

ЗАСНОВНИК

Київський національний університет
будівництва і архітектури

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

Виходить 2 рази на рік

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

Михайло Сукач, д-р техн. наук, проф.

ЗАСТУПНИК РЕДАКТОРА

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

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР

Дмитро Міщук, канд. техн. наук, доцент

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Олександр Безверхий, д-р фіз.-мат. наук, проф.
Володимир Блінцов, д-р техн. наук, проф.
Олена Волошкіна, д-р техн. наук, проф.
Віктор Гайдайчук, д-р техн. наук, проф.
Анатолій Гончар, чл.-кор. НАНУ, д-р техн. наук, ст. наук. співр.
Дмитро Гончаренко, д-р техн. наук, проф.
Віктор Грінченко, акад. НАНУ, д-р техн. наук
Леонід Заміховський, д-р техн. наук, проф.
Олена Іванік, д-р геол. наук, проф.
Володимир Ковбаса, д-р техн. наук, проф.
Святослав Кравець, д-р техн. наук, проф.
Павло Кривенко, д-р техн. наук, проф.
Микола Кузьмінець, д-р техн. наук, проф.
Петро Куліков, д-р екон. наук, проф.
Олександр Менеїлюк, д-р техн. наук, проф.
Олексій Митропольський, чл.-кор. НАНУ, д-р геол.-мінер. наук, проф.
Володимир Михайлов, д-р геол. наук, проф.
Володимир Надутий, д-р техн. наук, проф.
Іван Назаренко, д-р техн. наук, проф.
Сергій Половка, д-р геол. наук, проф.
Віталій Плоский, д-р техн. наук, проф.
Ігор Ребезнюк, д-р техн. наук, проф.
Володимир Самуся, д-р техн. наук, проф.
Володимир Симоненко, д-р техн. наук, проф.
Володимир Снісаренко, д-р техн. наук, проф.
Геннадій Тонкачєв, д-р техн. наук, проф.
Олександр Трофимчук, чл.-кор. НАНУ, д-р техн. наук, проф.
Олександр Холопцев, д-р техн. наук, проф.
Сергій Шнюков, д-р геол. наук, доцент
Роман Шульц, д-р техн. наук, проф.
Олександр Щипцов, д-р геогр. наук, проф.

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-ВИРОБНИЧИЙ ЖУРНАЛ



ПІДВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

02/2015

ПРОМИСЛОВА ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

Заснований у серпні 2015 року

ПРОБЛЕМАТИКА

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

МІЖНАРОДНА РАДА

Гюран Брюнтсе, д-р, ас. проф., голова Асоціації альтернативної енергетики SERO, Швеція
Ян Глінські, чл.-кор. ПАН, д-р, проф., Польща
Максим Гоц, д-р, техн. директор корпорації Skyjack Inc., Канада
Карстен Дребенштедт, д-р, проф., TU Фрайбергська гірнича академія, Німеччина
Крішна Каястха, д-р, координатор гідротехнічної комісії, Непал
Еугеніуш Красовські, д-р, проф., голова комісії з моторизації та енергетики ЛВ ПАН, Польща
Михайло Нікітенко, д-р техн. наук, проф., Білоруський НТУ, Білорусія
Паоло Орсіні, президент міжнар. компанії IRD Engineering, Італія
Генрік Собчук, д-р, проф., директор Представництва ПАН в Києві, Польща
Євген Харченко, д-р техн. наук, проф., Вармінсько-Мазурський університет в Ольштині, Польща

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

Затверджено Вченою радою Київського національного університету будівництва і архітектури 30 жовтня 2015 р., протокол № 38

Мови видання українська, російська, англійська

Для науковців, виробників та фахівців

Зміст

Геоінформаційні системи та управління	
Петр Куликов, Михаил Сукач	3
О готовности Украины к освоению полезных ископаемых Мирового океана About readiness of Ukraine to mastering minerals of world ocean	
Сергій Половка	11
Історичний зріз геологічного вивчення Азово-Чорноморського регіону дослідниками України Historic cut geological study of the Azov-Black sea researchers the Ukraine	
Розробка корисних копалин	
Всеволод Франчук, Андрей Бондаренко	24
Математическая модель движения несущего потока в классификаторе гидравлическом горизонтальном Mathematical model of bearing stream motion in classifier hydraulic horizontal	
Архітектура та будівництво	
Володимир Гришин, Лев Гембарський, Володимир Снісаренко	32
Існуючі й проєктовані штучні острови та їх призначення Existing and projected artificial islands and their purpose	
Eduard Petrenko, Mahdi Gharakhanlou	40
Analysis of slope at increase of the static load Анализ состояния склона при увеличении статической нагрузки	
Kateryna Pushkarova, Maryna Sukhanevych, Kateryna Bondar	46
The principles of composite construction penetrability waterproofing mortars with increased service life Принципы композиционного построения гидроизоляционных растворов проникающего действия с повышенным сроком эксплуатации	
Механізація, автоматизація, енергетика	
Юрій Баранов, Ігор Косминський, Микита Мельниченко	53
Використання двигуна Стірлінга для промислового глибоководного видобування поліметалевих конкрецій в океані Using Stirling engine for the industrial production of polymetallic nodules deep in the ocean	
Інформаційні технології, логістика	
Олександр Безверхий, Вікторія Корнієнко	59
Дослідження впливу нелінійно-пружних характеристик матеріалу на динаміку підводних тросових систем Investigation of the influence of nonlinear elastic characteristics of the material on the dynamics of submarine cable systems	
Валерій Гавриленко, Олег Лимарченко, Оксана Ковальчук	66
Вплив сил Коріоліса на динаміку трубопроводу з рідиною при різних способах закріплення The influence of Coriolis forces on the dynamics of pipe with fluid Under different ways of fixing	
Інженерні системи та екологія	
Мирон Назарян, Юрий Стельмахов	72
Научные основы очистки сточных вод промышленных предприятий методом электрокоагуляции Scientific bases of cleaning of effluents of industrial enterprises by method of electro-coagulation	
Nataliya Zhuravska, Eduard Malkin	79
Energy-saving technologies with the use of water treat the magnetic fields Энергосберегающие технологии с использованием воды, обработанной в магнитных полях	
Інформація	84

О готовности Украины к освоению полезных ископаемых Мирового океана

Петр Куликов, Михаил Сукач

Киевский национальный университет строительства и архитектуры
Воздухофлотский просп, 31, Киев, Украина, 03680, e-mail: msukach@ua.fm

Аннотация. Украина добивается участия в международном консорциуме по разработке и освоению полезных ископаемых Мирового океана. Задействованы интеллектуальный и промышленный потенциал украинских организаций для проектирования морского горнодобывающего комплекса. Участие в совместном предприятии может решить проблему дефицита минеральных ресурсов и принести стране вполне ощутимые дивиденды.

Ключевые слова: международный консорциум, полезные ископаемые, Мировой океан, горнодобывающий комплекс, минеральные ресурсы.

ВВЕДЕНИЕ

Ранее считалось, что до конца прошлого столетия человечество на половину исчерпает земные запасы свинца, олова, серебра, золота и на треть – меди, никеля, цинка, а также в значительной степени марганца, хрома, молибдена и других металлов. Не ожидая начала сырьевого кризиса, полвека тому назад исследователи в поисках сырья направились на дно океана. В глубоководных месторождениях были выявлены большие запасы так называемых железомарганцевых конкреций (ЖМК), которые, кроме железа и марганца, содержат медь, цинк, кобальт, никель и др. металлы. Причем содержание в конкрециях некоторых этих металлов в несколько раз превышает запасы, найденные на суше. Поэтому разведка и исследование глубоководных ископаемых, а также разработка и создание

морских горнодобывающих комплексов является весьма актуальной проблемой, принимая во внимание непрерывный рост дефицита потребления металлов в мире.

Промышленная добыча руды на глубине 5...6 км, подъем ее на плавсредство и транспортирование на берег для металлургической переработки является достаточно сложным делом. Технически эта задача была практически разрешимой еще в середине 20-го столетия.

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Принимая во внимание проведенные исследования, ведущие страны мира и негосударственные консорциумы разделили между собой наиболее привлекательные участки в Тихом и Индийском океанах, предусматривая в будущем наладить их разработку (Рис. 1, 2). Согласно принятой в 1982 году международной Конвенцией ООН по морскому праву, первыми зарегистрированными вкладчиками были: Индия (получила участок в Индийском океане в 1983 г.), СССР (в 1983 г.), Франция (в 1984 г.), Япония (в 1984 г.) и четыре международных консорциума (Коннекот, ОМА, ОМИ, ОМКО, которые подали заявки в 1986 г.). Согласно договоренности статус контрактора первичным вкладчикам предоставлялся не ранее за 5 лет до запланированного начала промышленного производства [1, 2].

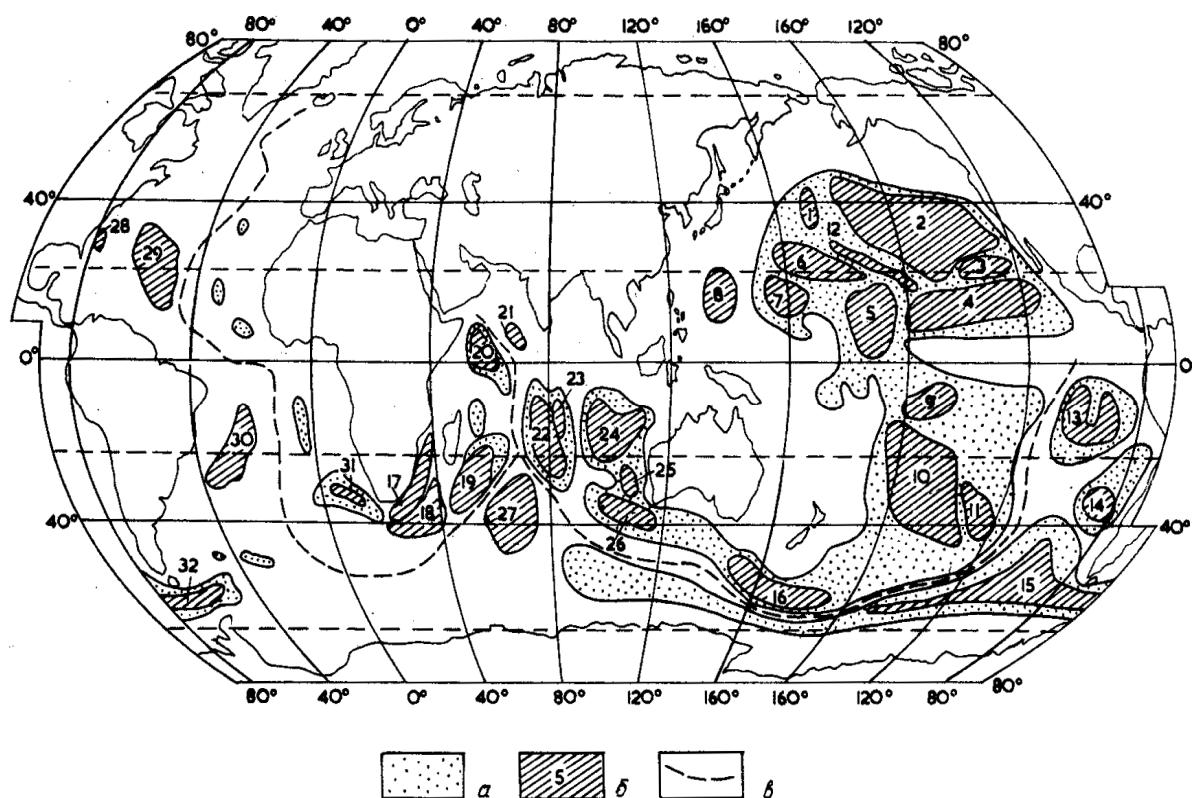


Рис. 1. Схема расположения рудных областей конкреций полиметаллов в Мировом океане: *a* – площадь распространения конкреций; *б* – рудные поля конкреций: **Тихого океана** (1 – Юго-западное; 2 – Юго-восточное; 3 – Калифорнийское; 4 – Кларин-Клиппертон; 5 – Центрально-тихоокеанское; 6 – Маркус-Неккер; 7 – Восточно-Марианское и Маршалловых островов; 8 – Филиппинское; 9 – Туамоту-общества; 10 – Южно-тихоокеанское; 11 – Юго-восточной части Южной котловины; 12 – Гавайское; 13 – Перуанское; 14 – Чилийское; 15 – Беллингаузена; 16 – Южно-тихоокеанского поднятия); **Индийского океана:** (17 – Агульяс; 18 – Мозамбикское; 19 – Мадагаскарское; 20 – Сомалийское; 21 – Аравийское; 22 – Центрально-индийское; 23 – Осборн; 24 – Западно-австралийское; 25 – Натуралиста; 26 – Амстердамское; 27 – Кроза); **Атлантического океана** (28 – Плато Блейк; 29 – Южно-американской котловины; 30 – Капской котловины; 31 – Бразильской котловины; 32 – Море Скотия); *в* – оси среднеокеанических хребтов

