 6 września 2010 r. [20]

**Fig.1.** Landslide in Colony Prusów near Milówki (province śląskie) 6 september 2010 [20]

Uaktywniły się także osuwiska w miejscowości Łapszanka i Szczawnica w powiecie nowotarskim, w Mniszku nad Popradem oraz w gminie Tuchów, gdzie doszło przez to, do wykolejenia pociągu osobowego.

W Krzeczowie osuwisko na kilka godzin zatarasowało drogę krajową nr 7, podobnie w Tenczynie. Osuwiska nastąpiły również na wielu innych drogach, które zostały czasowo zamknięte (m.in. na drogach krajowych: w Radoczy, Czchowie, Wytrzyszczkach, czy w Muszynce). Na Podkarpaciu zagrożonych nimi pozostało ponad 240 budynków i kilkanaście mostów. Najbardziej zagrożone tereny to powiaty: jasielski, strzyżowski (145 budynków), dębicki (52 budynki), rzeszowski (23 budynki). W 2001 roku osuwisko w Lachowicach zniszczyło 15 zabudowań mieszkalnych, osuwisko w Jachówce zagroziło osiedlu Starczówka natomiast osuwisko w Nowym Sączu zniszczyło kilka zabudowań mieszkalnych i gospodarczych. Zagrożenie osuwiskami rośnie niestety gwałtownie.

**Metody zapobiegania osuwisk**

Osuwiskom, jak wiadomo, można zapobiegać poprzez odwodnienie mało stabilnego terenu, zagęszczanie gruntu, poprzez wbijanie pali, zagęszczenie stabilnym kruszywem.

Naturalnym sposobem zwiększania stateczności zboczy jest sadzenie drzew, które mają bardzo dobrze rozwinięty system korzeniowy zwiększający stateczność gruntu. Osuwisko w Kolonii Prusów, koło Milówki (6 września 2010), pokazano zostało na Rys.1, a osuwisko w 2001 r. w San Salvador, pokazano na Rys.2.

## OPRACOWANIE PODSTAW TEORETYCZNYCH AKUSTYCZNEJ METODY BADANIA DYNAMIKI OSUWISK

O możliwościach stosowania fal UZ do badań procesów reologicznych, mówiono już od połowy lat 60-tych ubiegłego stulecia [1 – 3, 11]. Jeden z autorów zaproponował już w latach 70-tych badać dynamikę naprężeń tą



**Rys.2.** Osuwisko w San Salvador 2001 r. [21]

**Fig.2.** Landslide in San Salvador 2001 [21]

metodą w rurociągu, w ciele osuwiska [7, 8, 14].

Niebawem, wspólnie z A. N. Biełonienko, doszedł on do wniosku o możliwości badania dynamiki osuwiska za pomocą fal akustycznych, stosując model Naviera-Stokesa [2, 14].

W latach 60-tych XX w. w nauce zostało stwierdzono, że zmiany właściwości fizycznych warstw na powierzchni płynącego masywu błotnego, można zbadać za pomocą metod akustycznych, zastosowując fale Raylegh'a. Badania, tego typu falami UZ, jak i niektórymi innymi, stosowano w technice dużo wcześniej.

Wiadomo jednak, że natura osuwisk skalnych oraz zachodzące w nich procesy reologiczne są nieco odmienne od osuwisk piaszczystych i błotnych [4...6, 10]. Do badania jednorodnych mas osuwiskowych o dużej lepkości metody akustyczne stosować jest łatwiej. Stwierdzono, że wykorzystanie metod akustycznych fizycznych, ich wzmocnienie poprzez modelowanie matematyczne oraz symulację komputerową, może być też stosowane np. do badania niezawodności eksploatacji obiektów liniowych, m.in. rurociągów zagrożonych osuwiskiem [7...9].

Ważny jest przy tym zarówno sposób wytwarzania i wprowadzania fal, wybór ich typu [12], jak i poprzedzające badanie podstaw teoretycznych procesu sondowania ciała osuwiska [15...17, 19]. Bardzo ważnym jest ustalenie odpowiedniego modelu matematycznego itp.

Zbadanie naprężeń w osuwającym się gruncie, mechanizmu odziaływania gruntu oraz współpraca z rurą w ciele osuwiska lub wyprowadzonego na jego powierzchnię, jest bardzo ważne dla bezpieczeństwa eksploatacji. Do diagnozowania naprężeń w ścianie samej rury, pracującej w ciele osuwiska, jak również i wyprowadzonym na powierzchnie osuwiska, można stosować różne podejścia naukowo-praktyczne. Zastosowanie aktualnych fal akustycznych, realizacja teorii akustosprężystości, w tworzeniu modeli fenomenologicznych, wybór prawidłowych

równań deterministycznych, jest przy tym zadaniem arcyważnym.

W ramach badań kompleksowych osuwisk, ten że współautor zajmował się i badaniem naprężeń w osuwisku na podstawie zmian potencjału elektrycznego na powierzchni (początek lat 80. ubiegłego wieku). Wiele zgromadzonych wówczas materiałów potwierdziło dobrą korelację między potencjałem elektrycznym i naprężeniami w osuwisku.

Metoda ta została zaakceptowana przez UAN. Z powodu ograniczonych środków na badania, teoretyczno-praktyczne, metody tej nie wdrożono w przemyśle. Podkreślić jednak należy jej wysoką przydatność do badań w ekstremalnych warunkach polowych.

Podobne badania symulacyjne procesów reologii materiałów, sprężysto-plastycznych, plastycznych i hiperplastycznych deformacji materiałów prowadził, w latach 90-tych Stanisław Jemioło (PW). Dyssypację energii podczas deformacji plastycznych z wykorzystaniem termowizji badała w latach 90-tych ubiegłego stulecia także i Wiera Oliferuk (IPPT, PAN), a wcześniej, tam, że badania anizotropii materiałów, z zastosowaniem fal ultradźwiękowych, prowadził akustyk-praktyk prof. Julian Deputat.

Jeden z autorów niniejszego opracowania wykazał, że otrzymane dane pozwoliły uznać metodę akustyczną jako priorytetową w badaniach dyssypacji energii, w tym i w procesach reologicznych, zachodzących w osuwiskach.

Badanie dynamiki osuwiska poprzez poznanie podstaw teoretycznych procesu dyssypacji energii można przeprowadzać, stosując znane równanie Naviera - Stokesa.

Ciało osuwiska rozpatrywane jest, jako wszechstronnie ściśnięte-rozszerzone gęste środowisko, uwzględniając jego ruch z prędkościami bardzo zróżnicowanymi w ciągu roku nawet do jednej minuty. Jako parametry wystarczająco informatywne wybrane zostały lepkości poślizgowa oraz objętościową.

Stosując jako parametr informacyjny, bazową lepkość objętościową i współczynnik wzięty z równania Naviera-Stokesa, można badać ruch masy osuwającej się z prędkością od jednego mikrometra na godzinę.

Ponieważ lepkość objętościowa może być nie tylko porównywalna z lepkością poślizgową, ale i być większa od niej o kilka rzędów wielkości, to nawet przy niewielkich zmianach gęstości masywu izotropowego czy quasi-izotropowego (lub odrębnych części obsuniętego masywu), naprężenia we wszystkich kierunkach (3D) mogą być bardzo wielkie.

Z tego względu, charakteryzując ruch osuwiska jako prąd gęstej o bardzo wysokiej lepkości masy, wspomniane wyżej równanie Naviera-Stokesa, w wypadku ogólnym, wygląda następująco:

$$\rho\frac{d\upsilon^i}{dt}=g^{ij}\left\{\begin{array}{l}-\nabla_i P\nabla_j\left[\left(\eta_\upsilon-\frac{2}{3}\eta_s\right)\nabla_n\upsilon^n\right]+\\ \eta_S\nabla_j\nabla_n\upsilon^n\end{array}\right\}+$$
$$+g^{ij}\nabla_n\eta_s\nabla_j\upsilon^n+g^{mn}\nabla_n\left(\eta_s\nabla_m\upsilon^i\right), \qquad (1)$$

gdzie:

$\rho$ – gęstość masywu gruntu osuwiska;

$\upsilon^i$ – prędkość płynięcia gruntu;

$\eta_\upsilon i\eta_s$ – współczynniki lepkości objętościowej oraz poślizgowej;

$g_{ij}$ – tensor metryczny.

Zmienne człony równania charakteryzujące ściskanie:

$$\nabla_n\upsilon^n=-\frac{1}{\rho}\times\frac{d\rho}{dt} \qquad (2)$$

zaczynają mieć znaczenie w ostatnim równaniu pod warunkiem, że entropia:

$$S=\frac{\left|\text{grad}\left[\left(\eta_v-\frac{2}{3}\eta_s\right)\nabla\upsilon_n\right]+\eta_s\,\text{grad}\left(\nabla_n\upsilon^n\right)\right|}{\left|\text{grad}\ P\right|} \qquad (3)$$

będzie bliska 1.

Rozpatrując dynamiczny proces osuwiskowy, jako ustalony ruch jednowymiarowy:

$$\left(\upsilon^i\right)=\left(U(X),0,0\right) \tag{4}$$

oraz współczynniki lepkości o wartościach stałych, mamy:

$$\left|\operatorname{grad}\left[\left(\eta_v-\frac{2}{3}\eta_s\right)\nabla\upsilon_n\right]+\eta_s\operatorname{grad}\left(\nabla_n\upsilon^n\right)\right|=$$
$$=\left(\eta_\upsilon+\frac{1}{3}\eta_s\right)\left|\omega\left(2\frac{\rho x^2}{\rho^2}-\frac{\rho_{xx}}{\rho}\right)\right|. \tag{5}$$

Jeżeli pominąć $\rho_{xx}$ i uwzględnić, że:

$$\frac{\rho_1 x}{\rho P_x}=\frac{1}{\rho}\frac{dP}{d\rho}=\frac{1}{\rho c^2}=\beta, \tag{6}$$

gdzie:

$c$ – prędkość rozchodzenia się fali w środowisku sprężystym (ciele osuwiska);

$\beta$ – jego uciskalność, to otrzymamy:

$$S=2\left(\eta_\upsilon+\frac{1}{3}\eta_s\right)\frac{\left|P_1x^u\right|}{\rho^2c^4}=$$
$$=2\left(\eta_\rho+\frac{1}{3}\eta_s\right)\frac{1}{\rho^2c^4}\left|\frac{\Delta P}{\Delta L}U\right|= \tag{7}$$
$$=2\left(\eta_\rho+\frac{1}{3}\eta_s\right)\beta^2\left|\frac{\Delta P}{\Delta L}U\right|.$$

Dla ustalonego płynięcia gruntu, przy jednostajnym ruchu ($\eta_\upsilon$ i $\eta_s$ – są zmiennymi), parametr $S$ zmienia się istotnie.

Na przykład, jeżeli:

$$\eta_s=\eta_{s_o}e^{\alpha P}(\alpha>0);\eta_\nu=\eta_{\nu_o}e^{\alpha P},$$

to $$\left|S_1-S_2\right|\le S\le S_1+S_2, \tag{8}$$

gdzie:

$$S_1=2\left(\eta_\nu+\tfrac{1}{3}\eta_s\right)\beta^2\left|\frac{\Delta P}{\Delta L}U\right|, \tag{9}$$

$$S_2=\left(\eta_\nu+\tfrac{2}{3}\eta_s\right)\alpha\beta\left|\frac{\Delta P}{\Delta L}U\right|. \tag{10}$$

Scharakteryzujmy proces obsunięcia poprzez entropię:

$$\rho T\frac{dS}{dT}=\eta_\nu\left(\nabla\upsilon^n\right)^2+2\eta_s e^{S_{ij}}+e_{ij}^S+$$
$$+g^{ij}\nabla_j\left(k\nabla_jT\right)+\varepsilon=\eta_\nu\left(\nabla\upsilon^n\right)^2+\Phi, \tag{11}$$

gdzie:

$T$ – temperatura absolutna;

$S$ – entropia;

$e_{ij}^s$ – część bezśladowa tensora prędkości deformacji;

$k$ – współczynnik przewodnictwa ciepła;

$\varepsilon$ – dopływ ciepła niezwiązany z lepkością i przewodnictwem ciepła.

Wprowadźmy parametr charakteryzujący wydzielenie ciepła kosztem deformacji wszechstronnej:

$$Q=\frac{kS_1}{\left|2\rho T\frac{dS}{dT}\operatorname{sign}\left(U_1\rho_{1x}\right)-kS_1\right|}=$$
$$=\frac{kS_1}{\left|2\rho\left(\frac{dU}{d\rho}-\frac{P}{\rho}\beta\right)\operatorname{sign}\left(U_1\rho_{1x}\right)-kS_1\right|}, \tag{12}$$

gdzie: $$k=\frac{\eta_\nu}{\left(\eta_\nu+\frac{1}{3}\eta_s\right)}. \tag{13}$$

Przy dyssypacji energii, czyli wydzieleniu ciepła, rolę lepkości objętościowej wyznacza się, zatem parametrem S. Jeżeli entropia jest mniejsza od 1, to wydzielenie ciepła też jest mniejsze od 1, a jeżeli entropia jest większa od 1, to wydzielenie ciepła zbliża się do 1.

Przy niektórych reżimach ruchu osuwiska:

$$\left(\left|2\rho\left(\frac{dU}{d\rho}-\frac{P}{\rho}\beta\right)\operatorname{sign}\left(U_1\rho_{1x}\right)-kS_1\right|\sim 0\right) \tag{14}$$

procesy wydzielenia ciepła wskutek zmiany objętości stają się decydujące.

Wracając do parametru S, zaznaczyć należy, że gdy grunt osuwiska charakteryzuje się wysoką lepkością ($\eta_\nu\approx10^{16}$ Pa×s), wpływ lepkości objętościowej będzie się objawiał już przy skokach ciśnienia:

$$\frac{\Delta P}{\Delta L} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ MPa/m} \qquad (15)$$

i prędkościach spełzania gruntu $L$ > 20 cm/rok.

Równanie:

$$S = 2\left(\eta_{\upsilon} + \frac{1}{3}\eta_s\right)\frac{U}{\rho^2 c^4} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta L} \qquad (16)$$

jest przydatne do oceny jakościowej procesów dynamicznych zachodzących w osuwiskach.

Metodą sondowania falowego ciała osuwiska czy masywu gruntu, można badać w zakresie znacznych gradientów ciśnienia. Dobierając częstotliwość nadajnika, można je uzyskać na jednej długości fali.

W tym przypadku można zbadać wpływ zmiany lepkości objętościowej na absorpcję amplitudy oscylacyjnego sygnału akustycznego sondującego ciało osuwiska. To znaczy, że parametry osuwisk można badać opornościowymi metodami akustycznymi.

Istota tej metody akustycznej polega na rejestrowaniu zmiany rezonansowej częstotliwości podłużnych, zginających i skręcających fal akustycznych, przy wprowadzeniu ich do masywu osuwiska. Zależność zmian częstotliwości rezonansowych od charakterystyk fizycznych ciała osuwiska można określić wzorem:

$$\Delta f_{in} = \varphi\left(A_i,\, f_{in}, E, \nu, S\right), \qquad (17)$$

gdzie:

$\Delta f_{in}$ – zmiana częstotliwości rezonansowej;

$f_{in}$ – częstotliwość nadajnika na kontakcie z ciałem osuwiska;

$i = I, II, III$ – indeks odpowiedni do typu fal nadajnika;

$n$ = 1, 2... – liczba całkowita odpowiadająca liczbie porządkowej częstotliwości rezonansowej;

$A_i$ – wielkości charakteryzujące nadajnik;

$E, \nu$ – współczynniki Younga oraz Poissona charakteryzujące osuwisko;

$\varphi_i$ – charakterystyka zmiany częstotliwości fal;

$S$ – pole kontaktu nadajnika z masywem osuwiska.

Na zakończenie artykułu, powiedzić należy, że realizacja tej metody badań dynamiki osuwisk pozwoliłaby uprzedzić niebezpieczne dla rurociągów oraz innych obiektów liniowych, zagrożenia awariami i katastrofami.

Metody sondowania różnego typu falami biernymi służą, już od wielu lat, skutecznie i rezultatywnie w geofizyce. Opracowane poprzez autorów urządzenia oraz metodyki, pozwalają na uzyskanie cennej informacji geotechnicznej dotyczącej osuwisk itp.

Opracowanie nowych metod w omawianym kierunku zasługuję na uwagę naukowców i praktyków. Pomogą one w rozwiązaniu, bardzo ważnych dla gospodarki krajowej i zagranicznej, problemów bezpieczeństwa eksploatacyjnego obiektów energetycznych i wielu innych budowli, na terenach zagrożonych osuwiskami i nie tylko.

## WNIOSKI

Analiza naukowo-teoretyczna oraz przeprowadzone eksperymenty w warunkach laboratoryjnych, ich sprawdzenie w warunkach terenowych, weryfikacja i walidacja, wykazały, że w celu badania zjawisk spełzania gruntu i dynamiki osuwisk należy stosować podejście trybologiczne.

Z analizy zjawiska dyssypacji energii przy ściskaniu ciała osuwiska oraz opracowań uczonych rozwijęntych technicznie państw wynika, że przydatnym może być równanie Naviera-Stocesa.

Na podstawie wzorów, badając znaczenia wyżej wymieninych współczynników, można dokonać klasyfikacji zmian zachodzących w ciele osuwiska.

Stosując doświadczenie zawodowe, naukowo-badawcze oraz opracowaną poprzez autorów aparaturę oraz inną, dostępną na rynku krajowym, i zagranicą, stosowaną do badań geofizycznych, tworzyć należy praktyczną metodykę do oceny dynamiki osuwisk oraz ilościowego jej oszacowania.

REFERENCES

1. **Bergman L., 1956.** Ultrazwuk i jeho primienienije w naukie i tiechnikie, IL, 11-12.
2. **Biguard P., 1955.** Sur l'absorbtion des ondes ultrasonores par les liguides, Ann. D. phys., (11) 6/7, 31-33.
3. **Bielonienko W., Dinarijew O., 1984**. O kriterijach ucziota szymajemosti żydkich sried. DAN SSSR, 21-23.
4. **Iwanik O., 2015**. Modelirowanije wlijaniaja opasnych geologiczeskich procesow na funkcionirowanije tpransportnych, prirodno-tiechniczieskich sistiem w usłowijach morskoj sriedy. Underwater Technologies, Vol.01, 13-22.
5. **Horbatenko E., Bratasiuk I., Szarow W., 2015**. Mobilnyje soorużenija w Bieriegowoj gidrotiechnikie. Underwater Technologies, Vol.01, 23-32.
6. **Hriszyn W., Hembarskij L., Snisarenko W., 2015**. Suszczestwujuszczije i proektirujemyje iskustwiennyje ostrowa i ich priednaznaczenije. Underwater Technologies, Vol.02, 32-39.
7. **Litwin I., Wysoczanskij W., Borodawkin W., 1988**. Razrabotka sistiemy tiechdiagnostyki gazonieftieprowodow dla obespieczenija nadiożnosti i efektiwnosti ich rabot. Moskwa. Rabota wydwinutaja na Gosudarstwiennuju Premiuj, 215.
8. **Perun J., Trocenko W., Wysoczanskij W., 1981**. Kontrol napriażonnoho sostojanija mietałła trub pri stroitielstwie magistralnych gazoprowodow. Konf. Kijew, 21-22.
9. **Perun W., Wysoczanskij W., 1982**. Razrabotka mietodow kontrola napriażonnowo sostojanija magistralnych truboprowodow w gornych uslowijach. Iwano-Frankowsk, otcziot IFING, 191.
10. **Petrenko E., Gharakhanlon M., 2015**. Analiz sostojanija skłona pri uwieliczenii staticzeskoj nagruzki. Underwater Technologies, Vol.02, 40-45.
11. **Wehr J., 1972.** Pomiary prędkości i tłumienia fal ultradźwiękowych. PWN, Warszaw, 34-41.
12. **Wysoczański W., 2011.** Akustotensometria rurociągów, Telecotron International. Monografia, Warszawa, 106.
13. **Wysoczanski W., 1982**. Pribor URENGOJ-2 dla kontrola napriażonnowo sostojanija mietałła. Konf. Moskwa, WNIIGaz, 111-112.
14. **Wysoczanskij W., 1978.** Razrabotka pribora kontrola napriażonnowo sostojanija mietalla i konstrukcji. Iwano-Frankowsk, konf. asp. i st. IFING, 10-11.
15. **Wysoczański W., i in., 1996.** Inspection of the technical state for gas pipelines with the ultrasonic metod. XVII symp. Vibracions in physical systems, Poznań, 77-88.
16. **Wysoczanski W. i in., 1999.** Doświadczenie i perspektywy innowacji we współprace międzynarodowej przy diagnostyce niezawodności konstrukcyjnej systemów przesyłu energii. Konf. Iwano-Frankiwsk, 114-118.
17. **Wysoczański W., 2012** Awarii megarurociągów. Rurociągi, Nr.1/65. Warszawa, Portale Geopolityka oraz Newsweek, 12-22.
18. **Wysoczański W., Fic St., 2012.** Bezpieczeństwo ekologiczne i niezawodność eksploatacyjna rurociągów przesyłowych dalekosiężnych VI Interational Research and Technical Conference. Simferopol, 17-21.
19. **Wysoczański W., red., 2016.** Diagnostyka przy poszukiwaniu, wydobyciu, transporcie ropy i gazu. Telecotron International Warszawa, Monografia, 146.
20. http://wiadomosci.onet.pl/kraj/powstaje-system-oslony-przeciwosuwiskowej/4wzey, 01.03.2017 r.
21. https://pl.wikipedia.org/wiki/Osuwisko, 01.03.2017 r.

## Ecological safety and operational reliability of buildings in landslide affected areas

*Walery Wysoczański, Stanisław Fic*

**Summary**. Scientific-theoretical analysis and laboratory experiments, field testing, and validation have shown that tribological approaches should be used to investigate landforming and landslide dynamics. From the analysis of the phenomenon of energy dissipation in the compression of the body of the landslide and the study of developed countries, it can be useful to use the Navier-Stoces equation.

Based on the models, we can classify changes in the body of the landslide at the level of dislocation by studying the significance of the above mentioned coefficients. Applying professional, scientific and research experience, developed by the authors of the apparatus and other, available on the domestic market for geophysical research, practical methodology should be developed to assess landslide dynamics and quantify its lag.

**Key words**: Landslide, stress, exogenous processes, ecological safety, slope stability.

# Analysis of exploitation of residential five-storey buildings, erected on Zaporizhzhia's subsided grounds

*Victor Shkoda[1], Maria Syomchina[2], Andrei Shkoda[3]*

Zaporizhzhia State Engineering Academy
226, Soborny Avenue, Zaporizhzhia, Ukraine, 69006
[1]krozis@list.ru, orcid.org/0000-0001-8660-1496
[2]masha_syom@mail.ru, orcid.org/0000-0002-3034-8951
[3]andrei.shkoda@mail.ru, orcid.org/0000-0002-6112-6729

**Summary**. This article gives an analysis of the housing stock Zaporizhzhia, shows the classification of residential buildings on the number of buildings storey and external walls material, considered types of deformations are given recommendations for improving the reliability of operation of five-storey residential buildings at their possible reconstruction.

A significant part of Zaporizhzhia housing resources (about 25%) is made up of five-storey residential buildings, so-called "Khrushchovki", which were built according to standard design in the 50 − 60 years of the last century. The term of these buildings exploitation is coming to its critical deadline. The layout of such premises is morally obsolete and does not fit to live in. Besides, buildings of this class have sizeable physical wear because of exploitation complexity on subsided soils. About fifth of old dwellings are deformed owing to subsidence of their foundations. The complex of protective measures, capable to provide required strength and operating buildings qualities in the cases of base soaking are absent.

**Key words**. Five-storey residential buildings, subsided grounds, camber, sag, rupture of walls, joints expansion closures, shear deformations.



**Victor Shkoda**
Associate Professor of the Department of Urban Construction and Economy
PhD eng., Ass. Prof.



**Maria Syomchina**
Associate Professor of the Department of Urban Construction and Economy
PhD eng., Ass.Prof.



**Andrei Shkoda**
Assistant of the Department of Urban Construction and Economy

## RELEVANCE OF THE PROBLEM

The purpose of this research is to systematize data of exploiting experience of five-storey residential standard construction buildings and to develop recommendations to be taken into consideration, for their available reconstruction [1].

To analyze and systematize data on quantitative and qualitative conditions of Zaporizhzhia housing resources, the necessary information and materials received from the city housing administration were collected and processed.

To obtain data on residential buildings which were erected and are being operated on Zaporizhzhia city subsided soils, we have collected and distributed the information, considering on the number of buildings storey and external walls material [2]. The quantitative conditions of Zaporizhzhia housing buildings estate include:

- 1…4-storey brick – 1620 buildings;
- 5-storey block – 119 buildings;
- 5-storey brick – 542 buildings;
- 5-storey panel –251 buildings;
- 9-storey panel – 538 buildings;
- 9-storey brick – 74 buildings;
- 9-storey block – 67 buildings;
- 12-storey brick – 16 buildings;
- 13…18-storey brick – 57 buildings.

Fig.1 shows the percentage distribution of Zaporizhzhia city residential buildings considering the storey number and walls materials.