Fig. 1. A layout of ore areas of concretions of polymetals chart is in the World ocean: *a* – area of distribution concretions; *б* – are the ore fields of concretions : the Pacific ocean; Indian ocean; Atlantic ocean; *в* – are axis middle-ocean backbones

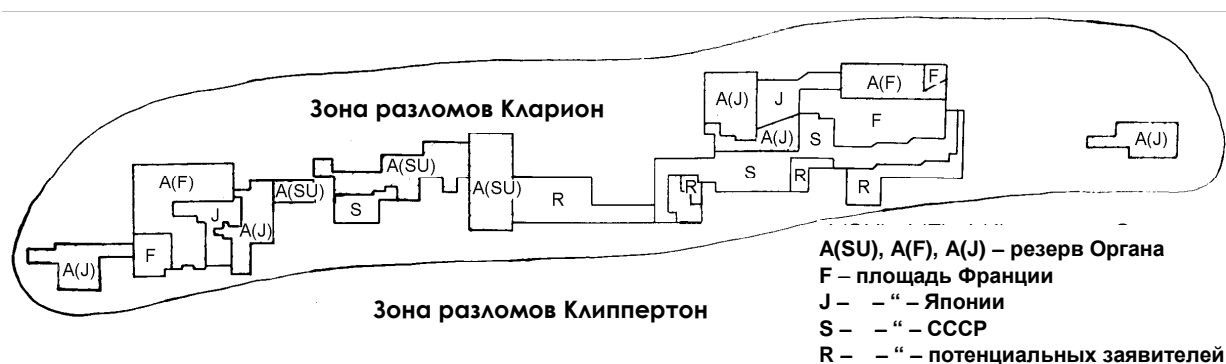


Рис. 2. Площади первоначальных вкладчиков

Fig. 2. Areas of primary depositors

Эти страны-заявители участков морского дна и международные консорциумы с помощью Международной организации по морскому праву (штаб-квартира в Ямайке, Джорджтаун) распределили между собой участки в наиболее разведанной зоне между Гавайскими островами и Североамериканским континентом в зоне Кларион-Клиппертон площадью 2,5 млн. км² [3].

Первоначально контракты с Международным органом по морскому дну в рамках Конвенции ООН по морскому праву на разведку железомарганцевых конкреций заключили ГНЦ Южморгеология (Россия), организации Китая, Индии, Японии, Южной Кореи, Германии, Франции. В 1987 г. страны Восточной Европы создали совместную организацию "Интерокеанметалл", которая также получила в концессию участок Тихого океана. Зарубежные организации осуществляют интенсивные геологические исследования своих участков, а также научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию технологического оборудования для их освоения.

В 2008 году в Орган поступили еще две заявки на утверждение планов работ по разведке в зарезервированных участках NORI (поручившееся государство Науру) и TOM (поручившееся государство – Тонга). К настоящему времени Органом разработаны правила поиска и разведки глубоководных полиметаллических сульфидов, кобальто-

марганцевых корок и объявлена заявочная компания на эти виды минеральных ресурсов морского дна.

До 1991 г. украинские предприятия и организации активно принимали участие в общесоюзном проекте разведки подводных залежей металлоносных руд и готовились к их добыче. В исследованиях были задействованные ученые и специалисты НАН Украины, отраслевых институтов и вузов, профильных предприятий [4]. Но после распада СССР правопреемником всех международных соглашений в этой отрасли стала Россия. В последнее время наши министерства и ведомства активизировали консультации относительно присоединения Украины к СО "Интерокеанметалл".

В 80...90-х годах разведка и оценка запасов ископаемых в Тихом и Индийском океанах были практически завершены, причем в большинстве случаев при участии украинских морских геологов и других специалистов. Конкреции изучали экспедиции научно-исследовательских судов "Академик Вернадский", "Профессор Водяницкий", "17-й съезд профсоюзов". Были построены и активно использовались суда "Антарес", "Михаил Ломоносов", "Академик Владимирский", "Южморгеология", "Геленджик". На разных участках дна океана количество и состав железомарганцевых конкреций отличаются, но в целом возможность рентабельной добычи и из-

Таблица 1. Характеристика месторождения железомарганцевых конкреций в регионе Кларион-Клиппертон

Table 1. Description of deposit iron-manganese concretions in the region of Klarion-Klipperton

Размер рудной области, тис. км ²	2500	Состав основных элементов, %	
Средняя плотность поля, кг/м ²	6,0	Fe	7,3
Запасы руды, млрд. т	5...12	Mn	27,0
Глубина океана, км	4,5...5,2	Ni	1,3
Мощность осадочного чехла, м	100...300	Cu	1,1
Грунт	Радиоляриевые илы	Co	0,25

влечения из руды свыше трех десятков дефицитных металлов не вызывает сомнения (Табл. 1).

Валовая стоимость прогнозных ресурсов полиметаллических руд, уже разделенных основными государствами, составляет: США \$578,2 млрд., Франции \$ 162,7 млрд., России \$ 191,4 млрд., Японии \$ 280,8 млрд., Китая \$ 184,3 млрд., Индии \$ 151,5 млрд. В зоне особых интересов бывшего СССР (75 тыс. км²) запасы руд 32 металлов оценивались в 707 млн. т (в т.ч. никеля 6,68 млн. т, кобальта 1,1 млн. т, марганца 142 млн. т) [5]. Консорциум "Интерокеанметалл", куда входили Россия, Польша, Болгария, Чехия, Словакия и Куба (с правами наблюдателя), получил в концессию участок с прогнозным содержанием 1 млрд. т руды.

О целесообразности вступления Украины в эту организацию переговоры ведутся уже более 25 лет на уровне профильных министерств и ведомств. Процесс активизировался после соответствующего решения СНБО Украины и проведения в 2008 г. ряда встреч генерального директора «Интерокеанметалла» Р. Котлиньски со специалистами НАН Украины, Минпромполитики, представителями ведущих НИИ и КБ Украины.

Было отмечено, что Украина может и должна внести весомый вклад в решение проблемы освоения морских месторождений, используя свой научно-технический и промышленный потенциал, а также подтвержден взаимный интерес к сотрудничеству в морском горнометаллургическом производстве [6].



Рис. 3. Схема выполнения обязанностей первичного вкладчика и подрядчика

Fig. 3. Chart of implementation of duties of primary depositor and contractor

Глубоководная добыча ископаемых предусматривает создание морского горно-металлургического комплекса. Такие работы начаты в бывшем СССР еще в 1983 г. Главной организацией проекта стал специально созданный для этого днепропетровский институт ВНИПИОкеанмаш, который был частью концерна "Ждановтяжмаш" (теперь это ОАО "Азовмш").

Основными разработчиками роботизированных систем управления подводными горнодобывающими комплексами были ГКБ "Южное" и ПО "Южмаш" (Днепропетровск). Производителями плавсредств (по проекту ленинградского ЦКБ "Восток") стали Черноморский и Херсонский судостроительные заводы. Первый полиметаллический сплав из руды со дна Тихого океана получен в середине 80-х гг. на Никопольском заводе ферросплавов.

В целом в Украине располагалось свыше половины предприятий, привлеченных к освоению подводных ископаемых. Предусматривалось, что для создания промышленного морского комплекса необходимы \$3,2 млрд. капиталовложений, что приблизительно сравнимо с расходами на освоение крупных месторождений цветных металлов на суше Талнахского (\$ 2,7 млрд.) и Удоканского (\$ 4,5 млрд.) месторождений. Морские горнометаллургические комплексы могут быть рентабельными при годовом объеме добычи около 3..4 млн. т [7]. По оптимистическому сценарию 80-х, начать промышленную добычу собирались уже в начале XXI века (Рис. 3), однако пока этого не произошло.

С распадом СССР острота дефицита на большинство редких металлов уменьшилась, поскольку из рынка ушел очень крупный потребитель – советский военно-промышленный комплекс. Но даже с учетом падения мировых цен на такие остродефицитные металлы, как медь, кобальт, никель и др., разработки в отрасли глубоководной добычи ископаемых не остановились. Напротив, в последнее время Япония, Китай, Южная Корея, Индия активизировали свои усилия по созданию морских комплексов, способных выполнять промыш-

ленную добычу руды на морском шельфе и на дне океана

Китай, например, совместно с Россией и "Интерокеанметаллом" провел комплекс глубоководных исследований на базе Тяньшаньского института добычи и металлургии. А Соединенные Штаты Америки даже полностью прекратили публиковать результаты исследований по глубоководной добыче в регионе Кларифон-Клиппертон. Это вовсе не свидетельствует о потере к ним интереса, а скорее, наоборот, – о дальнейшем обострении конкуренции.

ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ

Мировое сообщество пытается ускорить исследования и перевести их в практическое русло. Например, "Интерокеанметалл" и Международная организация по морскому праву подписали в 2001 г. контракт, согласно которому уже к 2015 г. должен был представлен пилотный проект добычного комплекса на выделенном участке. Принимая во внимание богатый опыт украинских машиностроительных организаций, в "Интерокеанметалле" уже давно говорят о привлечении в свои ряды специалистов Украины.

Раньше, импортируя медь, ванадий, молибден, вольфрам и другие редкие металлы, наша страна декларировала на государственном уровне свою заинтересованность в освоении подводных месторождений ЖМК. О намерениях Украины вступить в этот консорциум говорилось еще в "Концепции наращивания минерально-сырьевой базы, как основы стабилизации экономики Украины на период до 2010 р.", которая была принята КМ Украины в 1999 г.

Общегосударственная программа развития минерально-сырьевой базы Украины на период до 2030 года предусматривает освоение ресурсов Азово-Черноморского бассейна в зоне юрисдикции нашей страны [7]. Следовательно, стороны уже давно зондировали почву для решения этого вопроса.

Так, в Київському національному університеті будівництва та архітектури, НІІ будівельно-дорожньої та інженерної техніки спільно з ВНІПІОкеанмашем та іншими зацікавленими науковими та виробничими організаціями розроблено два варіанти глибоководного добувального комплексу для видобування залізомарганцевих конкрецій з глибини океану порядку 6000 м [8]. Комплекс мав буксирний агрегат з парним роторно-ковшовим робочим органом та самохідний агрегат на шнековому ході з вібраційним лотковим збірником. Система підйому – трубний стовп з шістьма пульпонасосами, розміщеними послідовно по довжині труби (Рис.4).

Установка випробовувалася спільно з СКБ техніки морських геологорозвідочних робіт (Мурманськ) на чорноморському полігоні в

районі г. Керч [9]. Для визначення експлуатаційного донного ґрунту та картирування місцезнаходжень авторами розроблено та патентовано комплекс пристроїв, обладнання та апаратури, застосований на судах ГНЦ Южморгеологія в період спільно-виробничих рейсів в райони майбутнього видобування ЖМК [10].

В початку 90-х рр. спеціалістами ВНІПІОкеанмаш були розпочаті проектно-конструкторські роботи по створенню нової концепції глибоководного комплексу для видобування розсипних корисних копалин, що знаходяться в поверхневому шарі донних відкладень океану. Комплекс включав в себе автономний агрегат збору залізомарганцевих конкрецій, що планується над дном на висоті декількох метрів, та судно забезпечення.



a



b

Рис. 4. Испытания самоходного агрегата сбора ЖМК: *a* – сборщик конкреций; *b* – блок промежуточный

Fig. 4. Tests of self-propelled aggregate of IMC collection: *a* – fitter of concretions; *b* – block is intermediate

Рабочий орган агрегата выполнен в виде непрерывной ковшовой цепи, сочлененной по ширине в несколько рядов. Это позволяет ковшам отклоняться при встрече непреодолимых препятствий, не нарушая целостности рабочего органа.

Внутри корпуса агрегата сбора размещены силовая установка и блок положительной плавучести, представляющий собой гидравлически соединенные между собой полые шарики, выполненные из материала – синтактика, имеющего плотность меньше единицы. При заполнении газом их внутреннего пространства с помощью газогенератора такая конструкция способна создавать положительную плавучесть, достаточную для подъема нескольких тонн ископаемого материала на поверхность воды.