Significant part of the housing resources consists of five-storey residential buildings − 912 pieces, which makes 23% of the total number of city's balance sheet buildings.

Five-storey residential buildings are divided into: brick (542 houses, 2523 entrances), panel (251 houses, 1361 entrances) and block (119 houses, 525 entrances) [2]. The buildings percentage by the external walls materials is: 60:27:13.

Five-storey residential buildings of Zaporizhzhia city were built in the period from the 50 s to the 70 s years of the last century, according to standard series 1-464, 1-464A, ВК-4, 1-437, 1-438, 1-442, 1-443, 1-480. Five-storey buildings typical projects of the first generation were based on several design schemes: with a narrow step of transverse bearing walls (series 1-464 − large-panel); with a mixed pitch of transverse bearing walls (1-464A, 2-468 and etc.); with three longitudinal bearing walls (series 1-447, 1-480, 1-511, 1-515 and etc.). The final city's buildings for standard projects were erected with brick walls (series 1-447 1-511) [2].

In the course of research on the analysis and systematization of operating data, information on five-storey residential buildings which were deformed as a result of subsided effect were

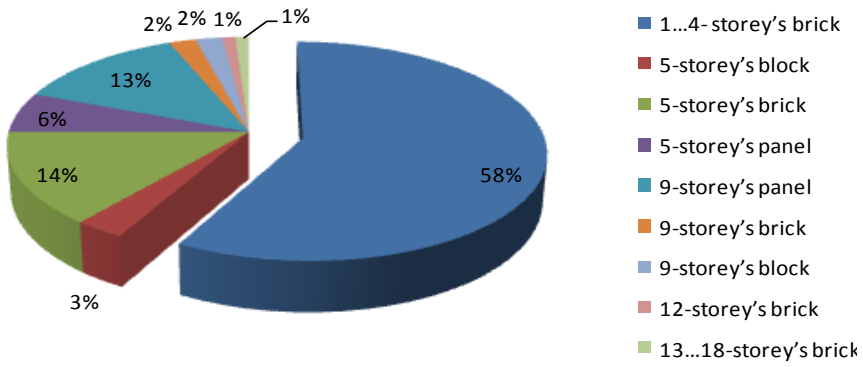



**Fig.1.** Distribution of Zaporizhzhia city housing estate considering the buildings storey number and walls materials

**Table 1**. Indexes of buildings deformation frequency, depending on materials type of exterior walls

| Building type | Average operating time, years | Number of buildings, pcs. | Of them deformed, pcs. | Deformation percentage, % |
|---|---|---|---|---|
| Bricks | 50 | 542 | 120 | 22 |
| Panels | 48 | 251 | 54 | 21 |
| Blocks | 49 | 119 | 22 | 18 |

allocated [3, 4]. The indexes of buildings deformation frequency, depending on materials type of exterior walls were determined. These data are given in Table 1.

## TYPES OF BUILDING'S DEFORMATION

The deformations of buildings are caused by vertical and horizontal displacements of the subsided soil surface during its soaking.

The following are shows the main types of building's deformation and the layout of the soaking areas. The building's deformation, depending on the character of uneven sedimentations and building's rigidity, can be conditionally divided into the following types [5 – 9].

The building's curvature with a camber is accompanied by the formation of vertical cracks with the greatest opening at the top of the building (Fig.2). The soaking source when building is cambered is mostly located at one of the building's edges.

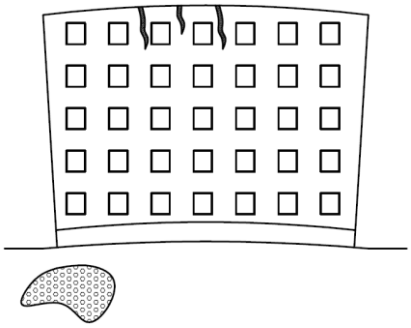


**Fig.2.** Building deformation type – camber

The building's curvature with convexity downward (sag) is characterized by vertical cracks with increased opening at the bottom of the building (Fig.3). The soaking area, as a rule, is placed near the greatest deformations.

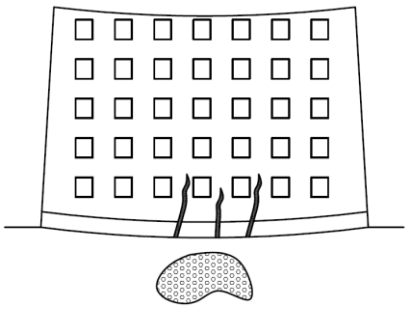


**Fig.3.** Building deformation type – sag

Local compression usually takes place at the top of the building, from the closure of the expansion joints (Fig.4). It is displayed in the form of adjacent walls sections crushing, balconies, cornices and the displacement of slabs. The soil soaking zone in this case is usually under the place of the expansion joint closure. Deformations of this kind are also possible from the building's sediments in the construction process, when relatively heavier building (brick's or block's next to a panel's or many-storey's building) is erected near the previously constructed building.

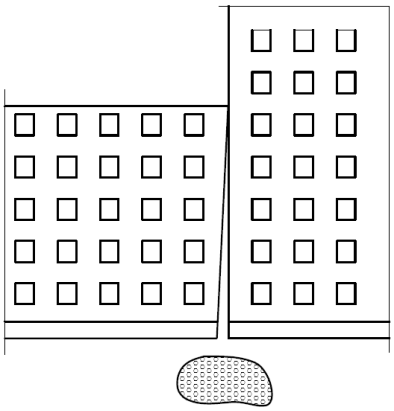


**Fig.4.** Building deformation type – joints expansion closures

When vertical walls are broken, cracks appear along the whole height, including the foundation (Fig.5). Such building's deformations are caused by horizontal deformations of the soil, accompanying its vertical subsidence. In this type of deformation, the loss of the partition bearing capacity can lead to a loss of the building's spatial rigidity because longitudinal walls separation from the transverse walls.

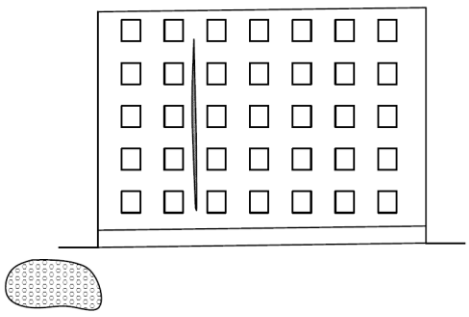


**Fig.5**. Building deformation type – vertical rupture of walls.

Shear deformations are accompanied by inclined cracks in the walls and vertical cracks in bends jumper (Fig.6). The soaking source may be placed in the area of upper inclined cracks location.

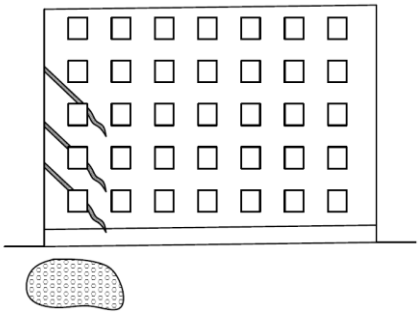


**Fig.6.** Building deformation type – shear deformations

The horizontal rupture is characterized by cracks appearing in horizontal or slightly slanted direction as a result of individual building sections subsidence (Fig.7). In such cases the buildings without special base preparation are mostly deformed and ground deformation occurs directly under their foundations. As a rule, the soaking area is located under the center of the cracks location.

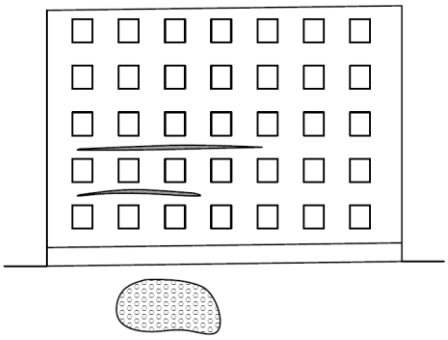


**Fig.7.** Building deformation type – horizontal rupture of walls

## CAUSES OF BUILDING'S DEFORMATION

Uneven ground subsidence leads to stress-strain state change of foundations and over ground building structures and considering the peculiarities of walls material to their damages and cracks appearing. Cracks reduce the building's structural reliability, and sometimes its performance. Cracks in the walls can also appear, independently of the base and foundation condition. But in any case it is necessary to determine the cause of the damage [10 −14].

Fig. 8 shows the sequence of ascertaining the causes of damage.

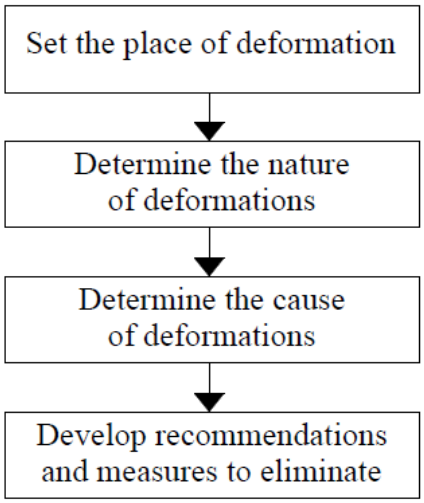



**Fig.8.** Sequence of deformation causes elimination

When the number of deformed five-storey buildings, had been determined, these buildings were inspected in details and documentation available from specialized laboratory of the city housing management was examined and then the causes of deformation were identified.

Let's consider the information about the types and causes of five-storey residential buildings deformations, which are presented in the Table 2 in more details.

The number of brick's buildings deformed by the camber is 55%, by the sag − 18%, by the shear deformations is 20%. The buildings with vertical walls rupture constitutes − 5% and with horizontal walls rupture − 2% were observed too. In deformed buildings, there is staircases displacement from the supports; and considerable cracking is observed within the most weakened place − the staircase. These buildings lose their operational capability because of the cracking in the walls, the peeling of the plaster and the skews of the openings.

**Table 2**. Information about the types and causes of five-storey residential buildings deformations

| Building type | Type of deformation | Number of deformed buildings | The probability of revealing | Causes of deformation, (%) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Steeping with water | | | Incorrect lock |
| | | | | Atmospheric | Sewerage | Water supply, heating mains. | |
| 5-storey brick | Camber | 66 | 0,55 | 0 | 70 | 30 | 0 |
| | Sag | 21 | 0,18 | 0 | 85 | 15 | 0 |
| | Shear deform | 24 | 0,20 | 0 | 70 | 30 | 0 |
| | Vertical rupture | 6 | 0,05 | 0 | 80 | 20 | 0 |
| | Horizontal rupture | 3 | 0,02 | 0 | 66 | 34 | 0 |
| 5-storey panel | Camber | 16 | 0,3 | 0 | 60 | 40 | 0 |
| | Sag | 16 | 0,3 | 20 | 80 | 0 | 0 |
| | Local compres | 22 | 0,4 | 0 | 85 | 15 | 0 |
| 5-storey block | Camber | 12 | 0,55 | 0 | 80 | 20 | 0 |
| | Sag | 7 | 0,35 | 15 | 35 | 50 | 0 |
| | Shear deform | 2 | 0,05 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| | Vertical rupture | 1 | 0,05 | 100 | 0 | 0 | 0 |

Base soaking of the sewerage network (73% in average) and soaking of water or heating networks (27% in average) are the main course of buildings deformations in brick's five-storey's residential buildings.

The number of panel buildings, deformed over the camber and sag isn't significant and amounts − 30%, reciprocally. The most frequent deformations were revealed in the form of width expansion joints closure changes (40% in average). In buildings of this type, deformed joints are often filled with incompressible materials that deteriorate the working conditions of wall panels with a decrease in the seams width.

It was established that the most common cause of panel buildings deformations is the base soaking from sewerage networks (76% in average). Other causes of deformation are soaking from the water networks or heating networks (18% in average), atmospheric water (6% in average).

The number of block buildings deformed because of the camber is in the range of − 55% with the seams opening between the blocks, because of the sag − 35%, over to the shear deformations − 5%. Buildings with vertical gap in the walls are 5%. In general, the operational capability of the building is lost because of the cracks opening in blocks, the staircases displacement from the supports and the plaster peeling from the internal wall's blocks surfaces.

The most common cause of block buildings deformation is base soaking from the sewerage networks (55% in average). Other causes of deformation are soaking with atmospheric water − 9%, water supply or heating networks

soaking (27% in average). It was also revealed that base soaking as a result of wrong building compartments blocking is about 9%.

## RECOMMENDATION

Since the five-storey buildings of typical standard design have exhausted all their operational resources it is necessary either to demolish or to reconstruct them in the near future. But the state has no funds for such buildings demolition; therefore it is more likely to reconstruct them. When reconstructing such buildings, different variants of premises replanning will be provided, which help to improve living conveniences.