По ряду причин, включая распад Советского Союза и отсутствие целевого финансирования, эти работы были сведены к минимуму и затем вовсе прекращены. Нарботанный технический и технологический потенциал аннулирован разом с выполненными проектами, построенными образцами машин и оборудования, а большинство сотрудников и специалистов, имеющих многолетний опыт конструирования и испытаний глубоководной техники, перешли в другие сферы деятельности. И все же:

ВЫВОДЫ

1. Украина готова вести собственные исследования по глубоководной разработке месторождений твердых полезных ископаемых, добываясь выделения зоны экономических интересов в Тихом и Индийском океанах, или требовать у России свою часть союзного наследства. Однако из-за финансовых разногласий, участие в международном консорциуме является более предпочтительным.

2. Приняв решение о вступлении в международный консорциум "Интерокеанметалл", уже в ближайшее время могут быть задействованы интеллектуальный и промышленный потенциал украинских предприятий и организаций, когда начнутся

работы по проектированию морского комплекса, общего для стран-участниц.

3. Современное состояние изученности минеральных ресурсов Мирового океана и уровень достигнутых результатов неуклонно приближает время принятия ответственных решений, связанных с их освоением. А участие в разработке полезных ископаемых Мирового океана может принести стране вполне ощутимые дивиденды.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Казмин Ю.Б., Глумов И.Ф., Корсаков О.Д. и др., 1988.** Принципы подсчета прогнозных ресурсов и запасов полиметаллических конкреций Мирового океана. Геленджик, ПО Южморгеология», 104.
2. **Морское право, 1984.** Официальный текст Конвенции ООН по морскому праву с приложениями и предметным указателем. Заключительный акт 3-й конференции ООН по морскому праву. Нью-Йорк, ООН, 316.
3. **Правила регистрации первоначальных вкладчиков и положение о конфиденциальности данных и информации, 1986.** Подготовительная комиссия для Международного органа по морскому дну и Международного трибунала по морскому праву. Кингстон, Ямайка, 42.
4. **Шнюков Е.Ф., Зиборов, А.П., 2004.** Минеральные богатства Черного моря. Киев, Карбон-ЛТД, 279.
5. **Казмин Ю.Б., Волков А.Н., Глумов И.Ф. и др., 1989.** Международно-правовые и экономические проблемы поиска, разведки и освоения минеральных ресурсов глубоководных районов Мирового океана. Геленджик, ПО Южморгеология», 143.
6. **Зиборов А.П., 2008.** Перспективы и задачи освоения морских месторождений минерального сырья. Геология и полезные ископаемые Мирового океана. Вып. 3, 5-18.
7. **Закон України** про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року, **2011.** Відомості Верховної ради України (ВВР), № 44, ст. 457.
8. **Сукач М.К., 1998.** Самоходная установка для сбора железомарганцевых конкреций. Известия вузов. Строительство, № 9, 99-103.
9. **Сукач М.К., 2012.** Глубоководная техника и технология для разработки полезных иско-

паемых Мирового океана. Труды VI Международн. науч.-техн. конф. Энергия-2012, Симферополь, Алушка, 9.

10. **Сукач М.К., 2004.** Рабочие процессы глубоководных машин. Киев, Наук. думка, 364.

REFERENCE

1. **Kazmin Ju.B., Glumov I.F., Korsakov O.D. i dr., 1988.** Principy podscheta prognoznyh resursov i zapasov polimetallicheskikh konkrezij Mirovogo okeana. Gelendzhik, PO Juzhmoregeologija», 104 (in Russian).
2. **Morskoe pravo, 1984.** Oficial'nyj tekst Konvencii OON po morskomu pravu s prilozhenijami i predmetnym ukazatelem. Zakljuchitel'nyj akt 3-j konferencii OON po morskomu pravu. New York, OON, 316 (in Russian).
3. **Pravila registracii pervonachal'nyh vkladchikov i polozenie o konfidencial'nosti dannyh i informacii, 1986.** Podgotovitel'naja komissija dlja Mezhdunarodnogo organa po morskomu dnu i Mezhdunarodnogo tribunala po morskomu pravu. Kingston, Jamajka, 42 (in Russian).
4. **Shnjukov E.F., Ziborov, A.P., 2004.** Mineral'nye bogatstva Chernogo morja. Kiev, Karbon-LTD, 279 (in Russian).
5. **Kazmin Ju.B., Volkov A.N., Glumov I.F. i dr., 1989.** Mezhdunarodno-pravovye i jekonomichekije problemy poiska, razvedki i osvoenija mineral'nyh resursov glubokovodnyh rajonov Mirovogo okeana. Gelendzhik, PO Juzhmoregeologija», 143 (in Russian).
6. **Ziborov A.P., 2008.** Perspektivy i zadachi osvoenija morskikh mestorozhdenij mineral'nogo syr'ja. Geologija i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana. Vyp.3, 5-18 (in Russian).

7. **Zakon Ukrai'ny pro zatverdzhennja Zagal'noderzhavnoi' programy rozvytku mineral'no-syrovynnoi' bazy Ukrai'ny na period do 2030 roku, 2011.** Vidomosti Verhovnoi' rady Ukrai'ny (VVR), № 44, 457 (in Ukraine).
8. **Sukach M.K., 1998.** Samohodnaja ustanovka dlja sbora zhelezomargancevyh konkrezij. Izvestija vuzov. Stroitel'stvo. № 9, 99-103 (in Russian).
9. **Sukach M.K., 2012.** Glubokovodnaja tehnika i tehnologija dlja razrobotki poleznyh iskopaemyh Mirovogo okeana. Trudy VI Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. Energija-2012, Simferopol', Alupka, 9 (in Russian).
10. **Sukach M.K., 2004.** Rabochie processy glubokovodnyh mashin. Kiev, Naук. dumka, 364 (in Russian).

ABOUT READINESS OF UKRAINE
TO MASTERING MINERALS
OF WORLD OCEAN

Petro Kulikov, Mykhailo Sukach

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

Summary. Ukraine labors for participating in an international consortium on development and mastering of minerals of the World Ocean. Attracted intellectual and industrial potential of Ukrainian organizations for planning of marine mining complex. Participating in a joint venture can decide the problem of deficit of mineral resources and bring fully perceptible dividends to the country.

Key words: international consortium, minerals, World Ocean, mining complex, mineral resources

Історичний зріз геологічного вивчення Азово-Чорноморського регіону дослідниками України

Сергій Половка

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини
Вул. Садова, 2, Умань, Україна, 20300, e-mail: sergi_polovka@ukr.net

Анотація. В статті висвітлено тенденції розвитку морських геологічних досліджень в Україні. Розглянуто становлення наукових напрямів і шкіл у галузі геології океанів і морів. Приділено значну увагу науковим напрацюванням українських дослідників акваторії Світового океану як прикладного, так і теоретичного гатунку.

Ключові слова: історія морської геології, геологія океанів і морів, Україна, Азово-Чорноморський регіон.

ВСТУП

У зв'язку з неодноразовим реформуванням науки в Україні, на етапі сучасного державотворення, виникає необхідність фіксації історичних етапів розвитку її окремих наукових напрямів, в тому числі і морської геології. Для відновлення та виведення на передові рубежі геології океанів і морів необхідно не тільки добре знати її минуле, пов'язувати його з сучасним станом, але й чіткіше уявляти шляхи розвитку цієї науки в майбутньому.

Азово-Чорноморський регіон – унікальна природна лабораторія, де спостерігаються різноманітні фізичні, хімічні, геологічні, гідрогеологічні, геохімічні, гідробіологічні та інші процеси, які вивчаються дослідниками вже впродовж більше ста років у всіх напрямках, але актуальність його подальшого вивчення залишається.

Історії геологічного вивчення Азово-Чорноморського регіону присвячена низка

наукових праць [2; 8 – 11]. Слід зазначити, що в цих роботах показано здобутки того чи іншого напрямку геології океанів і морів в Україні та охоплено певний проміжок часу. Ми зробимо спробу комплексно висвітлити історію дослідження регіону починаючи з перших кроків у галузі морської геології в нашій державі.

Ми ставимо перед собою завдання висвітлити напрацювання українських дослідників у різні часи існування морських геологічних досліджень в Україні.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Азово-Чорноморський регіон вивчали в античні часи (VIII – IV ст. до н. е.) фінікійці і греки, у середньовіччі (IX – XVII ст.) – росіяни, генуезці та венеціанці. З XV ст. Османська імперія перешкоджає вивченню регіону майже на три століття.

Задовго до офіційного визнання існування морської геології в Україні, узбережжя і дно Чорного та Азовського морів вивчалися багатьма дослідниками, які робили перші кроки в даній галузі науки. Перші офіційно визнані дослідження глибин акваторії Азово-Чорноморського регіону здійснили капітан П. Памбург і штурман Х. Отто, які провели проміри глибин Чорного моря на шляху до Стамбулу та замальовували його береги, під час доставки російського посла Є. Українцева та членів

посольства в Стамбул на кораблі «Крепость» (1699 р.).

Новий виток вивчення Азово-Чорноморського регіону відбувся в Петровський період, після приєднання Кримського півострову та Північного Причорномор'я до Росії. В цей час розпочинає розвиватися економічна інфраструктура регіону, яка потребує гідрографічних відомостей. У 1820 році відбулася франко-російська експедиція та гідрографічна експедиція на чолі з Є. П. Манганарі на яхті «Голубка». За результатами цих експедицій були побудовані Атлас (1841) та Лоція Чорного моря (1851). В Атласі містилися відомості про морські ґрунти, течії й глибини до 300 сажень (180 м) і т. п. В подальшому ці картографічні твори Єгора та Михайла Манганарі слугували флоту понад 100 років і використовувалися при складанні радянських морських карт та карти закордонних берегів Чорного моря.

До середини XIX ст. основним завданням дослідників було визначення глибини акваторії для потреб навігації та накопичення різномірної інформації про дно морів і океанів. В цей час у теоретичній геології домінувала гіпотеза «кратерів підняття» (автори Л. фон Бух і А. Гумбольдт, 20-ті роки XVIII ст.) та в подальшому вона вичерпала своє існування і була відкинута на основі опрацювання багаточисельного фактичного матеріалу, що свідчив на користь контракції.

З середини XIX до початку XX століття в класичній геології домінує гіпотеза контракції (авт. французький геолог Елі де Бомон, 1852), яка базувалась на космогенічних побудовах Канта-Лапласа. Цю гіпотезу підтримували відомі геологи Е. Ог, Г. Штілле, О. П. Карпінський, І. М. Мушкетов та інші. На основі цих поглядів була створена фундаментальна праця австрійського вченого Е. Зюсса «Лице Землі» (том 1 – 3, 1883 – 1909). Він та інші європейські вчені відкидали поняття «підняття» земної кори. Всі підняття називалися ті, що «здаються» або вважалися «запізними» опусканнями і пояснювалися з позиції контракції або евстатичними рухами. Е. Зюсс писав: «Ми знаємо евстатичні рухи двох ро-

дів: одні викликані опусканням земної кори, епізодичні та від'ємні; другі - викликані приростом морських осадків, постійні і додатні». Поки ці погляди домінували в теоретичній геології, ідея про геосинкліналі не могла бути висунута в ранг вчення, хоча російські вчені П. П. Дорошин (1871) і С. М. Нікітін (1895) розглядали зміни положення континентів і морів з позиції трансгресії та впливу коливань самої суші [12].

На кінець XIX століття велике значення для ствердження ідеї про геосинкліналі мав розгром ортодоксальної позиції Е. Зюсса. Визнання існування підняття земної кори (хоча евстатичні коливання відкидалися) дало імпульс подальшому розвитку не тільки новому вченню, а й для всієї теоретичної геології.

Значний внесок у вивчення геологічної будови Чорного моря здійснили вчені Новоросійського університету (заснований у 1865 р. в м. Одеса на базі Рішельєвського лицею, з 1920 реорганізовано в низку інститутів (народної освіти, фізико-хіміко-математичний та ін.), а з 1933 р. відтворений як Одеський) [8; 10].

Становлення морської геології в Новоросійському університеті відбулося в той час, коли в геологічній науці зароджувалося та розвивалося вчення про геосинкліналі (Д. Холл, 1857; Д. Дена, 1873). Європейські вчені перетворили його в чітку наукову концепцію, яку підтримували та розвивали Е. Ог, Г. Штілле, Л. Кобер, Ч. Шухерт, А. А. Борисяк, С. М. Бубнов, А. Д. Архангельський, М. С. Шатський, В. В. Білоусов, А. В. Пейве, В. Ю. Хаїн та ін. Перший у статті «Геосинклиналі и континентальные площади» (1900) сформулював основні положення вчення про геосинкліналі [12]. В цій науковій праці Е. Ог геосинкліналям протиставляє платформи і цим ставить під сумнів дієвість контракційної гіпотези.

До офіційного визнання морської геології в Україні, узбережжя і дно Чорного та Азовського морів досліджувалося багатьма вченими, які робили перші кроки в даній галузі науки. Формування напрямів морської геології проходило за безпосередньою

участю вчених єдиного приморського вузу на теренах України в складі Російської Імперії – Новоросійського (Одеського) університету: М. О. Головкінського, І. Ф. Леваковського, М. Є. Крендовського, Р. А. Пренделя, М. П. Рудського, Н. А. Соколова, Є. М. Брусиловського, Н. А. Скальського, М. Д. Сидоренко, М. І. Андрусова та інших видатних вчених XIX ст. [8; 10].

Аналізуючи становлення морської геології в Новоросійському університеті, слід згадати наукові напрацювання професора М. О. Головкінського, який встановив загальні закономірності змін характеру осадоконакопичення в басейні, що піддається вертикальним коливанням (принцип Головкінського) та ввів у вжиток в російській геологічній науці термін «фація», який запропонував Греслі (1838) і «горизонт», сформулював закон утворення річкових терас). М. О. Головкінський сприймає нову наукову ідею геосинкліналей та прищеплює її Р. О. Пренделю та М. І. Андрусову.

Науковий авторитет професора Головкінського та географічний аспект – близькість моря – ось ті фактори, що виступили рушійною силою, яка спонукала до становлення та розвитку напряму геологічної думки в Новоросійському університеті – вивчення стику суша – море та дна акваторії Чорного моря.

Перевірка дієвості гіпотези контракції відбувалася через співставлення континентальних та морських відкладень, при цьому основним завданням було встановити:

- 1) зв'язок коливань геосинкліналі з коливаннями всього континенту;
- 2) літологічний склад донних відкладень.

Тепер розглянемо, що було зроблено для підтвердження або спростування контракційних поглядів, які на цей час претендували на створення узагальнених і цілісних уявлень про все різноманіття геологічних процесів.

І. Ф. Леваковський (1881) вивчав рух гальки та валунів в узбережній зоні, Р. О. Прендель (1891) дослідив раніше за європейських вчених морські тераси на прикладі кавказьких берегів Чорного моря; М. П. Рудський (1894, 1895) – морські береги на ділянці м. Айя – Судак. Р. О. Пре-

ндель пояснює причини зміни рівня моря (опускання – підймання суші) та утворення лиманів (вторгнення моря в річкові долини) [2; 8; 10].

Важливий напрям досліджень відображено в наукових працях М. Є. Крендовського (1881, 1884), М. А. Соколова (1895 – 1896) [15 – 17] та Є. М. Брусиловського (1897). Перший займався дослідженням дельти р. Дніпро, Бугського, Дністровського та інших лиманів. Він встановив швидкість зростання дельти, описав будову цих лиманів та їх відклади. Другий – наводить відомості про будову дна лиманів Північного Причорномор'я. Наступний дослідник – детально проаналізував походження одеських лиманів та палеогеографічну обстановку в четвертинний період геологічної історії Чорного моря.

Продовжує та поглиблює дослідження в цьому напрямі проф. Новоросійського університету М. Д. Сидоренко (1897, 1898, 1901). Він вперше в Російській Імперії застосував поляризаційний мікроскоп для петрографічного опису мулів і наносів із Куяльницького та Хаджибейського лиманів. Його наукові роботи показали, що мул вміщує велику кількість продуктів життєдіяльності організмів, а також мінерали: кварц, польовий шпат, гіпс, апатит, рутил, альбіт, лепідомелан, мусковіт, гетит, арагоніт, гідротроїлит [2].

Важливу роль у вивченні Азово-Чорноморського басейну відіграв М. І. Андрусов, який запропонував у 1889 р. проект комплексних глибоководних досліджень у Чорному морі. Його стаття «О необходимости глубоководных исследований в Черном море» (1890) спонукала до організації першої океанологічної експедиції (1890 – 1892) на чолі з І. Б. Шпиндлером на канонерських човнах «Черноморец», «Донец» і «Запорожец». В роботі цієї експедиції взяли участь М. І. Андрусов, М. Д. Зелінський та ін. [2; 8; 10].

Під час експедиції, здійснено батиметричні виміри (117 точок – глибини більше 100 м) Чорного моря та опубліковано в 1899 р. карту в масштабі 1:4000000, де показано ізобати 100, 500, 1000 і 1200 морських сажень. Не дивлячись на спрощенні

контури карти, основні особливості рельєфу дна моря відображались вірно. В результаті цього було встановлено, що центральна частина Чорного моря є западиною, глибина якої сягає 2244 м.

Дослідження речовинного (літологічного, мінерального, геохімічного) складу осадків Чорного моря заклав в своїх наукових працях М. І. Андрусов (1890, 1892, 1894), саме під час першої глибоководної експедиції (1892), яка завершилася двома великими відкриттями: 1) виявлення на дні моря решток післятретинної фауни каспійського типу; 2) відкриття зараження глибин Чорного моря сірководнем.

Микола Іванович Андрусов першим описав глибоководні осадки і виявив у них стягнення кальциту – др'юїту, йому та М. Д. Зелінському належить гіпотеза походження сірководневого зараження глибинних вод за рахунок біогенного сірководню. М. Д. Зелінський експериментально довів (1891), що сірководень – продукт біогенного походження.

Перевірка місця закладення геосинкліналі за Деном (на краях материка) і Огом (між континентами) спонукає М. І. Андрусова до буріння в акваторії. Вперше морське буріння в сучасних територіальних водах України здійснив Микола Іванович у 1918 р. в акваторії Керченської протоки. Він побудував геологічні розрізи дна, дослідив літологічні особливості четвертинних утворень і висловив думку про ерозійне походження Керченської протоки [11].

На основі проведених робіт по складанню геологічної карти і багаторічних попередніх досліджень, на початок ХХ ст. основні підрозділи стратиграфії мезозою і нижньотретинних відкладів Криму були визначені. Одночасно, на прикладі геологічної будови Керченського півострову було з'ясовано основні риси стратиграфії і палеогеографії неогену для всієї Азово-Чорноморської області. Особлива заслуга в цьому М. І. Андрусова, який у наукових працях надав вичерпну характеристику окремим стратиграфічним горизонтам міоцену й пліоцену півдня України. Він всебічно опрацював низку груп викопних молюсків, таких як дрейсен, кардид та ін., що

мало винятково важливе значення для висвітлення палеогеографічних умов Чорноморської і Каспійської областей [8; 10].

Спираючись на дослідження М. І. Андрусова, перший Президент Академії наук України акад. В. І. Вернадський особливо наголошує на необхідності проведення геохімічних досліджень в Азовському морі та вивченні природної радіоактивності Південного берегу Криму.

Перша імперіалістична війна 1914 р. та події 1917 – 1922 рр. в Росії, призупинили наукові дослідження Азово-Чорноморського регіону.

На цей час у Новоросійському університеті було закладено фундамент таким науковим напрямом досліджень в області морської геології, як палеонтологія і стратиграфія донних осадків, літологічний склад та умови їх накопичення і співставлення з континентальними відкладами; вивчення корисних копалин на дні моря та палеогеографія утворення лиманів, їх еволюція, можливе використання. На середину 50-х років ХХ ст. методи аналізу перерв і неузгодженостей стають провідними для розшифрування геологічної історії окремих районів акваторії Світового океану, служать фактологічною основою для доказу існуючих та створення узагальнюючих гіпотез, в яких робилися спроби пояснити виявлені особливості в будові земної поверхні однією загальною для всієї земної кулі причиною.

Накопичений вченими Новоросійського університету фактичний матеріал дає підставу по-новому поглянути на місце і сутність та направленість геологічних процесів у розвитку Землі.

Розвиток теоретичної геології в кінці ХІХ століття (не є виключенням і морська геологія в Новоросійському університеті) завершився зміною космогонічних уявлень про Землю. Її розпочали розглядати, як первісно холодне тіло, що розігріте з середини. Пояснення еволюції земної кори та літосфери одні вчені починають трактувати з позиції мобілізму (Ф. Тейлор, 1910; А. Вегенер 1912 та ін.), інші – фіксизму (В. В. Білоусов та ін.). Перше на деякий час не знаходить підтримки серед вчених,

згодом до нього повертаються в 60-х роках ХХ ст.

Накопичений матеріал із геологічної будови Чорноморської западини в кінці 30-х років ХХ ст. з точки зору вчення про геосинкліналі і платформи був узагальнений А.Д. Архангельським і М.М. Страховим, які видають перше в світі монографічне узагальнення по Чорному морю – «Геологическое строение и история развития Черного моря» (1938).

Подальший розвиток дослідження розпочаті в Новоросійському університеті продовжили інші дослідники Р.Р. Виржиковський і Г.І. Молявко.

З'ясування складності геологічної історії Азово-Чорноморського басейну в четвертинний час вимагає поєднання зусиль по вивченню будови цього басейну з розглядом процесів розвитку рельєфу Російської рівнини, Криму та Кавказу. В зв'язку з цим, треба згадати наукові праці Г. І. Молявко (1948 та ін.) по дослідженню геологічної будови районів прилеглих до узбережжя Чорного та Азовського морів. В цих роботах був зіставлений стратиграфічний розріз чорноморських відкладів із континентальними утвореннями прилеглих районів суші. Подальшого розвитку набуває стратиграфічний напрям досліджень, який був започаткований М. І. Андрусовим. Він досить широко представлений у наукових працях його послідовників: Р. Р. Виржиковський (1928), Г. І. Молявко (1960) та ін. [11]

Після Другої Світової війни Україна ввійшла до складу Організації Об'єднаних Націй, зріс її міжнародний авторитет, активізувалася наукова діяльність, зокрема в геології. Створюються нові геологічні школи та наукові напрями: тектоністів (В. Г. Бондарчук), рудників (М. П. Семенов, Я. М. Белєвцев), нафтовиків (В. Б. Порфір'єв), гідрохіміків (К. І. Маков, А. Є. Бабинєць), літологів (Л. Г. Ткачук), мінералогів (Є. К. Лазаренко, О. С. Поварених) [9]. Нові наукові досягнення в цих галузях знань, стали поштовхом для досліджень тієї частини земної поверхні, що вкрита водами Світового океану. Зокрема, серед основних таких до-

сягнень, слід виділити створену В. Г. Бондарчуком теорію тектоноорогенії, де він науково обґрунтував єдність процесу розвитку структури та рельєфу Землі. Хоча в теорії Володимира Гавриловича відсутні поняття про тектоніку літосферних плит, зони субдукції, спрединг, але створена ним теорія тектоорогенії підштовхує його послідовників до мобілістського сприйняття землебудови [11].

Згодом було з'ясовано дані про планетарні розломи. Це слугувало підґрунтям для виявлення планетарної системи серединно-океанічних хребтів і рифтових долин, а також досягненнями в області палеомагнетизму та появи нових гіпотез, що були пізніше об'єднані в єдину концепцію – тектоніка літосферних плит.

Увагу українських геологів, насамперед, привертає вивчення будови Азово-Чорноморського басейну (С. І. Субботін, В. Г. Соллогуб, А. В. Чекунов), біостратиграфії сучасних донних відкладів Чорного та Азовського морів (В. Я. Дідковський), рудоносності кіммерійських відкладів Азовського моря (Є. Ф. Шнюков), сучасних ільменіт-цирконієвих розсипищ смуги Чорного і Азовського морів (В. Х. Геворк'ян) [9; 11].

З часу офіційного започаткування геології океанів і морів в УРСР (ХІІ рейс НДС «Михаил Ломоносов») морські геологічні дослідження почали розвивати в системі АН УРСР, Міносвіти УРСР та Мінгео УРСР. Академічна морська геологія була сконцентрована в ІГН АН УРСР і розвивалися за трьома основними напрямками: гідрогеологія і ґрунтознавство (А. Є. Бабинєць), біостратиграфія і палеонтологія (В. Я. Дідковський), літологія (В. Х. Геворк'ян, В. І. Мельник) [9].

У 60-х – 70-х роках ХХ ст. морські геологи України активно розпочали наукові дослідження Азово-Чорноморського регіону, а особливо його шельфову смугу. В першій половині 70-х років ХХ ст. розпочинається реалізація принципу А. Д. Архангельського (1933), який покладено в основу складання тектонічних карт, через ідею геологічного картування Азово-Чорноморського регіону. В 1964 р.