The experience of five-storey residential buildings exploitation shows that absence of a complex measures against sedimentation considerably affects the operational reliability [15-19]. Therefore, during the reconstruction, it is necessary to provide waterproof measures, to eliminate the water hitting under the building. Analysis of deformation causes shows that in almost 75% of all cases, the soaking source was sewerage network leaks. So, during the reconstruction it is necessary to provide the full replacement of all intra-quarter sewage networks.

## CONCLUSIONS

The classification of the housing recourses of Zaporozhzhia city considering storey number and walls materials of buildings was prepared, the data on the operational experience of five-storey residential buildings were systematized, the main types of buildings deformations were determined, and the causes of deformation were established.

The five-storey buildings of the typical standard design are morally obsolete, have sizeable physical depreciation. In order to improve the living conveniences of such buildings, their reconstruction is necessary [20 − 23].

Measures to improve the operational capability of five-storey residential buildings are proposed. These measures must be considered in the possible reconstruction process.

## REFERENCES


1. **Sukach M.K., 2015.** First international scientifically-practical conference “Underwater technologies, 2015”.Underwater technologies, Vol.01, 3-12 (in Ukrainian).
2. **Syomchina M.V., 2014.** Features of the stress-strain state of the brick five-storey apartment buildings at reconstruction in terms of soil subsidence: Diss…cand. tech. science, 05.23.01. Zaporizhzhia, 154 (in Ukrainian).
3. **Klepikov S.N., Tregub A.S., Matveev I.V., 1987.** Calculation of buildings and structures on subsidence grounds. Kiev, Budivelnik, 200 (in Russian).
4. **Gelfandbein A.M., Gelis L.A., 1980.** Calculation of the deformations of subsidence bases under local soaking. Bases and foundations in complex engineering-geological conditions, Kazan, 18-21 (in Russian).
5. **Grozdov V.T., 1994.** Defects of stone buildings and methods of their strengthening. St.-Petersburg, 144 (in Russian).
6. **Markov AI, Seromolot G.V., 2009.** Operation and reconstruction of buildings. Zaporizhzhia, 320 (in Russian).
7. **Morareskul N.N., 2000.** Cracks in the walls of buildings as a diagnostic sign of sediment foundations. Reconstruction of cities and geotechnical construction, 42-46 (in Russian).
8. **Gelfandbein A.M., Gelis L.A., 1980.** Methodical recommendations on the design of the foundations of industrial buildings erected on subsidence grounds. Kharkov, 49 (in Russian).
9. **Beketov A.K., Seleznev A.F., Prihodchenko O.E., 1980.** Influence of heterogeneity of the loessial stratum on the stress-strain state of the system "fixed strip array − loess medium". Foundations and foundations in complex engineering-geological conditions, Kazan, 28-30 (in Russian).
10. **Matveev I.V., 1980.** Simulation of soil bases in the calculation of buildings. Perfection of methods of calculation and testing of building structures. Kiev, Budivelnik, 126-131 (in Russian).
11. **Muravsky G.B., 1967.** On the model of an elastic foundation. Construction mechanics and calculation of structures. Moscow, 14-17 (in Russian).
12. **Hanafy E.A., Emery J.J., 1981.** Advancing face simulation of tunnel excavations and lining placement. Proc. 2 nd Int. Conf. on Ground Movements and Structures, Cardiff, London: Pentech Press, 377-394.

13. **Sagaseta C., Moy I.F., Oteo C.S., 1980.** Estimation of ground subsidence over urban tunnels. Proc. 2 nd Int. Conf. "Ground Movements and Structures", Cardiff, London: Pentech Press, 331-344.
14. **Klepikov S.N., Markov A.I., 1979.** Determination of deformations of footing consisted of settling soils by finite element method. Third international conference on Numerical Methods in Geomechanics, 2-6 April 1979, Aachen, 975-980.
15. **Shapoval V.G., 1996.** Forecast of sediments and rolls under the influence of time-varying load, foundations on a water-saturated silty-clay foundation. Dnepropetrovsk, 50 (in Russian).
16. **State Program of Ukraine, 1998.** Reconstruction of dwelling houses first mass series. First edition. Ukraine, State Building, Kyiv, 12-16 (in Ukrainian).
17. **Symahyn V.G., Konovalov P.A., 1978.** Deformation delivered. Petrozavodsk. Karelia, 110 (in Russian).
18. **Rogonsky V.A., 1983.** Operational reliability of buildings. Leningrad, 280 (in Russian).
19. **DBN V.3.2-2-2009 Residential buildings 2009.** Reconstruction and overhaul. Kyiv, Minrehionbud, 16 (in Ukrainian).
20. **Boyko M.D., 1975.** Diagnostics of damages and methods of restoration of operational qualities of buildings. Moscow, Strojizdat, 334 (in Russian).
21. **Grozdov V.T., 1994.** Defects in the construction of stone buildings and methods for their strengthening. St.-Petersburg, 144 (in Russian).
22. **Kokhanenko M.P., 1990.** Restoration of civil buildings on subsidence grounds. Moscow, Strojizdat, 184 (in Russian).
23. **Ulitsky V.M., 1995.** Geotechnical justification of reconstruction of buildings on weak grounds. St.-Petersburg, 146 (in Russian).

## Анализ эксплуатации жилых пятиэтажных зданий, возведенных на просадочных грунтах г. Запорожье

*Виктор Шкода, Мария Сёмчина, Андрей Шкода*

**Аннотация**. В статье выполнен анализ жилого фонда г. Запорожье, приведена классификация жилых зданий по этажности и материалу стен, выделены виды деформирования, даны рекомендации по повышению надежности эксплуатации пятиэтажных жилых зданий при их возможной реконструкции.

Значительную часть жилого фонда (примерно 25%) г. Запорожье составляют пятиэтажные жилые здания, так называемые «хрущевки», возведенные по типовым проектам в 50 − 60-х годах прошлого столетия. Срок эксплуатации этих зданий приближается к критическому. Планировка помещений морально устарела и не способствует комфортному проживанию в нем людей. Кроме этого, здания этого класса имеют и существенный физический износ, связанной со сложностью эксплуатации на просадочных грунтах. Примерно у пятой части всех зданий старой постройки наблюдаются деформации из-за просадки оснований. Это вызвано отсутствием необходимого комплекса защитных мероприятий, способного обеспечивать требуемые прочностные и эксплуатационные качества в случае замачивания основания.

**Ключевые слова**: пятиэтажные жилые здания, просадочные грунты, выгиб, прогиб, разрывы стен, замыкания деформационных швов, деформации сдвига.

# The development of the architectural object under the influence of social history

*Ludmila Bachinska*

Kyiv National University of Construction and Architecture
31, Povitroflotskyy prosp., Kyiv, Ukraine, 03037
ludmila_bachina@ukr.net, orcid.org/0000-0002-6942-5627

**Summary**. Throughout the history of mankind people evolve: while they explore the space around themselves, they develop tools of work, language, the environment, gaining experience, developing skills, form of society, state, concept of beauty, methods of construction and more. Along with them architectural and urban objects change in function and layout, form and style, physical and spatial parameters, and the like. History of architecture and urban planning studies the main directions of urban art in different times, different era and as a cultural heritage of different peoples. However, until that time, it is not clear how the differences in socio-economic conditions and political structure in the States affect the formation of architectural and urban planning object.

The study revealed that these factors are crucial. They affect the structure of society with a hierarchical construction of groups, where the representatives of the authorities, and the powers that protect them, are at the top. A certain structure of society requires certain methods of placement of the people in the city plan. Therefore, through *the society as a method it is the implementation impact* of these factors on the architectural object. The article considers structures of society in Soviet and world practice and the impact of social structure on the architectural features of dwellings in Ukraine in the XX – beginning of XXI centuries.

**Key words**: man and his needs, economic relations, political conditions, society, architecture and urban planning.



**Ludmila Bachinska**
professor of the Department of fundamentals of architecture and architectural design
PhD, Ass. Prof.

## THE INTRODUCTION

In the theoretical and historical literature, which study the architectural and urban heritage of different eras, in determining characteristics of the formation of architectural trends there are references to differences in socio-economic structure of the States that existed at different times. It also refers to the influence of various factors such as nature and climate, technological progress and traditions of the people and cultural borrowing from neighboring States. But so far, they are not scientific papers that would prioritize some factors on the formation of architectural and urban planning object, show by way of their influence, outline the common trends and regularities of the formation of this object regardless of the era that is considered. This method will allow not only to study the historical achievements of humankind in this field of material and spiritual culture, but also to understand the current

situation and ways of its further development. Among a number of factors that affect architecture as major there were selected socio-economic and political conditions of society in this study.

## THE PURPOSE OF THE RESEARCH

The aim of the study is to detect *the mode of action* of such manifestations of social history as a socio-economic and political conditions that arise in historical social process, the formation of architectural and urban planning object: its types, features of functioning, planning, composition, development, form, style etc.

## THE METHODS OF THE RESEARCH

The methods are used in the study:

- *analysis* of the characteristics and Genesis of human life and its needs;
- *the causal relationships* of human life, its needs, social and socio-economic and political conditions of existence for the formation of the architectural object in different historical epochs;
- *comparative analysis* of urban and architectural heritage, depending on the socio-economic and political conditions in Ukraine during the XX – early XXI centuries.

## THE RESULTS AND DISCUSSION

Mastering the surrounding world, humans evolved from ancient times and improved their own conditions of life. They adapted the environment – their homes and villages for their needs. People were busy with the production of food and livelihood that is economic activity. During communication with each other, they assigned duties in the team and thus determined the role of each in the public process. Gradually people have perfected the tools, language, handicraft, mastered the techniques of agriculture and construction and improve its organization. In the primitive collective, all members of the cell were equal and were engaged in the production of food.

Over time, this organization became a hotbed, where there was one leader who took responsibility for community life, vitality and the ability to safely and comfortably. Thus *the economic relations* between the members of the primitive group was born, was established the role of each of its members and was formed the initial primitive social hierarchy [1…4].

Over time, the number of needs of people has increased. Needs become complex, belong to different spheres of activity (Fig. 1).

Thus, *the types of economic activity, types of economic relations* arising in the process of life of people, *system of governance* are shaping *the structure of society* as well-established organism in which the conditions of existence determine the social structure of the population and the specific role of each member of society. The development of the human community to a certain level leads to the formation of a state with a complex hierarchy of social strata. M. Stepyko notes that «today, all societies are complex structural formations defined by a complicated weave of relations,... ...presented institutional systems: economy, law, politics, science and so on.» [5, p.13].

Today, the concept of society is assessed as extremely important for understanding all social processes: «the historical events, social, political, economic and spiritual phenomena, structures, relationships, change and transformation» are forms of his manifestation [6, pp.3-4]. In connection with the processes of globalization people have become the energy basis of life of society [6, p. 13]. Social reality consists of social actions, social relations, social faces, social groups and social roles (F. Znaniecki, as cited in [5, p.14]). The totality of conditions that influence the formation and functioning of man in society, development of personality, its abilities, needs, interests, consciousness, forms the social environment [7, p.856]. Therefore, the life of society in all its many manifestations, including the economic system, socio-economic relations, system of governance in the state and political organizations, like many other aspects, promotes the formation of a single organism social –

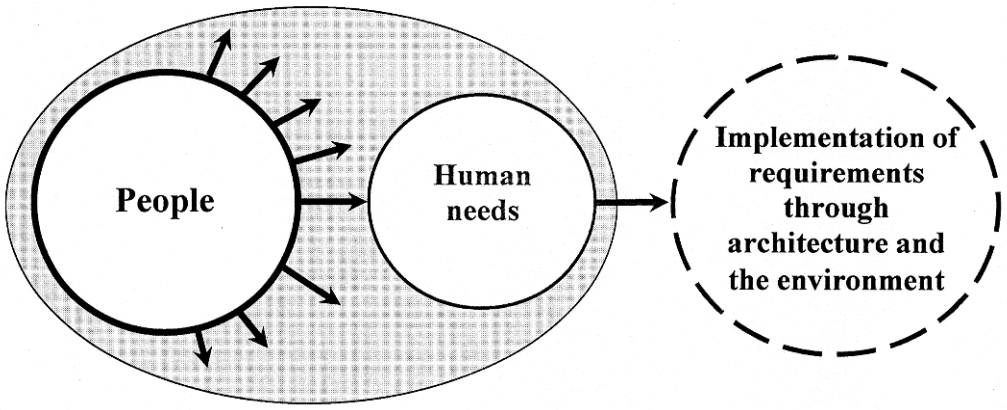



**Fig. 1.** The connection of man with the architectural object and the environment

environment that lives according to certain laws and refers to social stories [8, pp. 15-16].

This level of social development, which covers all the main components − the economy (kinds of economic activities), economic relations, system of governance (and degree of education of the state) and the structure of society − clearly reflects in the diversity of people's needs.