Є. Ф. Шнюков та очолюваний ним колектив переобладнали бурове судно «Геохимик» і довели його можливість здійснювати бурові роботи в морі на глибинах 30 – 40 м та проходити свердловини з повним відбором керну потужністю до 100 м. Постала нагальна потреба використовувати повноцінні картографічні дані для ретельної прив'язки свердловин в акваторії Чорного моря. В зв'язку з цим, за дорученням директора ІГН АН УРСР академіка АН УРСР Є. Ф. Шнюкова в Севастополь були відряджені співробітники відділу сучасного морського седиментогенезу (О. Ю. Митропольський та В. І. Мельник) для налагодження ділових контактів і укладання угоди «Про творче співробітництво» з Гідрографічною службою Червонопрапорного Чорноморського флоту Військово-морського флоту (ГС ЧЧВ ВМФ) СРСР, яку очолював кандидат військово-морських наук, контр-адмірал Лев Іванович Мітін.

Ідею такої співпраці гаряче підтримав Президент АН УРСР – академік Борис Євгенович Патон. У зв'язку з цим, було проведено спеціальне спільне засідання Президії АН УРСР з Чорноморською гідрографією, на якому ухвалено угоду між АН УРСР та ЧЧФ ВМФ СРСР.

З моменту підписання угоди (яка була першою в Україні такою співпрацею між військовими та науковцями), розпочалися спільні геолого-гідрографічні дослідження на ГіСу «Гідролог» та інших судах не тільки в Чорному морі, а практично в усіх акваторіях Світового океану, де була потрібна батиметрична зйомка. Співпраця АН УРСР з ГС ЧЧФ ВМФ СРСР породжує спільне використання різних підводних апаратів під час експедицій. Наслідком такої взаємодії при дослідженнях стає побудова карт розповсюдження палеодолин і каньйонів масштабу 1:500000 і 1:250000, що є першим узагальнюючим свідченням про ці унікальні форми підводного рельєфу (В. І. Мельник, Л. І. Мітін), розробляється нова методика – «Методика досліджень у спеціалізованих геологічних експедиціях на ГіСу та ОДС» (авт. Л. І. Мітін, О. Ю. Митропольський та ін.).

Особливою подією для радянських морських геологів стало глибоководне буріння в акваторії Чорного моря (травень – червень 1975 р.) з американського науководослідного бурового судна «Гломар Челленджер». В цей час Радянський Союз стає учасником міжнародної програми «Джодес» по глибоководному бурінню в Світовому океані. Буріння проводилося у трьох точках, одна з яких розташована у східній частині Чорного моря, а дві – на траверзі протоки Босфор. Пробурені свердловини (№№ 379; 380; 381) викрили товщу осадків від міоцену до голоцену, найглибша із них сягнула 1073 м від поверхні дна. В роботі з підготовки буріння та обробки отриманого фактичного матеріалу разом з російськими колегами з Інституту океанології АН СРСР та його відділень приймали участь морські геологи з АН УРСР (О. Ю. Митропольський – ІГН АН УРСР) та Міністерства УРСР (С. І. Шуменко – Харківський державний університет імені В. Н. Каразіна) [9; 11].

Колеги з Одеського державного університету імені І. І. Мечникова Міністерства освіти УРСР в 70-х роках ХХ століття під керівництвом доцента Г. Г. Ткаченко на перспективних площах північно-західного шельфу Чорного моря розпочинають впроваджувати і розвивати на новому науковому рівні ідею академіка В. І. Вернадського (вивчення газового режиму Землі) – через дослідні роботи по газохімічним пошукам родовищ нафти і газу. Такі роботи були піонерними не тільки в СРСР. Згодом співробітниками (Г. Г. Ткаченко, О. П. Чередніченко, Б. С. Слюсар та ін.) галузевої лабораторії морської геології і геохімії була проведена площинна вуглеводнева газова зйомка північно-західного шельфу Чорного моря та всього Азовського моря; виконані дослідження, які спонукали до відкриття тонкого золота в промислових концентраціях на шельфі Чорного моря; складено першу еколого-геологічну карту північно-західного шельфу Чорного моря [8; 10 – 11].

На початку 70-х років ХХ ст. розгортаються геологічні дослідження по вивченню стратиграфії, тектоніки і палеогеографії палеозойських, мезозойських і кайно-

зойських осадових басейнів Північного Причорномор'я та Чорного моря (Є. П. Ларченков, С. А. Мороз, І. Н. Сулімов та ін.). На шельфі Чорного моря вперше були виділені куюльницькі, чаудинські, древньо-евксинські шари, складена геолого-літологічна карта верхньої частини шельфу, відкриті родовища будівельного піску (Одеська, Тарнавська та ін. банки), вивчені особливості будови та властивості морських голоценових відкладів. Ще у 1965 – 1975 роках проблемна лабораторія інженерної геології виконала роботи по фізичному моделюванню процесів переробки берегів, підводних схилів, замуленню підводних кар'єрів з видобутку піску, тощо (Л. Б. Розовський, Є. В. Єлісеєва, Ю. А. Германов). В 1974 р. І. Н. Крижанівською та О. Г. Ліходедовою була розроблена прогностна інформаційно-пошукова система «Береги водосховищ». В 1987 р. вийшла з друку монографія Л. Б. Розовського, І. П. Зелінського та В. М. Воскобойнікова «Інженерно-геологічний прогноз та моделювання» [8; 10 – 11].

Роботи в галузі морської інженерної геології, що були тісно пов'язані з проблемою боротьби проти зсувів на морському узбережжі, принесли заслужену славу морським геологам Одеського державного університету імені І. І. Мечникова – І. Я. Яцько, Л. Б. Розовському, І. П. Зелінському, Є. А. Черкезу, Є. Г. Конікову та ін.).

Розвивалася морська геологія і у виробничих геологічних організаціях системи Мінгео УРСР, в таких, як «Одесморгео» (керівник А. Л. Шепілов), «Кримморгео» (головний геолог О. Г. Сиденко), «Чорноморнафтогаз» (ген. дир. М. К. Ільницький). Галузеві організації розробили методичне підґрунття майбутньої геологічної та геоecологічної зйомки шельфу, готувалися до планомірного розбурювання шельфу Азово-Чорноморського регіону, активного пошуку та розвідки вуглеводневої сировини, проводили підготовчі геофізичні роботи.

На початок 70-х років ХХ ст. на північно-західному шельфі Чорного моря сейсмічними дослідженнями було підготовлено низку структур під глибоке буріння. В

1975 р. на піднятті Голіцина зі свердловини № 7 отримано перший фонтан газу на Чорноморському шельфі УРСР, в 1976 р., отримано газ із свердловини Північно-Керченська № 1 в Азовському морі.

За двадцятирічну роботу (1970 – 1990 рр.) на північно-західній частині шельфу Чорного моря, геофізичними методами було виявлено близько 46, а в акваторії Азовського моря – 22 перспективних структури. В 1979 р. створено спеціалізовану установу для пошуково-розвідувального буріння в акваторіях УРСР ПО «Чорноморнефтегазпром» (ДАТ «Чорноморнафтогаз»).

Нині ж, відсутність належного фінансування стримує введення в експлуатацію навіть відкритих і вивчених родовищ. Так, на даний час не введено в промислову експлуатацію відкрите родовище Субботіна на морському шельфі у 20 кілометрів від берега. Його прогностні геологічні запаси перевищують 100 мільйонів тонн нафти й 15...20 млрд. м³ газу. Аналогічною ситуація є з Одеським родовищем, де запаси газу оцінюються в 30 млрд. м³.

У 80-х роках ХХ ст. співробітниками ІГН АН УРСР були складені кореляційні схеми палеозою о. Зміїний, розроблені нові стратиграфічні схеми мезозою шельфу Чорного моря та Причорномор'я.

На початку 90-х років ХХ ст. в Україні виникла потреба переоцінки економічного потенціалу держави в аспекті розвитку її морегосподарського комплексу, виводу наукових досліджень на якісно новий рівень. З цією метою, 13 травня 1993 р. Указом Президента України Л. М. Кравчука було створено державну установу НАМДіТ, яка мала опікуватися розвитком морської геології. Спонукала до активізації морських геологічних дослідження в Україні Постанова Кабміну України від 22.11.1993 р. № 938 «Про пошуки газогідратної сировини в Чорному морі і створення ефективних технологій її видобутку та переробки». На жаль, реалізувати цю програму за кризових умов не вдалося.

У 1992 році від ІГН АН УРСР відокремилася Відділення морської геології та осадового рудоутворення Центрального

науково-природничого музею АН УРСР, нині Відділення морської геології та осадового рудоутворення НАН України (ВМГОР НАН України). Відділення очолює академік НАНУ Є. Ф. Шнюков. За час існування Відділення, його колективом проведено біля десяти експедицій на науково-дослідних суднах «Київ» (4 рейси) та «Професор Водяницький» (6 рейсів), відкрито підводний хребет Ломоносова в Чорному морі, ретельне вивчення якого дало можливість Є. Ф. Шнюкову, І. Б. Щербаківу та К. Є. Шнюковій розшифрувати його будову та стверджувати, що це палеоострівна дуга. В останні роки науковий колектив ВМГОР під керівництвом Євгена Федоровича займається картуванням газових факелів на дні Чорного та Азовського морів, проблемою пошуків газогідратів, обґрунтуванням трас оптико-волоконного зв'язку, проблемами грязьового вулканізму, пошуків вуглеводнів та тонкого золота, тобто широким спектром проблем морської геології. Не зважаючи на економічні негаразди в державі, вони провели дві міжнародні наради «Геологія та корисні копалини Чорного моря» (1999, 2000), видали друком монографії: «Палеостровная дуга севера Черного моря» (1997), «Минеральные богатства Черного моря» (2004) тощо. Лише один перелік друкованих робіт колективу ВМГОР свідчить про напружену працю та постійний пошук спонсорів для реалізації експедиційних досліджень. «Геологические исследования НИС «Професор Водяницький» в Черном море (47-й рейс, 1995)»; «Геология Черного моря (по результатам геологических и геофизических исследований 5-го рейса НИС «Киев», 1997) – це відлуння експедиційних робіт радянських часів, коли всі в рейсі – і наукова частина експедиції, і команда були налаштовані на виконання програми рейсу. А ось вже експедиції 2003 – 2005 рр. наочно демонструють комплексність: «Геологическая оценка трасс линии связи Севастополь – Евпатория, Севастополь – Керчь, Севастополь – Потти (2003)» або «Геология зоны трассы оптико-волоконной связи Севастополь – о. Змеиный – Затока (2004)»,

де не завжди співпадають інтереси науки і практики [11].

З 90-х років ХХ ст. в ІГН НАН України активно розвивається геоекологічний напрям, який виник у морській геології України не стихійно, а аргументовано, на основі наукових напрацювань, які було накопичено в результаті попередніх напрямів. Наголосимо, що цей напрям у галузі морської геології було започатковано та розвинуто співробітниками відділу сучасного морського седиментогенезу та підводних морських геологічних досліджень ІГН НАН України при безпосередній участі акад. НАН України Є. Ф. Шнюкова в пост-радянський час. Морська геоекологія нині є синтезуючою наукою про море, яка з 90-х років ХХ ст. в Україні розвивається за геоекологічним і геохімічним напрямом. Про це нам свідчать роботи кандидатського і докторського рівня, а саме: «Вплив процесів седиментогенезу на створення сучасної екологічної ситуації у Джарилгацькій та Тендрівській затоках» (Т. А. Шостак, 1992), «Теоретичні та методологічні основи вивчення донних відкладів океанів і морів як геоекологічних систем» (В. О. Ємельянов, 1994), «Пестициди у донних відкладах Азово-Чорноморського басейну та їх вплив на екологічний стан акваторії» (Н. П. Оськіна, 1996), «Антропогенне забруднення донних відкладів північно-західного шельфу Чорного моря важкими металами» (Є. І. Наседкін, 2001), «Еколого-хімічна характеристика стану сучасного осадконакопичення в районі придунайського шельфу Чорного моря» (Ю. Д. Степаняк, 2003).

Під час міжнародної конференції «Геологія Чорного моря» (листопад, 1999 р. м. Київ) було запропоновано стратегічні напрями подальших морських геолого-геофізичних досліджень, а саме:

1. Вивчення грязьового вулканізму Чорного моря з метою виявлення структур, перспективних на нафту, газ і газогідрати.

2. Палеогеографічна реконструкція шельфу та континентального схилу з метою пошуків перспективних зон на золото, платино їди та важкі метали.

3. Пошук і розвідка нетрадиційних джерел сировинних ресурсів, необхідних для отримання добрив, композитних, керамічних і будівельних матеріалів.

Одним із досягнень українських вчених у галузі геології океанів і морів в ХХІ столітті є реалізація поставленої у 70-х роках ХХ ст. проблеми одеськими вченими (газо-геохімічна зйомка та пошуки вуглеводнів) – через конструювання атмосферо-геохімічної апаратури нового покоління (розробник співробітник ІГН НАН України – канд. геол.-мін. наук. І. Д. Багрій), за допомогою якої досліджується хімічний склад мулових розчинів та їх газова складова. Апаратура запатентована і застосовується при прогнозуванні нафтогазоперспективних площ в акваторії Чорного моря. Це один бік реалізації ідеї одеситів, інший – поширення її на дистанційні методи. Нині у Науковому центрі аерокосмічних досліджень Землі (директор д-р геол.-мін. наук, проф. В. І. Лялько) ІГН НАН України активно розвивається нова технологія пошуку покладів нафти і газу на основі супутникових методів і геолого-геофізичних даних, які були напрацьовані вченими УРСР (згодом України) в акваторії Чорного моря та Світового океану.

Фундаментом цієї технології є реєстрація проявів міграції вуглеводнів із глибинних покладів до поверхні моря за допомогою багаторазових аерокосмічних зйомок одних і тих же ділянок шельфу в різних спектральних діапазонах (тепловий і радіохвильовий). Ця технологія активно впробується у шельфовій зоні Чорного моря.

З часу офіційного заснування морських геологічних досліджень в Україні (1962 р.) за результатами досліджень в акваторії Чорного моря українські морські геологи в періодичних виданнях та окремих монографіях та інших виданнях у країні та за кордоном опублікували близько 3000 наукових праць і склали банк даних, до якого входить бази даних: «Кадрове забезпечення» (О. Ю. Митропольський, С. Г. Половка), «Бібліографія наукових праць морських геологів в Україні» (С. Г. Половка) та «База первинного керна матеріалу»

(О. Ю. Митропольський, С. П. Ольштинський та інші співробітники відділу сучасного морського седиментогенезу ІГН НАН України).

Серед фундаментальних видань треба згадати серіал, відзначений державною премією. Це «Геология шельфа УССР» у 7-ми томах: т. 1 «Среда. История и методика изучения» (1982), т. 2 «Керченский пролив» (1981), т. 3 «Литология» (1985), т. 4 «Твердые полезные ископаемые» (1983), т. 5 «Нефтегазоносность» (1986), т. 6 «Тектоника» (1987), т. 7 «Лиманы» (Державна премія УРСР в галузі науки і техніки за 1989 рік). Крім цього, результати досліджень Чорного моря морськими геологами в Україні відзначено галузевою премією Академії наук. Премією ім. акад. В. І. Вернадського АН УРСР відзначено Бабинця А. Є., Звольського С. Т., Митропольського О. Ю. – за цикл робіт «Дослідження гідрогеологічних, гідрогеохімічних та фізико-механічних властивостей донних осадків Чорного моря» (1985 р.) [3 – 7].

Нині складено різні картографічні твори Азово-Чорноморського регіону: «Мінеральні ресурси Чорного та Азовського морів», «Карту фонду структур південного нафтогазоносного регіону України», «Карту перспектив газонасиченості зони газогідратів Чорноморської улоговини» (за О. Д. Корсаковим, С. Н. Ступаком, Ю. А. Бяковим, 1989) та інші. Зроблено за різними методиками підрахунки сумарних геологічних запасів у басейні Чорного моря: газогідрати (твердий газ) складають близько 25 – 30 трлн. м³; сапропелеві мули (агрохімічна сировина) – $3,2 \times 10^{11}$ м³; будівельні піски – близько 100 млрд. т; прісна вода (загальний стік) – 178 млн. м³ в рік; золота в розсипах – 100...150 т; ракушняк – не обмежено; бальнеологічні мули – 70 млн. м³ (за Є. Ф. Шнюковим, А. П. Зіборовим «Мінеральні багатства Чорного моря, 2004»).

Теоретичні та прикладні напрацювання у галузі геології океанів і морів в акваторії Чорного моря сприяли становленню школи морських геологів в Україні, яких наразі дві: Одеська (університетська) та Київська (академічна).

Нині в одеській науковій школі спостерігається розгалуження напрямів із більш вузькою спеціалізацією, а саме: морський нафтовий напрям (Є. П. Ларченков та ін.), морська інженерна геологія (Є. А. Черкез, Є. Г. Коніков та ін.), еколого-економічний напрям (Є. П. Ларченков, О. В. Чепіжко та ін.), морські геохімічні дослідження (І. О. Сучков, О. П. Кравчук та ін.) [8; 11].

У Київській (академічній) школі з часу офіційного заснування морських геологічних досліджень в Україні вивчення дна акваторії Світового океану здійснювалося за традиційними науковими напрямами, які розвиваються і нині: 1) морські біостратиграфічні дослідження – В. Я. Дідковський, В. М. Семененко, Б. Ф. Зернецький, М. М. Іванік та ін.; 2) морські седиментологічні та літологічні дослідження – В. Х. Геворк'ян, В. І. Мельник, О. Ю. Митропольський, В. П. Усенко та ін.; 3) морська геоморфологія – П. Ф. Гожик, В. І. Мельник та ін.

Згодом накопичивши теоретичні та прикладні напрацювання українських дослідників в акваторії Азовського і Чорного моря та Світового океану визначили коло інтересів та завдань у конкретних акваторіях для досліджень і створили підґрунття для започаткування в АН УРСР (НАН України) нових наукових напрямів, які і нині мають місце та продовжують свій розвиток: 1) морська гідрогеологія та морська інженерна геологія – А. Є. Бабинець, О. Ю. Митропольський та ін.; 2) морське осадове рудоутворення – Є. Ф. Шнюков та ін.; 3) глибинні флюїди та їх роль у формуванні родовищ корисних копалин та біопродуктивних зон (В. Х. Геворк'ян, Ю. Г. Чугунний); 4) підводні морські геологічні дослідження – В. Х. Геворк'ян; 5) морська геохімія – О. Ю. Митропольський, А. Я. Дроздовська та ін.; 6) морська геоекологія – Є. Ф. Шнюков, В. О. Ємельянов, О. Ю. Митропольський, В. Х. Геворк'ян та ін. [3 – 7; 11].

Після історичного зрізу тенденцій і логіки розвитку та прикладних здобутків морських геологічних досліджень в Україні, зупинимось на вагомих теоретичних напрацюваннях світового рівня українсь-

ких вчених у геологічній науці, які були здійснені «за допомогою» вивчення Азово-Чорноморського регіону та інших акваторій Світового океану.

Вивчаючи глибинну будову Чорного моря, Серафим Іванович Субботін з позиції фіксізму пояснив причину тектонічних рухів земної кори (опускань і піднять її окремих ділянок), як наслідок фазових перетворень глибинних речовин Землі (стиснень і розширень), висуває теорію тектогенезу. Згодом він «переходить» на мобілістичні погляди і створює нову концепцію поступально-обертальних рухів блоків тектоносфери, обумовлених на погляд вченого, наявністю в земній корі та верхній мантії різних за властивостями великих блоків, що створюють у Землі, яка обертається, сили, які викликають горизонтальні переміщення блоків земної кори.

Інший вчений Всеволод Борисович Соллогуб у своїх наукових працях доводить зв'язок глибинних розломів з концентрацією мінеральної сировини. В подальшому розвинув наукові напрацювання В. Б. Соллогуба, співробітник ІГН АН УРСР доктор геол.-мін. наук Володимир Христофорович Геворк'ян. Він автор гіпотези аседиментаційної трансформації осадової речовини, яка дозволяє з нових позицій дати оцінку процесу сучасного седиментогенезу, а також на новій теоретичній базі підходить до оцінки перспектив осадових товщ на рудні, нерудні та горючі корисні копалини; переосмислити теоретичні основи літогенезу давніх осадових утворень. Можливий вплив накладених процесів, пов'язаних із дегазацією земної кори, на умови сучасного осадоутворення розширює нашу уяву про вклад ендегенної речовини в океанічну седиментацію і гідрохімічну обстановку океану. Накладені процеси супроводжуються еманациями вуглеводнів і можуть бути пов'язані з такими компонентами «холодного дихання» земної кори, з якими виносяться ряд рудних і нерудних елементів.

Значну увагу В. Х. Геворк'ян в своїх наукових дослідженнях приділяє питанням ролі органічної речовини в процесах аутигенного мінералоутворення, її значенню

для формування горючих корисних копалин і для з'ясування більш загальних питань кругообігу вуглецю в біосфері Землі. На основі нових даних, отриманих Володимиром Христофоровичем щодо розподілу вуглеводневої речовини в сучасних океанічних відкладах та вивержених породах запропоновано нові шляхи вивчення проблеми генезису глибинних вуглеводнів, що дозволило оцінити перспективи нафтогазоносності глибоководних та шельфових районів Світового океану в цілому, та Чорного моря зокрема [11].

З ім'ям А. Є. Бабинця пов'язані дослідження формування підземної гідросфери. Він уперше в Україні став вивчати ізотопний склад підземних вод і розчинених у них газів, визначення віку підземних вод і оцінювати швидкість водообміну за допомогою радіогенних ізотопів. Андрій Євтихійович керував роботами по вивченню закономірностей формування основного та мікрокомпонентного складу мулових вод донних відкладів, особливостей гідрогеологічних процесів у донних відкладах Чорного та Середземного морів, що зумовлюють міграцію та накопичення ряду хімічних елементів на початковій стадії діагенезу. Матеріали цих досліджень знайшли своє відображення в монографії А. Є. Бабинця, О. Ю. Митропольського, С. П. Ольштинського «Гидрогеологические и геохимические особенности глубоководных отложений Черного моря».

Наступний вагомий науковий результат у теоретичній геології здобуває Євген Федорович Шнюков, створивши гіпотезу формування оолітових і псевдооолітових руд. Він з'ясував вирішальне значення гідродинамічної діяльності моря в осадочному рудоутворенні. Цей його висновок спонукає вченого до вивчення дна акваторії Азовського моря, згодом Світового океану.

Є. Ф. Шнюков висловлює припущення про зв'язок грязьового вулканізму з рудоутворенням. Ним не тільки розробляється ця проблема, але й аналізуються похідні від неї – утворення родовищ сірки та ртуті. Поглиблене вивчення цього питання, надихає його висунути гіпотезу зв'язку нафтогазоносності з грязьовим вулканізмом.

Результуючою вивчення грязьового вулканізму є побудова Євгеном Федоровичем природної моделі мінералоутворення грязьовулканічного процесу.

Участь у морських експедиційних, надихнули ідейно Алісу Якимівну Дроздовську по-новому реконструювати історію хімічної еволюції Світового океану і атмосфери в геологічній історії Землі. За допомогою законів термодинаміки вона вперше показала, низку тверджень, що є альтернативою поглядам В. І. Вернадського на час зародження життя на Землі і нині потребують осмислення та подальшого розвитку науковою спільнотою, а саме:

- хімічна еволюція Світового океану і атмосфери в геологічній історії Землі відбувалась на зразок еволюції хімічних параметрів водної, газової та твердої фаз Чорного моря від дна до поверхні і т. д. односпрямовано від сірководневого зараження до кисневого з одноактивним проходженням редокс-бар'єру;

- ранньопротерозойська джеспілітова формація криворізького типу (ДФКТ) в цілому являє собою хемогенноосадочний продукт редокс-бар'єрних взаємодій компонентів рідкої, газової і твердої фаз зовнішніх земних оболонок;

- вільний кисень у зовнішніх земних оболонках повинен бути лише в момент завершення утворення ДФКТ, тому початок кисневої ери Землі повинен датуватися верхнім її віком, на сьогодні він оцінюється 2,2 млрд. років (це по-новому розкриває історію осадочного рудогенезу, а глобальна першопроява одноклітинних організмів земної біосфери в перекриваючих ДФКТ породах на рубежі 2,2 млрд. років назад ув'язується з початком кисневої ери на Землі);

- елементарний вуглець та вуглеводень можуть утворюватися в седиментогенезі не тільки біогенним, але і хемогенним шляхом (це нове знання про геохімію вуглецю дозволило, по-перше, визначити хемогенно-осадочну, а не біогенну природу елементного вуглецю та включень вуглеводнів в осадочних породах, які древніші за ДФКТ, і цим виключити їх належність до біоти і датувати час глобального утво-

рення первинних форм земного життя нижнім віком цієї формації – 2,4 млрд. років, по-друге, обґрунтувати ідею про неорганічну генезу нафти осадочних порід раннього кембрію).

Крім цього А. Я. Дроздовська розробила пріоритетні концепції про геоенергетичну природу першоутворень земної біосфери у зв'язку з утворенням геотектонічної структури, в якій міститься ДФКТ, і про природу та механізм еволюції залізо-манганового накопичення в історії осадочного рудогенезу у зв'язку з хімічною еволюцією Світового океану і атмосфери в геологічному часі [11].