The history of the development of the human personality connected with the history of development of his needs. Human need urged him to activities in which a new, more diverse and complex needs. Moreover, this contributed to a more diverse range of activities [9, p.522]. In addition, each person is the bearer of individual, public, social thought, citizenship [10] that forms the views of the community. Thus, the needs and views of people within each epoch are implemented in the material and spiritual culture of humankind, a huge reservoir of which is urban planning and architecture [11].

The architecture performs an important role − provides for the formation of space around it for its needs [12]. Among the different requirements to the environment since ancient times, it was needed protection from the weather and other negative impacts of the environment, as well as the organization-isolated environment for ease of performing essential functions. It provides housing and settlement, and later during expansion needs, it was a variety of architectural, engineering and town planning objects – houses, enterprises of service and labor, city, communication system [13], regional planning [14], the system of settlements, even those that eventually needed to be updated in accordance with changing social needs [15], and forward-looking proposals for the future [16, 17].

A number of different factors influences on the formation of urban planning and architecture of buildings. Among them, there are important *climatic conditions*. They give man certain conditions of life, food, building materials, helping to determine the direction of the buildings and layout of settlements, and also affect the areas of settlement and population density. The landscape and the availability of drinking water are important for the construction of settlements. The first settlements were located near water – on the banks of rivers, lakes, seas, swamps. The presence of moist soil and rainfall influence the formation of housing architecture and planning of the settlements.

Also important factors are the historical events and political relations with neighbours, scientific and technical progress, religion, ideology, the concept of beauty and aesthetic ideal, and much more. But the factors listed above – economic relations in society, the system of government and social structure of the population, which define the characteristics of a specific country and its citizens, the specifics of their needs in General and in the field of architecture and urban planning, in particular, of course, are Central in urban planning and architecture.

Even watching the development of architecture and urban planning in different ages in different territories and in different countries, it can be argued that *public life is reflected in architecture and urban planning*, and therefore, architecture and urban planning may serve as an object for studying social history [18, 19].

This method of justification trends in urban planning and architecture based on the above key factors have allowed us to construct a scheme of the influence of socio-economic and political conditions in urban planning and architecture. These factors to the greatest extent is a source, the reason for the formation of a particular society, which primarily requires a specific planning of the city, formed according to certain principles, certain types of public buildings and their architecture.

This diagram shows the General construction of the social hierarchy of the population of any country that was historically determined and created in a natural way. Upstairs it has representatives of the authorities, and below are the force that protects and supports of power – the army, internal forces, judicial authorities, political, ideological organizations and religious communities. Still the following are the different segments of the population, among which, in particular, with high property status is located above and slightly below (Fig.2). Usually urban and architectural objects, primarily built for the social elite (those who are on top of the social pyramid) – representatives of government, the rich, who may make an order and financial contributions to the construction of urban ensemble. In Fig.3 these populations are shown in blue. In modern democratic States, this area was expanded and includes people with middle income, intelligentsia and officials.

In Soviet times, the social pyramid was built differently. The government was formed of representatives of the party elite and the ruling apparatus. Below there are the same Pro-government forces – the army, internal troops, courts, political, ideological organization. The workers were located at the top of the social pyramid unlike the natural social structure of the population, because in Soviet Russia a dictatorship of the proletariat was proclaimed. The peasantry was placed a little lower, and servants, and the intelligentsia − is even lower (Fig.4).

On the example of Soviet history between the two wars, we can see how ideological myth about the worker as a hegemonic power in society are actually realized in life. In Fig.5 orange highlighted part of the top of the social pyramid in the 1920s and early 1930s, where there was a place for the workers. The architects-theoreticians and practitioners have created for them the projects of settlements, of new type of houses-communes, public buildings service, for the dissemination of sports and cultural activities among the population − clubs, reading rooms, canteens, kindergartens and nurseries, schools, bath-Laundry complexes and the like.

In the late 1930 − 1940-ies, when the power became stronger in the face of the leader, the social structure of the Soviet people with the workers upstairs is also supported. But really the best buildings were erected for the party elite, senior officials, intellectuals, which supported and glorified the power (in Fig. 5 highlighted in red).

You can also trace the influence of key factors − socio-economic and political conditions for the further stages of development at subsequent stages of development of Soviet architecture in its planning, the types of public buildings, architectural styles, and the like.

At the end added another graph showing the influence of the ideology of the customer, who is government representative, on urban ensemble (Fig.6). Objects of official architecture will always reflect the ideological components in shaping the style of architecture.

On the examples of architecture of residential buildings of the Soviet and post-Soviet times in Ukraine, which is depicted in Fig.7, it is possible to see how changes in the economy and the system of government in the state was reflected in the architecture.

1920-e years were marked by the attention to the workers as the chief member of the new society. The working life before the October revolution of 1917 was minimal primitive when sufficiently compressed living

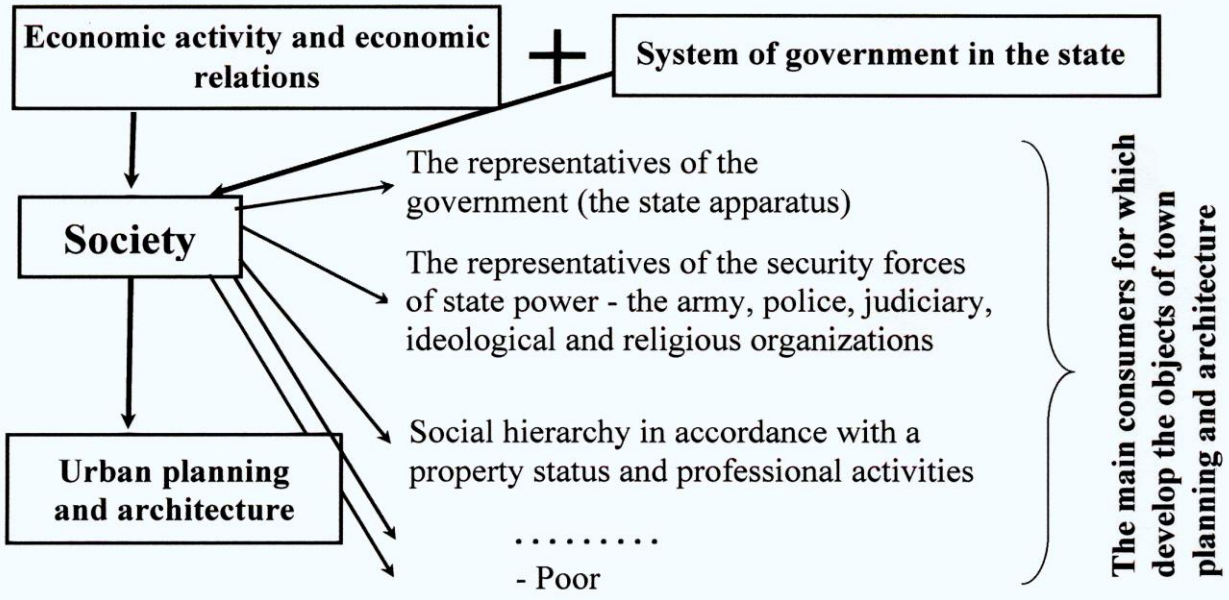



**Fig. 2.** The impact of economic activities and management system on urban planning and architecture (the world system)

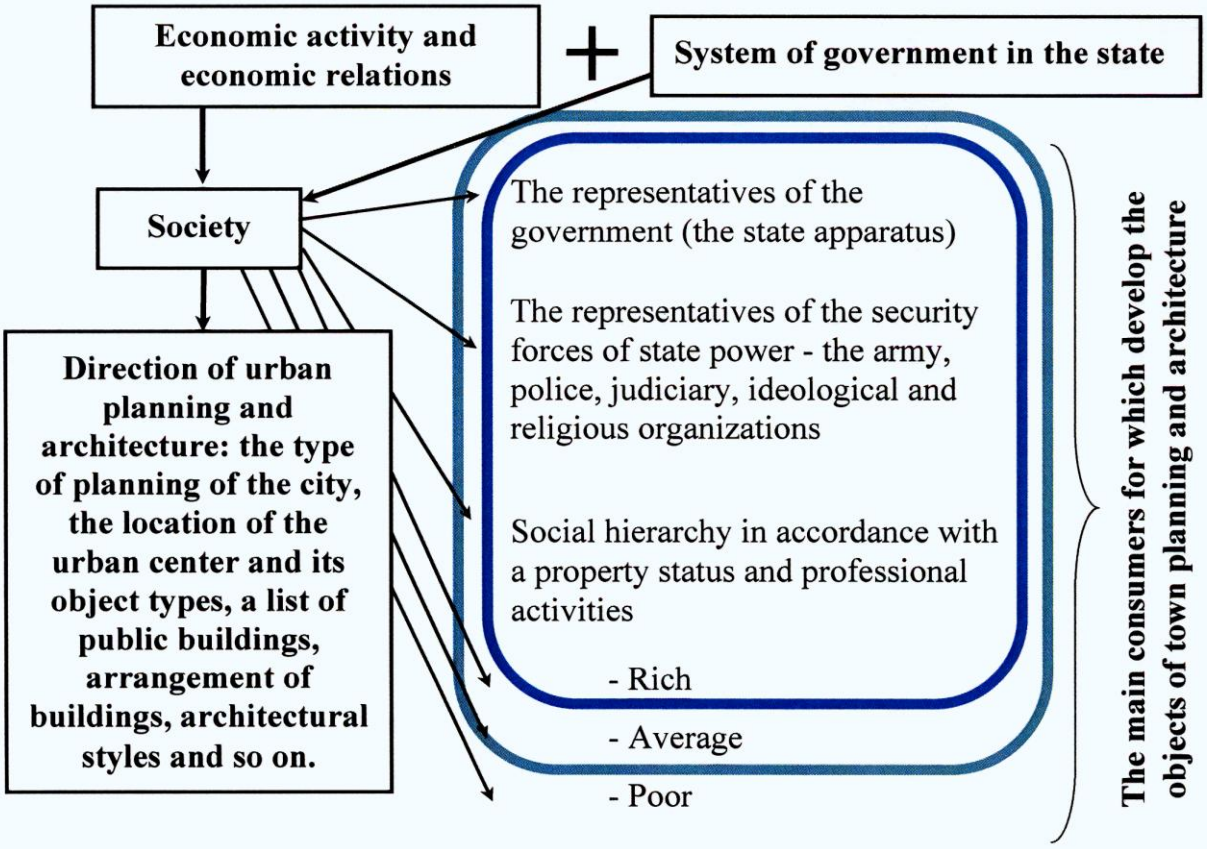



**Fig. 3.** The impact of economic activities and management system on urban planning and architecture (the world system) - social layers, which are built architectural objects

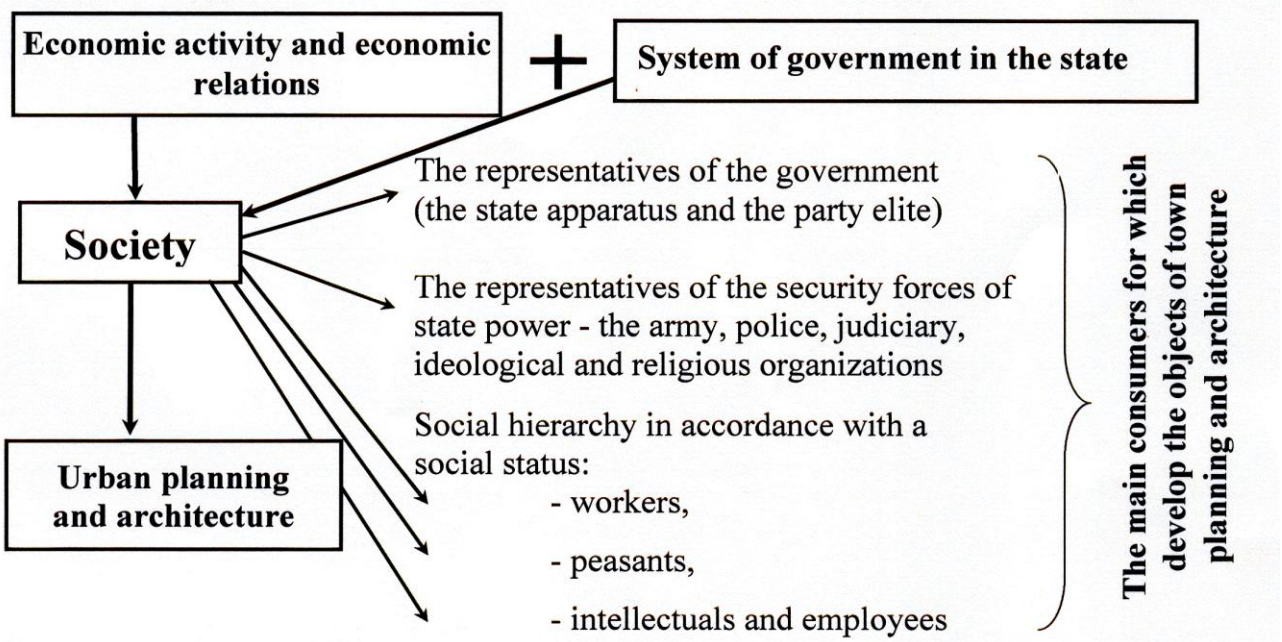



**Fig. 4.** The impact of economic activities and management system on urban planning and architecture (the Soviet system)