На початку ХХІ століття у відділі сучасного морського седиментогенезу ІГН НАН України набула нового витка одна з наукових ідей акад. В. І. Вернадського, який започаткував історію науки і техніки [1], як окремий науковий напрям. Розвиток цього напрямку в галузі геології океанів і морів розпочато через дисертаційне дослідження на тему: «Історія морських геологічних досліджень в Україні» (С. Г. Половка).

Наукові напрацювання та проблемні питання, які потребували обґрунтованого пояснення виступали і виступають генераторами вивчення та подальшого геологічного дослідження дна океанів і морів вченими в Україні.

ВИСНОВКИ

Викладене дає підставу зробити низку висновків.

1. Науково-прикладні напрацювання морських геологів в Україні свідчать про те, що вони займають гідне місце в царині геологічних досліджень акваторії Світового океану серед фахівців океанологічного профілю.

2. Морські геологічні дослідження в Україні сприяли розвитку теорії походження Землі, виникненню та розвитку нової глобальної геотектонічної теорії – тектоніки літосферних плит, яка швидко переросла в одну із провідних в геологічній науці. Це дозволило по-новому висві-

тити генезис корисних копалин і прогностичні критерії їх пошуку.

3. Проаналізовано наукові напрями розвитку геології океанів і морів в Україні, результати цього аналізу дають підставу стверджувати, що науковий потенціал фахівців з морської геології ще не знищено і, попри всі негаразди, нині в Україні наявний значний інтелектуальний потенціал і при належному фінансовому та матеріально-технічному забезпеченні морська геологія здатна пройти швидкий шлях відродження галузі та більш ефективно інтегруватися в міжнародні програми та проекти.

4. Історичний зріз морської геології в Україні свідчить, що галузь має глибоке коріння і може стати однією з провідних в разі підтримки з боку держави. Україна має унікальну можливість (першою в світі) розпочати промисловий видобуток газогідратів – екологічно-чистої сировини і відповідно переорієнтувати розвиток промисловості. Такий підхід створить сприятливий інвестиційний клімат для подальшого розвитку економіки нашої держави.

5. На нашу думку, нині в першу чергу, слід інтенсивніше проводити різнобічні геологічні дослідження акваторії Азово-Чорноморського регіону, яка підпадає під юрисдикцію України.

6. Досліджуючи дно акваторії Азовського та Чорного морів, вчені в Україні матимуть «ключ» до геологічних процесів, які протікають у Світовому океані та і на всій планеті Земля.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Вернадский В.И., 1988.** Труды по истории науки в России. М., Наука, 14.
2. **Огняник М.О., Вяткіна Н.Б., Іванік О. М. та ін., 2000.** Геолог від Бога (Геологические исследования в Новороссийском университете в XIX – начале XX в.): наук.-навч. посіб. Київ, Знання України, 150-177.
3. **Бондарчук В.Г., Порфирьев В.Б., Бабинец А.Е. и др., 1976.** Институт геологических наук. Київ, Наук. думка, 186.
4. **Шнюков Е.Ф., Пермяков В.В., 1986.** Институт геологических наук. Київ, Наук. думка, 108.

5. Шпак П.Ф. та ін., 1993. Інститут геологічних наук. Київ, Наук. думка, 27.
6. Гожик П.Ф., Шестопалов В.М., Митропольський О.Ю. та ін., 2006. Інститут геологічних наук 1926-2006. Київ, Наук. думка, 40.
7. Гожик П.Ф., Шестопалов В.М., Митропольський О.Ю. та ін., 2001. Інститут геологічних наук Національної Академії наук України. Київ, Наук. думка, 110.
8. Ларченков Е.П. Кравчук О.П., Кравчук А.О., 2009. Геологія в Одеському університеті (Очерки історії кафедри загальної та морської геології). Одеса, Фенікс, 536.
9. Митропольський О.Ю., 2001. Перспективи розвитку морської геології в контексті загального реформування народного господарства України: зб. наук. пр. Київ, Знання, 202-207.
10. Ануфрієв Л.А., Аппатов С.И., Амброз Ю.А. и др., 1991. Одесский университет 1865-1990 (под ред. И.П. Зелинского). Киев, Лыбидь при Киевском государственном университете, 200.
11. Половка С.Г., 2007. Сто морських геологів України. Київ-Умань, Візаві, 261.
12. Хомизури Г.П., 176. Развитие понятия «Геосинклиналь» (Очерки по истории геологических знаний). Москва, Наука, 236.
7. Gozhyk P.F., Shestopalov V.M., Mytropol's'kyj O.Ju. та ін., 2001. Instytut geologichnyh nauk Nacional'noi' Akademii' nauk Ukraïny. Kyi'v, Nauk. dumka, 110.
8. Larchenkov E.P. Kravchuk O.P., Kravchuk A.O., 2009. Geologija v Odesskom universitete (Ocherki istorii kafedry obshej i morskoy geologii). Odessa, Feniks, 536.
9. Mytropol's'kyj O.Ju., 2001. Perspektyvy rozvytku mors'koi' geologii' v konteksti zagal'nogo reformuvannja narodnogo gospodarstva Ukraïny: zb. nauk. pr. Kyi'v, Znannja, 202-207.
10. Anufryev L.A., Appatov S.Y., Ambroz Ju. A. y dr., 1991. Odesskij universitet 1865-1990 (pod red. I.P. Zelinskogo). Kiev, Lybid' pri Kievskom gosudarstvennom universitete, 200.
11. Polovka S.G., 2007. Sto mors'kyh geologiv Ukraïny. Kyi'v-Uman', Vizavi, 261.
12. Homyzury G.P., 176. Razvitie ponjatija «Geosinklinal'» (Ocherki po istorii geologicheskikh znanij). Moskva, Nauka, 236.

REFERENCES

1. Vernadskyj V.Y., 1988. Trudy po istorii nauki v Rossii. M., Nauka, 14.
2. Ognjanyk M.O., Vjatkina N.B., Ivanik O. M. та ін., 2000. Geolog vid Boga (Geologicheskie issledovanija v Novorossijskom universitete v XIX – nachale XX v.): nauk.-navch. posib. Kyi'v, Znannja Ukraïny, 150-177.
3. Bondarchuk V.G., Porfyr'ev V.B., Baby-nec A.E. y dr., 1976. Institut geologicheskikh nauk. Kyi'v, Nauk. dumka, 186.
4. Shnjukov E.F., Permjakov V.V., 1986. Institut geologicheskikh nauk. Kyi'v, Nauk. dumka, 108.
5. Shpak P.F. та ін., 1993. Institut geologicheskikh nauk. Kyi'v, Nauk. dumka, 27.
6. Gozhyk P.F., Shestopalov V.M., Mytropol's'kyj O.Ju. та ін., 2006. Institut geologicheskikh nauk 1926-2006. Kyi'v, Nauk. dumka, 40.

HISTORIC CUT GEOLOGICAL STUDY OF THE AZOV-BLACK SEA RESEARCHERS THE UKRAINE

Sergiy Polovka

Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University
str. Gardening 2, Uman, Ukraine, 20300,
e-mail: sergiy_polovka@ukr.net

Summary. The author of the article carried the historic section of scientific and applied developments in the Azov-Black Sea region of Marine Geology in Ukraine, in the time interval from its beginnings to the present day, namely from the middle of the nineteenth century to today. Highlight and briefly analyzed the existence of significant events in the field of science in what is now Ukraine. It outlines the key points of each period, which influenced the further development of the geology of the oceans and seas in Ukraine. Reviewed scientific school – the academic (Kiev) and University (Odessa) and shows the main achievements of their leaders that they based research areas in the marine geology of our country.

Key words: History of Marine Geology, Geology of the oceans and seas, Ukraine, the Azov-Black Sea region.

Математическая модель движения несущего потока в классификаторе гидравлическом горизонтальном

Всеволод Франчук, Андрей Бондаренко

Государственное высшее учебное заведение Национальный горный университет,
просп. Карла Маркса, 19, Днепропетровск, Украина, 49005, e-mail: bondarenkoa@mail.ua

Аннотация. Процесс гравитационной переработки зернистых материалов в горизонтальном потоке пульпы сопровождается течением несущего потока в пределах разнонаклонных поверхностей, а также оттоком вниз сгущенной пульпы. Корректное описание процесса выполнено путем разработки математической модели движения потока в проточной части классификатора, с применением уравнения Эйлера для идеальной жидкости. Разработанная математическая модель позволяет получить значения скоростей и ускорений потока в характерных участках процесса, что позволит обосновать рациональные параметры устройства, применяемого для гравитационной переработки зернистых материалов.

Ключевые слова: гравитационное разделение, классификатор горизонтальный, математическое моделирование, поток жидкости.

ВВЕДЕНИЕ

Качество природных нерудных песков по физико-механическим свойствам редко соответствует действующим нормам. Поэтому требуется переработка горной массы. Одним из наиболее трудоемких процессов переработки, требующий более тщательного изучения, является процесс отделения песков от мелкодисперсных примесей.

Выделение из исходной массы глинистых или илистых частиц традиционно выполняется в гравитационных аппаратах с горизонтальным движением несущего потока: горизонтальные классификаторы,

дешламаторы, спиральные классификаторы, декантаторы, горизонтальные отстойники и др. Предпочтительным устройством, позволяющим эффективно выделять мелкодисперсные примеси крупностью менее 0,16 мм, является классификатор гидравлический горизонтальный.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработать математическую модель движения потока в проточной части классификатора для обоснования рациональных параметров устройств, применяемых для гравитационной переработки зернистых полезных ископаемых.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ НЕСУЩЕГО ПОТОКА

Схема проточной части классификатора приведена на Рис. 1. Процесс гравитационной переработки зернистых материалов в горизонтальном потоке пульпы сопровождается течением несущего потока в пределах разнонаклонных поверхностей, а также оттоком вниз сгущенной пульпы в пределах участков: разделения, классификации, истечения. Корректное описание процесса гравитационного разделения мелкозернистых материалов в горизонтальном потоке пульпы требует разработки математической

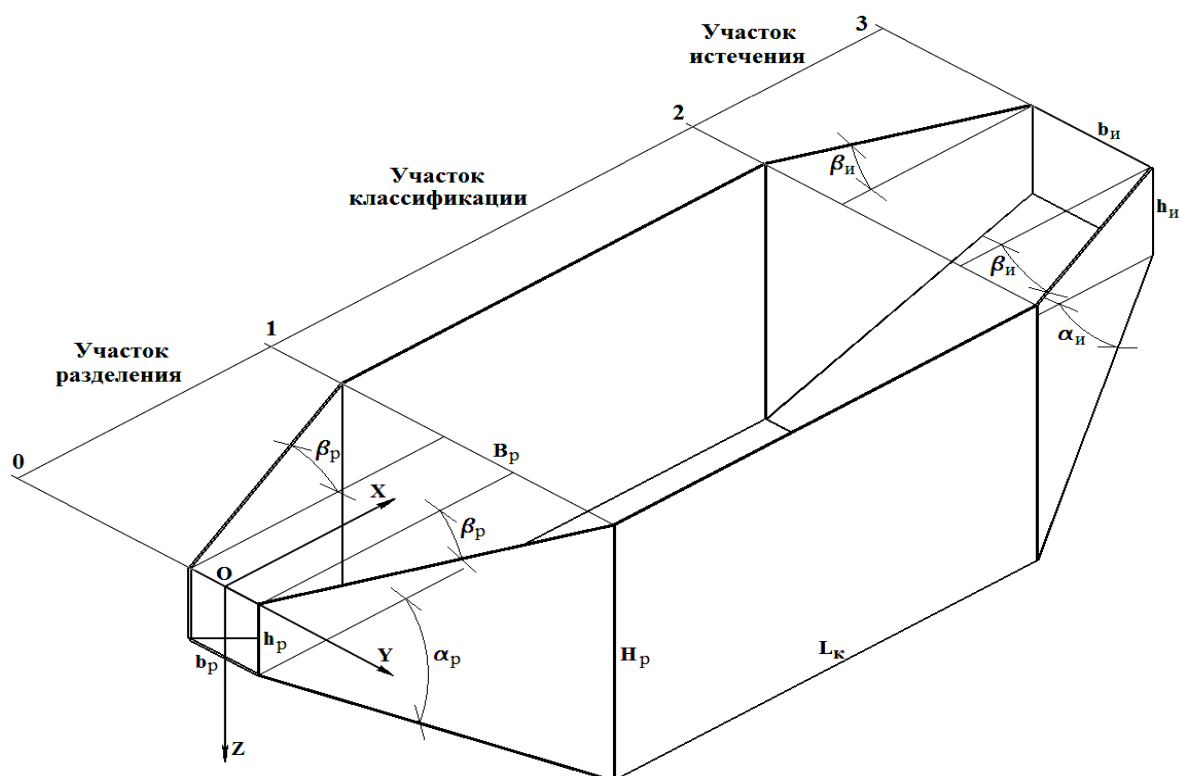


Рис. 1. Схема проточной части классификатора гидравлического горизонтального
Fig. 1. Chart of running part of classifier hydraulic horizontal

модели движения потока в проточной части классификатора с учетом известных моделей распределения скорости потока по его глубине.