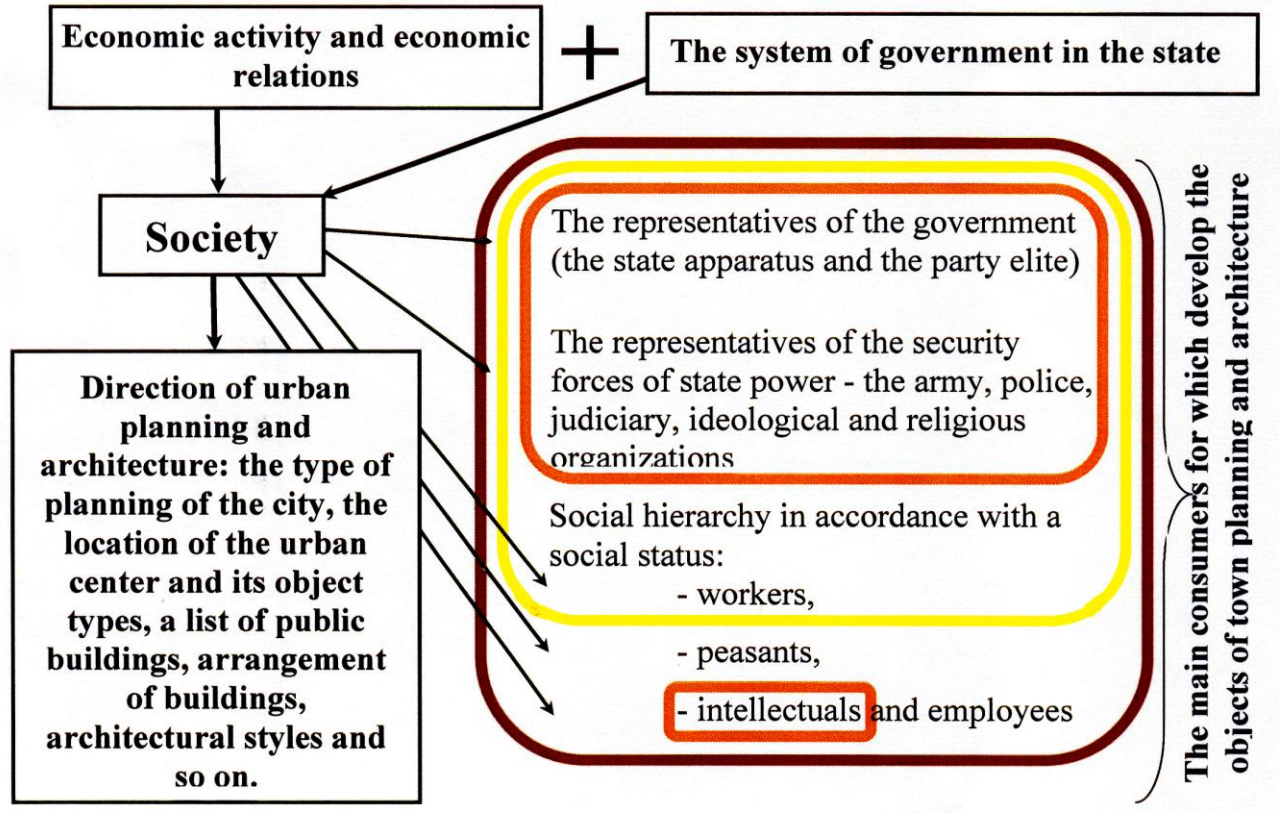



**Fig. 5.** The impact of economic activities and management system on urban planning and architecture (the Soviet system) - social layers, which are built architectural objects

conditions. Therefore, after obtaining a high social status for the workers it was necessary to determine new conditions of stay on the basis of equality in the enjoyment of their team the various types of service. M.Y.Ginzburg wrote about the tasks of functional art at the time as «the invention of new types of architecture, is meant to make the socialist way of life» (cited in [20, p.34]. And this has led to the development of houses-communes block structure, in which each block that was designed for certain desired functions, architecture is of a simple form, which only emphasized the function and the structural system. The structure of communal housing as an innovative idea often used for planning of the district or a separate village, as it provided the opportunity to organize the zoning and to solve the sanitary issues in the building.

Time 1930s – early 1950s years, is the period when gradually centralized form of government in the Soviet Union strengthened on the basis of the priority of the leadership of the Communist party before the political and Executive authorities. Global political situation is getting worse, the economy is focused on the development of heavy industry, a search for new ways and experimentation in architecture and urban planning, the party and state organs and the professional community define the new ideological orientations in the art to Renaissance architecture on the basis of the classical heritage, that given its reinterpretation in accordance with the new conditions of social development. There was return to the man-made classical forms in architecture, to the construction of a block perimeter and the construction of large-scale urban ensembles of symmetrical construction. Lush architectural forms, classical details, designed in reinforced concrete, extensive use of concrete sculpture that represented working people, was supposed to symbolize the power of the state, the popular love to power and harmonious conditions of life during the Soviet system the country's leadership and the socialist system of economic management. The best facilities in the city center was intended for the party elite and artists, members of creative unions, that praised the power, and the workers lived on the periphery of cities, in modest premises with limited facilities structure and under the terms of the settlement in separate rooms.

In the second half of 1950 − 1970-ies there has been a reorientation of housing in providing people with apartments for each family separately with a minimum area, but those that provided a certain minimum level of comfort. Over time, the norm of the total area for 1 person, that were accepted and approved from the top, gradually increased, the comfort level is improved, the area has grown, room with a pass-through disappeared, WC allowed to design only one-bedroom apartments. The architecture of the housing that was industrial of methods of construction, your image reflect equal conditions for all inhabitants regardless of their social status. The architecture of the housing that was industrial of methods of construction, in its image reflects equal conditions for all inhabitants regardless of their social status.

In the above three periods in architecture and urban planning of the Soviet country with a socialist economic system, each stage was determined by the state-party regulations that were issued in the form of state plans and proclaimed as binding in any sector of national economy tasks. But the government has given housing for free. Independent Ukraine took the path of market economy with a parliamentary-presidential form of government. After a long period of adaptation to new economic conditions and to adapt the construction industry focus on the needs of the population begins to generate requests for types of housing at cost. In the 1990-ies difficult economic situation of the urban population had an impact on changing socio-demographic, and low purchasing power did not allow for the purchase of an apartment of the majority of workers in various industries [21].

2000-e years were marked by the formation of complexes of luxury housing for the wealthy segments of the population (see Fig.7). Complexes in the industrial center of Ukraine Dnepropetrovsk − (modern name Dnieper) − were built especially expressive,

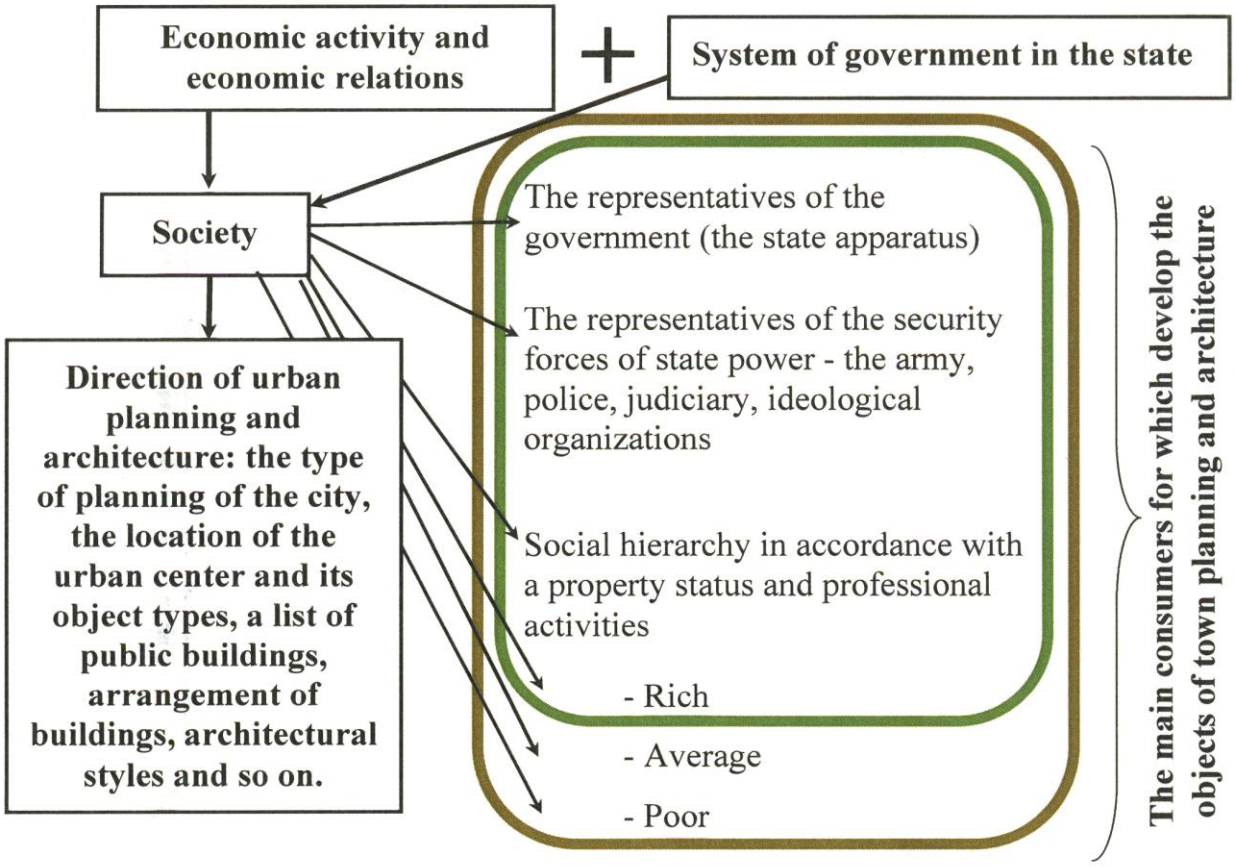



**Fig. 6.** The impact of economic activities and management system on urban planning and architecture (the world system) in Ukraine - social layers, which are built architectural objects

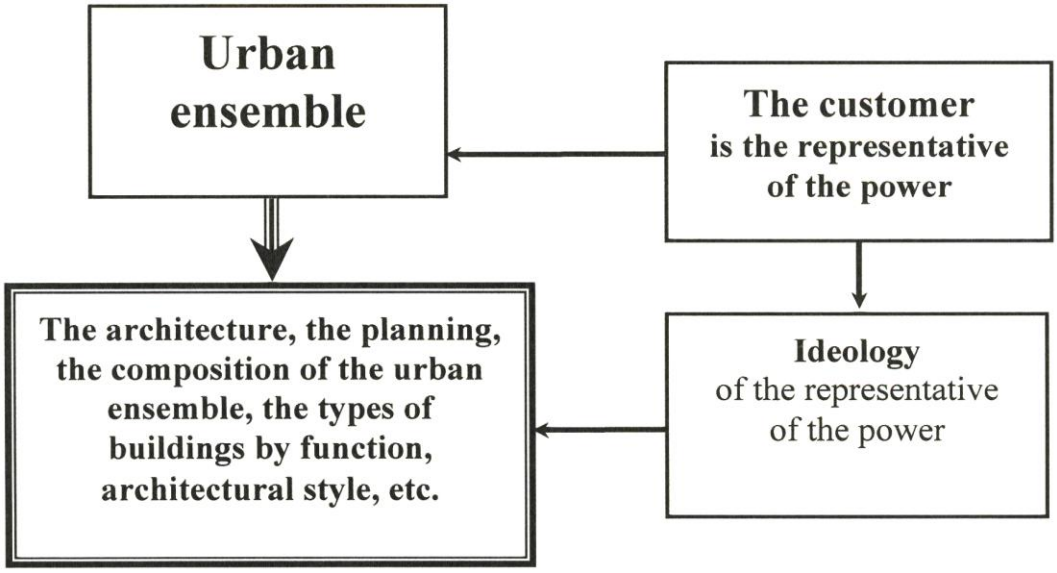
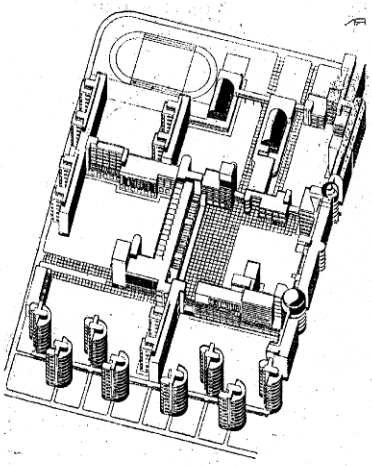
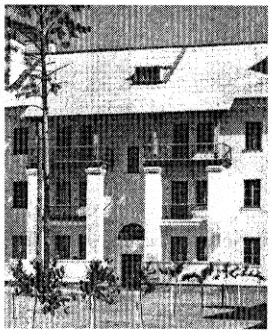



**Fig. 7.** The ideology of power in the architecture of the urban ensemble

| A socialist economic system | | |
|---|---|---|
| The Soviet system of government | | |
| 1920-ies | 1930's – beginning of 1950-ies | |
| Theoretical search of housing for workers | Housing for the elite | Housing for workers |
| | Kyiv, Khreshchatyk street | Kyiv, New Darnitsa. |







| A socialist economic system | The capitalist economic system | |
|---|---|---|
| The Soviet system of government | Parliamentary-presidential system of government | |
| 1950-1970-ies | The late 20th - early 21st centuries | |
| Housing for the people | Housing for the rich | Житло для бідних |
| Kyiv Residential complex «Voskresenskiy» | Kyiv Residential complex "Triumph" | Kyiv Residential complex «Smart house» |







**Fig. 8.** The architecture of residential houses of Ukraine in Soviet period of the building of socialism and in the period of Independence of a capitalist form of economy and a Parliamentary-presidential system of government

diverse in style and image, of European design. For the 2010-ies a significant demand for housing with a minimum area of simple shape, cheap materials of the facades is typical (Fig.8).

That is, as always, the architecture clearly reflects the economic and political situation in the state through the appropriate structure of society and its needs.

## THE CONCLUSIONS

1. Architecture and urbanism are formed from ancient times and develop along with the person to ensure his / her needs. Therefore it is impossible to consider the Genesis of architectural objects, the creation and use of certain architectural styles outside the study of the history of social development.

2. Modern science has found a new direction under the name of «social history», which unlike the previous limited opinion determined that social development affects all life processes of society and forms them. Therefore, to determine the causes and tendencies of development of architecture and urban planning it is necessary to investigate various processes occurring during development of the society as such.

3. One of the most important areas in human activities is economic activities and economic relations arising in the process, as well as the political system in the state. These aspects of the socio-economic and political life form a certain structure of the society.

4. Society changes over time and its needs are growing quantitatively and become more diverse and complex, including requirements in architectural and urban sites.

5. Mapping of the historical architectural heritage of different ages and socio-economic conditions and political structure of various States have allowed tracing the main trends of forming of architecture and urban planning:

- any structure of society is formed as a social hierarchy where at the top is the representation of power and the forces that support it;

- the structure of society, naturally created, reflects a hierarchy of social classes according to their wealth, but created artificially, for example in the Soviet Union, raises up the poor population – workers and peasants;

- urban planning and architecture in the first place created for those social groups that are at the top of social pyramid, that is, the natural structure of society – for the wealthy, for artificial structure for the poor. It defines the tasks that need to be implemented in urban planning and architecture;

- the type of government in the state with solutions in urban spaces and architectural image of the buildings makes use of specific methods of development, types of public structures, types, and composition of the urban ensemble, its architectural styles, and the like.

## REFERENCES


1. **Hrushka Emanuel, 1963.** The development of urban planning. Bratislava. Publishing house of the Slovak Academy of Sciences, 650 (in Russian).
2. **Bunin A.V., Savarenskaya T.F., 1979.** The history of urban art. In two volumes. Moscow: Stroyizdat. Vol.1, 495 (in Russian).
3. **Bunin A.V., Savarenskaya T.F., 1979.** The history of urban art. In two volumes. Moscow: Stroyizdat. Vol.2, 412 (in Russian).
4. **Stepanov G.P., 1971.** The art of architecture. Leningrad, Znaniye, 33 (in Russian).
5. **Stepyko M.T., 1998.** The Genesis of ethnicity: origins, modernity, perspective (philosophical-methodological analysis). Kyiv, Society Znaniye, KOO, 251 (in Ukrainian).
6. **Kizima V.V., 2007.** Society and Existence. Kyiv, Publisher PARAPAN, 204 (in Russian).
7. **Modern** philosophical dictionary, **1998.** Edited Kemerov V.Y. London, Frankfurt am Main, Paris, Luxembourg, Moscow, Minsk, PANPRINT, 1064 (in Russian).
8. **Bachinska, L.G., 2016.** Urban planning as a reflection of socio-economic and political conditions. Regional policy: historical origins, legislative regulation and practical implementation [Kiev-Ternopil]. Vol.II. The materials of the Second international scientific-practical conference (Kyiv, 14-15 December 2016), MONU, KNUCA, Economic thought. In two part, Part 2, 280 (in Ukrainian).
9. **Rubinstein S.L., 1999.** Fundamentals of General psychology. Saint-Petersburg. Publishing

House Piter, 720 (Series Masters of psychology) (in Russian).
10. **The experience** of the human personality: Essays in philosophical anthropology, **2000.** Lviv, Svichado, 388 (in Ukrainian).
11. **Ludmila Bachinska, 2009.** Modern architectural eclecticism: causes and tendencies. Ukrainian art history: materials, research, reviews. Collection of scientific works, IIFA of a name of M.T.Rylsky, Kiev, NASU, Vol.9, 334 (in Ukrainian).
12. **Gabrichevsky A.G., 1993.** Theory and history of architecture: Selected works. Edited by A.A.Puchkov. Kyiv, The editorial Board of the journal Samvatas, 302 (in Russian).
13. **Mikola Osetrin, Oleksandra Bondar, 2016.** The town planning experience in implementing the principle of roundabouts on the approaches to bridges. Underwater Technologies, Vol.03, 75-82 (in Ukrainian).
14. **Iryna Ustinova, 2015.** Theoretical principles of wave urbanistics. Underwater Technologies, Vol.01, 33-42.
15. **Eugenia Kazakova, 2017.** Problems and directions of reconstruction of historical centers of small settlements of the Volyn region (on the example of Klevan, Rivne region). Underwater Technologies, Vol.05, 84-91 (in Ukrainian).
16. **Merlin Pierre, 1975.** New towns: regional planning and urban planning. Translated from the French. Moscow, Publishing House Progress, 255 (in Russian).
17. **Ludmila Ruban, 2016.** Underwater urban studies: modern issues and trends. Underwater Technologies, Vol.03, 54-65 (in Ukrainian).
18. **Bachinska L.G., 2004.** The architecture of the housing: The problems of theory and practice of structure formation. Kyiv, Gramota, 408 (in Ukrainian-Russian).
19. **Bachinska L.G., 2016.** The architecture of the housing of Ukraine of the middle of XX − beginning of XXI centuries: historical and analytical essay: a tutorial. Kyiv, KNUCA, 292. (in Ukrainian).
20. **Ikonnikov A.V., 2006.** Space and form in architecture and urban planning. Moscow, KomKniga, 352 (in Russian).
21. **Bachinska L.G., Stogniy A.V., 2009.** On the impact of socio-demographic structure and purchasing power of the urban population of Ukraine on the types and planning of modern housing. Modern problems of architecture and urban planning. Collection of scientific works, Vol.21, 310-328 (in Ukrainian).

**Развитие архитектурного объекта под влиянием социальной истории**

*Людмила Бачинская*

**Аннотация**. В течение истории развития человек как таковой эволюционирует, осваивая пространство вокруг себя, совершенствует орудия труда, речь, окружающую среду, приобретает опыт, развивает навыки и умения, формирует общество, государство, понятия о красоте, приемы строительства и многое другое. Вместе с ним архитектурные и градостроительные объекты изменяются по функции и планировке, по форме и стилю, физическим и пространственным параметрам и т.п. История архитектуры и градостроительства изучает главные направления градостроительного искусства в разные времена, разные эпохи и как культурное наследие разных народов. Но до сих пор не выяснено, как отличия в социально-экономических условиях и политическом устройстве в государствах влияют на направления формирования архитектурно-градостроительного объекта.

В данном исследовании установлено, что именно эти факторы являются определяющими. Они влияют на создание структуры социума с иерархическим построением слоев населения, где представители власти и силы, которые их защищают, находятся вверху. Определенная структура социума требует определенных приемов расселения в плане города. Таким образом, через *социум как способ происходит реализация влияния* указанных факторов на архитектурно-градостроительный объект. Рассмотрены структуры социума в мировой и советской практике и в качестве примера − влияние социальной структуры населения на особенности архитектуры жилья в Украине в течение XX – начале XXI столетий.

**Ключевые слова**: человек и его потребности, экономические отношения, политические условия, социум, архитектура и градостроительство.

# Інформація

*Електронний архів*

*Зберігається на сайтах установ:*

www.uwtech.at.ua (журнал «Підводні технології»)

www.usj.org.ua (веб-ресурс «Українські наукові журнали»)
www.irbis-nbuv.gov.ua (НБУ імені Володимира Вернадського)
www.library.knuba.edu.ua, www.science.knuba.edu.ua (КНУБА)
www.hydromech.org.ua/ru (Інститут гідромеханіки НАН України)
www.igs-nas.org.ua (Інститут геологічних наук НАН України)
www.geotm.dp.ua/index.php/ru (Інститут геотехнічної механіки імені Н.С.Полякова НАН України)
www.itgip.org (Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України)
www.paton.kiev.ua (Інститут електрозварювання імені Є.О.Патона НАН України)
www.naas.gov.ua (Національна академія аграрних наук України)
www.panukraina.pl (Польська Академія Наук, Представництво в Києві)
www.tu-freiberg (Technische Universität Bergakademie Freiberg)
www.up.lublin.pl (Universytet Przyrodniczy w Lublinie)
www.pollub.pl (Universytet Politechnika Lubelska)

www.underwater.pg.gda.pl (Gdansk University of Technology)
www.geol.univ.kiev.ua/ua (Київський національний університет імені Тараса Шевченка)
www.dnu.dp.ua/ru (Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара)
www.kdu.edu.ua/ru/MAIN.php (Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського)
www.kpi.ua/ru (НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»)
www.lp.edu.ua (Національний університет «Львівська політехніка»)
www.kpi.kharkov.ua (НТУ «Харківський політехнічний інститут»)
www.opu.ua (Одеський національний політехнічний університет)
www.pntu.edu.ua/ru (Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка)
www.kntu.kr.ua (Центральноукраїнський національний технічний університет)
www.nmu.org.ua (ДВНЗ Національний гірничий університет)

www.nuos.edu.ua (Національний університет кораблебудування імені академіка Макарова)
www.nure.ua (Харківський національний університет радіоелектроніки)
www.nung.edu.ua (Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу)
www.nubip.edu.ua (Національний університет біоресурсів і природокористування)
www.nuwm.edu.ua/ru (Національний університет водного господарства та природокористування)
www.onmu.odessa.ua (Одеський національний морський університет)
www.kstuca.kharkov.ua (Харківський національний університет будівництва і архітектури)
www.nltu.edu.ua (Національний лісотехнічний університет України)
www.ntu.edu.ua (Національний транспортний університет)
www.khadi.kharkov.ua (Харківський національний автомобільно-дорожній університет)
www.nuft.edu.ua (Національний університет харчових технологій)
www.ru.knutd.com.ua (Київський національний університет технологій і дизайну
www.pgasa.dp.ua (Придніпровська державна академія будівництва та архітектури)
www.kma.ks.ua (Херсонська державна морська академія)
www.zgia.zp.ua (Запорізька державна інженерна академія)
www.lutsk-ntu.com.ua (Луцький національний технічний університет)
www.vmurol.com.ua (Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»)
www.akadembud.org (Академія будівництва України)

www.uan.ua (Українська академія наук)

www.ndibv.kiev.ua (НДІ будівельного виробництва)

www.niisk.com (ДНДІ будівельних конструкцій)

www.ndibmv.kiev.ua (УНДІ будівельних матеріалів та виробів)
www.undergeo.com.ua (НДІ Підземспецбуд)

www.oceanmas.dp.ua (ООО Океанмашенерго)

www.baltrobotics.com (BaltRobotics Sp.z.o.o., Gdansk, Poland)

*Імпакт-фактор* журналу *Підводні технології*, 06/2017 складає 1,9 (травень 2017)

## *Правила публікації*

В журналі публікуються оригінальні матеріали обсягом 8 − 12 сторінок, включно з таблицями, рисунками та списком літератури (переважно індивідуальні, англійською мовою, склад авторів не більше трьох). Статті підлягають подвійному рецензуванню, у тому числі залученими редакцією незалежними фахівцями. Дописувачі передають видавцеві авторське право на тексти та письмові дозволи для відтворення рисунків і таблиць з неопублікованих раніше або захищених авторським правом матеріалів (www.uwtech.at.ua, www.library.knuba.edu.ua).

До *Заявки* на публікацію (*форма 1*) додають (uwtech@ukr.net) в електронному вигляді:

1) *Переклад* статті англійською мовою − завірений офіційно (підпис, печатка)
2) *Довідку* про автора(ів) (статус: прізвище, ім'я, по-батькові; науковий ступінь, вчене звання, місце роботи, адреса, посада; контактні відомості: ідентифікатор ORCID, фото автора(ів) в .jpg, мобільний телефон, електронну адресу) − *форма 2*
3) *Рецензію* (ім'я та прізвище рецензента зазначити мовою статті) − *форма 3*
4) *Рекомендацію* до друку (витяг з протоколу установи, де працюють автори)
5) *Угоду* (про вільне використання авторського права) − *форма 4*

## *Вимоги до статті*

*Загальні правила:*

- параметри аркуша: формат А4, верхнє та нижнє поля 2,5 см, ліве та праве 2 см; шрифт Times New Roman; колонтитули 1,3 см, абзацний відступ 0,5 см; розмір основного тексту 12, анотацій і літератури 11, міжрядковий інтервал 1
- статтю (.docx) форматують у дві колонки по 8 см з проміжком 1 см; встановлюють автоматичне перенесення слів
- назви таблиць та підписи під рисунками (розмір 11) розміщують ліворуч графічного об'єкту; в кириличних текстах − дублюють англійською (рядком нижче)
- в списку літератури – не менше 20 посилань (у тому числі на журнал *Підводні технології*); після прізвищ зазначають рік видання
- в транслітерованій літературі у дужках вказують мову оригіналу джерела, якщо воно на англомовне, наприклад (in Ukrainian), (in Russian), (in Poland) і т.д.
- в статтях, написаних кирилицею, в кінці дають анотацію англійською; в англомовних статтях – російською

*Структурування*:

- вихідні дані (шрифт Arial): назва рукопису (н/ж, ф.14), ім'я та прізвище автора (курсив, ф.12), місце роботи, поштова адреса, e-mail, ідентифікатор ORCID (ф.10); якщо авторів декілька – зазначають цифровими зносками; залишають по 5 пустих рядків між верхнім полем аркуша, вихідними даними і основним текстом статті
- структурні підрозділи статті:
  - АНОТАЦІЯ (150 – 200 слів)
  - КЛЮЧОВІ СЛОВА (5 – 8 слів)
  - ВСТУП
  - МЕТА І МЕТОДИ
  - РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ
  - ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ
  - ЛІТЕРАТУРА
- назва статті – інформативна та коротка; структура анотації − аналогічна структурі статті, без використання скорочень та абревіатур, усі пояснення дають в тексті; посилання – не більше 5 джерел в одному місці
- таблиці та рисунки розміщують після першого згадування про них, великі (на повну ширину аркуша) − зверху або знизу сторінки (не розриваючи одночасно обидві колонки тексту)
- ілюстрації – у форматах .jpg, .tif з роздільною здатністю не менше 300 dpi

*Оформлення*:

- пишуть прямо – цифри, грецькі букви, кирилицю, тригонометричні функції (tan, sin та ін.), усталені вирази (max, const та ін.), хімічні елементи; курсивом – англійські символи формул, римські цифри, номери експлікації
- між формулами, рисунками, таблицями і текстом залишають по 1 пустому рядку
- формули (розміром 12-9-7-16-12) набирають в Eq.3 або MathType 6.0 і центрують; нумерація – праворуч колонки; таблиці і рисунки – не перевищують область друку аркуша
- скорочені слова «Табл.» (Table), «Рис.» (Fig.) пишуть з великої букви (в тексті – світло, в назві – н/ж); текст на полі рисунків зводять до мінімуму, пояснення дають в підписах під рисунками
- список літератури дублюють англійською або за допомогою http://translit.net, вказуючи у дужках мову оригіналу (крім англійської, німецької, французької)
- в якості розділових знаків використовують тільки крапку і кому (стандарт APA); кількість сторінок (діапазон) вказують без їх позначення
- приклади оформлення статей і архів журналів – на сайтах www.uwtech.at.ua, www.library.knuba.edu.ua).

*Форма 1*

*Заявка на публікацію*

| № пор. | Ім'я, Прізвище автора(ів) | Документи | | | | | Назва статті (обсяг, стор.) *Рецензент* (ім'я, прізвище − мовою статті) | Замовлення | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Англ. переклад | Довідка (ф.2) | Рецензія (ф.3) | Рекомендація | Угода (ф.4) | | К-сть екз. | Оплата (грн.) | Підпис, Дата |
| 1 | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | *Рец.:* | | | |

*Форма 2*

*Довідка про авторів*

| № пор. | С т а т у с | | Контактні відомості | |
|---|---|---|---|---|
| | П.І.Б., науковий ступінь, вчене звання | Місце роботи, адреса, посада | ORCID, фото (.jpg) | моб. тел., e-mail |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |

*Форма 3*

*Рецензія*

Рецензія повинна містити:

1) *Назву статті, Прізвища авторів*
2) *Оцінку праці* (Оригінальність; Відповідність назви й тексту статті; Методи і Мета праці; Термінологія; Стиль викладення; Граматика)
3) зазначення *Якості статті* (по суті та її перекладу англійської або іншою мовою)
3) *Зауваження* й *Корективи* (або вказати на необхідність передачі статті іншому рецензенту)
4) *Рекомендацію* (до опублікування, подальшого опрацювання, повторного рецензування, відмовити у публікації)
5) *Дату, Підпис, Печатку*

*Форма 4*

**УГОДА № _____**

**про вільне використання авторського права**
щодо періодичного видання *Підводні технології*

м. Київ «___»_____ 201 р.

Редакцією міжнародного науково-виробничого журналу *Підводні технології*, засновником якого є Київський національний університет будівництва і архітектури з юридичною адресою: КНУБА, Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03037, в особі головного редактора д.т.н., професора М.К Сукача, з однієї сторони (далі – Редакція), та власник(и) майнових авторських прав в особі

_____ _____ _____,
(П.І.Б.) (науковий ступінь, звання) (ORCID)

_____ _____ _____,
(П.І.Б.) (науковий ступінь, звання) (ORCID)

_____ _____ _____,
(П.І.Б.) (науковий ступінь, звання) (ORCID)

з іншої сторони (далі – Автор(и)), які разом іменуються Сторони, керуючись Цивільним кодексом, Законом України «Про авторське право і суміжні права», іншими законодавчими і нормативно-правовими актами України, уклали цю Угоду про наступне.

§ 1

1.1. Автор(и) заявляють, що вони є дійсними авторами наукового Твору/Статті під назвою

_____

_____

_____
(мовою оригіналу)

який є результатом їхньої спільної творчої праці, і що вони мають відносно зазначеного твору виключне авторське право.

1.2. Автор(и) заявляють, що Твір/Стаття не порушує авторські права будь-якої третьої сторони, не містить будь-яких запозичень та немає ніяких інших обставин, які можуть наражати Редакцію до будь-якої відповідальності перед третьою стороною в результаті використання або публікації Твору/Статті.

1.3. Автор(и) заявляють, що у них є право розпоряджатися матеріалами, які містяться у Творі/Статті, зокрема текстами, фотографіями, картами, планами та ін., і що використання цих матеріалів у Творі/Статті не порушує права третьої сторони.

1.4. Автор(и) заявляють, що вони знайомі з вимогами оформлення статей, текст Твору/Статті підготовлено згідно з редакційними вимогами стосовно публікації у періодичному виданні *Підводні технології*.

1.5. Автор(и) заявляють, що Твір/Стаття не було опубліковано раніше в цілому або частинами (чи під тією ж або іншою назвою), і що він не був переданий для публікації будь-якому іншому періодичному виданню згідно Закону України «Про авторське право і суміжні права».

§ 2

2.1. Автор(и) надають Редакції вільно і без будь-яких обмежень на територію, час і кількість копій повне авторське право на Твір/Статтю з метою його опублікування у періодичному виданні *Підводні технології* в друкованому та електронному вигляді з наступними умовами використання:

а) збереження на будь-яких носіях/медіа;

б) розмноження Твору/Статті, його частин або фрагментів будь-якими відомими методами, копіювання Твору/Статті або його частин та фрагментів будь-якою технікою, зокрема друкуванням, різографією, магнітним записом та оцифруванням;

в) збереження на комп'ютері та розміщення у приватних і громадських комп'ютерних мережах (у тому числі Інтернет) і поширення через мережі;

г) розповсюдження оригіналу і/або копій Твору/Статті, окремих його частин або фрагментів, розповсюдження та передача в користування оригіналу або його примірників.

2.2. Автор(и) погоджуються на те, що редакторське опрацювання і тиражування періодичного видання здійснюється за кошти добровільних внесків Авторів публікацій.

§ 3

3.1. Автор(и) та Редакція згодні на те, що Редакція також матиме право:

а) здійснювати необхідне оформлення Твору/Статті за результатами його редакційної обробки;

б) визначати самостійно кількість видань, друк додаткових копій і тираж Твору/Статті, кількість копій окремих видань і додаткових тиражів;

в) опублікування Твору/Статті в інших виданнях, пов'язаних з діяльністю Редакції, ніж вказаних у п. 2.1.

§ 4

4.1. Автор(и) та Редакція спільно засвідчують, що вільне використання авторських прав в межах цієї угоди є безкоштовним.

4.2. Будь-які зміни до цієї Угоди мають бути складені у письмовій формі.

4.3. Питання, не врегульовані положенням цієї Угоди, підлягають правилам Цивільного кодексу та Закону України «Про авторське право і суміжні права».

4.4. Будь-які суперечки, які можуть виникнути під час виконання та протягом терміну дії цієї Угоди вирішуватимуться в межах територіальної юрисдикції за місцем знаходження Редакції.

Угоду складено у 2 (двох) ідентичних примірниках, по одному зі Сторін.

| АВТОРИ: | РЕДАКЦІЯ: |
|---|---|
| 1. _____ _____<br>(підпис) (П.І.Б.) | міжнародного науково-виробничого<br>журналу *Підводні технології*.<br>Повітрофлотський просп, 31,<br>Київ, Україна, 03037,<br>uwtech@ukr.net, +38 095 6297417 |
| 2. _____ _____<br>(підпис) (П.І.Б.) | |
| 3. _____ _____<br>(підпис) (П.І.Б.) | _____ М.К. Сукач |

Науково-виробниче видання

# ПІДВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

ПРОМИСЛОВА ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

**Випуск 06/2017**

**Статті публікуються в авторській редакції**


- Оформлення, стиль та зміст журналу є об'єктом авторського права і захищається законом
- Відповідальність за зміст та достовірність наведених даних несуть автори публікацій
- Редакція залишає за собою право редагувати та скорочувати подані матеріали
- Усі статті одержали позитивну оцінку незалежних рецензентів
- Передрук розміщених у журналі матеріалів дозволяється тільки за письмовою згодою редакції


**Рецензенти статей**


Viktor Banach, ScD eng., Prof.
Alexandr Kashchenko, ScD eng., Prof.
Valeriy Pisarenko, ScD of Phisics-Math., Snr. Res.
Valeriy Poznyakov, ScD eng., Snr.Res.
Henryk Sobczuk, Dr hab eng., Prof.
Oleksiy Vasilenko, PhD, Ass. Prof.
Анатолій Жерносеков, д.т.н., с.н.с.
Олександр Лапенко, д.т.н., проф.
Віталій Плоский, д.т.н., проф.
Катерина Пушкарьова, д.т.н., проф.



**Оригінал-макет виготовлено в редакції журналу *Підводні технології***

| | |
|---|---|
| Лінгвістичний консультант | *Marija Bezverkha* |
| Комп'ютерне верстання | *Лев Сукач* |
| Редагування і коректура | *Олександра Даніліна* |
| Макетування і обкладинка | *Тетяна Рощенко* |

**Редакція журналу**

КНУБА, Повітрофлотський просп., 31
лаб. корп., оф. 2313, Київ, Україна, 03037
+38 044 2454217, +38 095 6297417
www.uwtech.at.ua, uwtech@ukr.net

**Видавець і виготовлювач**

Видавництво Ліра-К
Свідоцтво № 3981, серія ДК
вул. Ф.Пушиної, 27, оф. 20-22, Київ, Україна, 03115
+38 044 2479337, +38 044 4509196
www.lira-k.com.ua, lira-k@ukr.net

Підписано до друку 10.05.2017. Формат 60×84 1/8
Папір офсетний. Друк офсетний. Гарнітура Times New Roman
Ум.-друк. арк. 12,09. Наклад 100 прим.