В настоящей работе предложена математическая модель движения горизонтального потока на участках разделения, осаждения и истечения проточной части классификатора гидравлического горизонтального с учетом распределения потока по глубине. В дальнейшем модель будет использована для обоснования рациональных параметров классифицирующих устройств с горизонтальным движением несущего потока.

Метод исследований. Полученные ранее зависимости [1] описывают движение потока в классификаторе (см. Рис. 1), приняв допущение о незначительности кривизны живых сечений потока. Таким образом, полученные выражения позволяют определить средние значения скорости потока. Также для описания процесса проточная часть классификатора разделена на харак-

терные участки (разделения, классификации, истечения) и введены такие обозначения и допущения:

Q_p – производительность по исходной пульпе и на участке разделения, $\text{м}^3/\text{с}$;

Q_o – производительность по пульпе на участке осаждения, $\text{м}^3/\text{с}$;

Q_n – производительность по пульпе на участке истечения, $\text{м}^3/\text{с}$;

Q_{nec} – производительность по сгущенной пульпе на участке осаждения, $\text{м}^3/\text{с}$;

b_p, h_p – ширина и высота потока в начальном сечении участка разделения, м;

B_p, H_p – ширина и высота потока в конечном сечении участка разделения и начальном сечении участка осаждения, м;

b_n, h_n – ширина и высота потока в конечном сечении участка истечения, м;

α_p, β_p – углы расширения потока по осям $O-Z$ и $O-Y$ на участке разделения;

$\alpha_{и}, \beta_{и}$ – углы сужения потока по осям $O-Z$ и $O-Y$ на участке истечения.

Для упрощения математического описания введены такие обозначения:

$$\begin{aligned} a &= 2tg\beta_p tg\alpha_p; \quad b = b_p tg\alpha_p + h_p 2tg\beta_p; \\ d &= 2tg\beta_{и} tg\alpha_{и}; \quad e = B_p tg\alpha_{и} + H_p 2tg\beta_{и}; \\ f &= B_p H_p. \end{aligned}$$

Движение потока жидкости в горизонтальном классификаторе, ввиду изменения живого сечения потока по длине, является плавно изменяющимся и обладает следующими свойствами:

а) кривизна линий тока незначительна, поэтому центробежные силы не учитываются;

б) ввиду малой скорости движения вихревые потоки не учитываются;

в) поток питается постоянным гидродинамическим напором, его верхняя граница принимается горизонтальной;

г) плотность несущего потока постоянна.

Описание движения потока жидкости в горизонтальном классификаторе выполнено с применением уравнения Эйлера для идеальной жидкости [2], которое в работе [1] привели к такому общему виду

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{du_x}{dt} &= u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + 2tg\beta u_x \frac{\partial u_x}{\partial y} + \\ &+ tg\alpha u_x \frac{\partial u_x}{\partial z}; \\ \frac{du_y}{dt} &= u_x tg\beta \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_x (tg\beta)^2 \frac{\partial u_x}{\partial y} + \\ &+ u_x tg\alpha tg\beta \frac{\partial u_x}{\partial z}; \\ \frac{du_z}{dt} &= u_x tg\alpha \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_x tg\beta tg\alpha \frac{\partial u_x}{\partial y} + \\ &+ (tg\alpha)^2 u_x \frac{\partial u_x}{\partial z}. \end{aligned} \right. \quad (1)$$

В зависимости от режима движения жидкости, скорость потока в проточной части классификатора распределяется по нелинейным законам [2, 3]. Определим па-

раметры движения потока в горизонтальном классификаторе с принятыми геометрическими параметрами.

В принятой конструкции горизонтальный поток разделен на n параллельных потоков посредством продольных перегородок. В связи с этим, примем допущение, что кривизна сечения всего потока вдоль оси $O-Y$ незначительна, поэтому частная производная $\frac{\partial u_x}{\partial y} = 0$.

Эксплуатация классификатора предполагается в комплексе с землесосным снаряжением. В соответствии с опытом применения земснарядов при разработке рудных и нерудных песков, средняя объемная концентрация пульпы не превышает 10 % [4-9].

При такой низкой концентрации, и параметрах движения близких к турбулентному, распределение скорости может быть описано степенным законом [3]. В соответствии с исследованиями движения потока в открытом русле зависимость скорости потока, на участке разделения, от его глубины имеет вид функции

$$U_{xp} = u_{xp} \frac{p+1}{p} \left(\frac{(h_p + x_p tg\alpha_p) - z_p}{h_p + x_p tg\alpha_p} \right)^{\frac{1}{p}}. \quad (2)$$

Систему уравнений (1) для участка разделения представим как

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{du_{xp}}{dt} &= u_{xp} \frac{\partial u_{xp}}{\partial x} + tg\alpha_p u_{xp} \frac{\partial u_{xp}}{\partial z}; \\ \frac{du_{yp}}{dt} &= u_{xp} tg\beta_p \frac{\partial u_{xp}}{\partial x} + u_{xp} tg\alpha_p tg\beta_p \frac{\partial u_{xp}}{\partial z}; \\ \frac{du_{zp}}{dt} &= u_{xp} tg\alpha_p \frac{\partial u_{xp}}{\partial x} + (tg\alpha_p)^2 u_{xp} \frac{\partial u_{xp}}{\partial z}. \end{aligned} \right. \quad (3)$$

Учитывая приведенную зависимость скорости от глубины потока (2) система уравнений скорости потока на участке разделения примет вид

$$\left\{ \begin{aligned} U_{xp} &= \frac{Q_p}{ax_p^2 + bx_p + c} \cdot \frac{p+1}{p} \times \\ &\times \left(\frac{(h_p + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) - z_p}{h_p + x_p \operatorname{tg} \alpha_p} \right)^{\frac{1}{p}} H(f_1(x, z)); \\ U_{yp} &= \operatorname{tg} \beta_p \frac{Q_p}{ax_p^2 + bx_p + c} \cdot \frac{p+1}{p} \times \\ &\times \left(\frac{(h_p + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) - z_p}{h_p + x_p \operatorname{tg} \alpha_p} \right)^{\frac{1}{p}} H(f_1(x, z)); \\ U_{zp} &= \operatorname{tg} \alpha_p \frac{Q_p}{ax_p^2 + bx_p + c} \cdot \frac{p+1}{p} \times \\ &\times \left(\frac{(h_p + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) - z_p}{h_p + x_p \operatorname{tg} \alpha_p} \right)^{\frac{1}{p}} H(f_1(x, z)). \end{aligned} \right. \quad (4)$$

где p – эмпирический коэффициент, для гладких поверхностей принимают из диапазона 7...10 [10]; $H(f_1(x, z))$ – функция Хевисайда равна единице при положительном значении $f_1(x, z)$ и нулю при нулевом и отрицательном значении этой функции. Для участка разделения

$$f_1(x, z) = \left[1 - \left(\frac{z_p}{h_p + x_p \operatorname{tg} \alpha_p} \right)^2 \right]$$

Пример графического описания полученных теоретических зависимостей для скорости потока на участке разделения (4), приведен на Рис.2, а. Из графиков видно, что на участке разделения скорости по всем координатам закономерно снижаются, пропорционально увеличению площади сечения потока.

После преобразований и упрощений систему (3) для определения распределения ускорений потока во всех точках сечения на участке разделения в направлении осей $O-X$, $O-Y$, $O-Z$ запишем как систему уравнений (5).

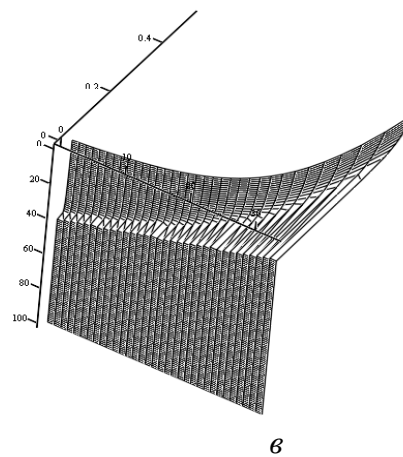
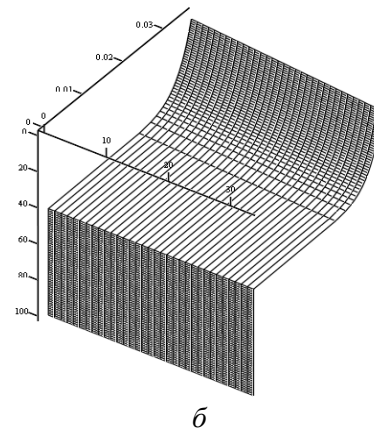
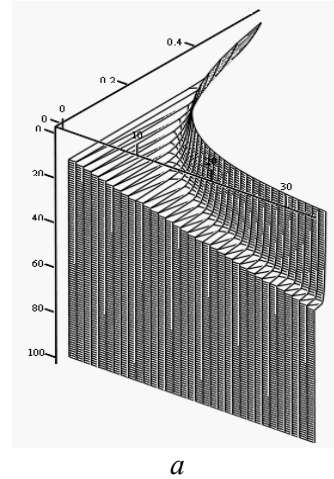


Рис. 2. Скорость потока в классификаторе гидравлическом горизонтальном в участках: а – разделения; б – классификации; в – истечения

Fig. 2. Flowrate in a classifier hydraulic horizontal in areas: а – divisions; б – classifications; в – expirations

$$\left. \begin{aligned}
 & \frac{dU_{xp}}{dt} = \frac{Q_p^2(p+1)^2 \cdot \left[(h_p + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) - z_p \right] \frac{1}{p} \cdot \operatorname{tg} \alpha_p \cdot (ax_p^2 + bx_p + c) \cdot p}{p^3 \cdot (ax_p^2 + bx_p + c)^3 \left(h_p + x_p \operatorname{tg} \alpha_p \right) \frac{2}{p}} \times \\
 & \times \left[\frac{(2ax_p + b) \left[(h_p + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) - z_p \right] \frac{1}{p}}{\operatorname{tg} \alpha_p \cdot (ax_p^2 + bx_p + c)} - \frac{\frac{1}{z_p^p}}{(h_p + x_p \operatorname{tg} \alpha_p)} - \left[(h_p + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) \frac{1}{p} - \frac{1}{p} z_p^{\frac{1}{p-1}} \right] \right] \cdot H(f_1(x, z)); \\
 & \frac{dU_{yp}}{dt} = \frac{Q_p^2(p+1)^2 \cdot \left[(h_p + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) - z_p \right] \frac{1}{p} \cdot \operatorname{tg} \alpha_p \cdot \operatorname{tg} \beta_p \cdot (ax_p^2 + bx_p + c) \cdot p}{p^3 \cdot (ax_p^2 + bx_p + c)^3 \left(h_p + x_p \operatorname{tg} \alpha_p \right) \frac{2}{p}} \times \\
 & \times \left[\frac{(2ax_p + b) \left[(h_p + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) - z_p \right] \frac{1}{p}}{\operatorname{tg} \alpha_p \cdot (ax_p^2 + bx_p + c)} - \frac{\frac{1}{z_p^p}}{(h_p + x_p \operatorname{tg} \alpha_p)} - \left[(h_p + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) \frac{1}{p} - \frac{1}{p} z_p^{\frac{1}{p-1}} \right] \right] \cdot H(f_1(x, z)); \\
 & \frac{dU_{zp}}{dt} = \frac{Q_p^2(p+1)^2 \cdot \left[(h_p + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) - z_p \right] \frac{1}{p} \cdot \operatorname{tg} \alpha_p \cdot (ax_p^2 + bx_p + c) \cdot p}{p^3 \cdot (ax_p^2 + bx_p + c)^3 \left(h_p + x_p \operatorname{tg} \alpha_p \right) \frac{2}{p}} \times \\
 & \times \left[\frac{(2ax_p + b) \left[(h_p + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) - z_p \right] \frac{1}{p}}{\operatorname{tg} \alpha_p \cdot (ax_p^2 + bx_p + c)} - \frac{\frac{1}{z_p^p}}{(h_p + x_p \operatorname{tg} \alpha_p)} - \operatorname{tg} \alpha_p \cdot \left[(h_p + x_p \operatorname{tg} \alpha_p) \frac{1}{p} - \frac{1}{p} z_p^{\frac{1}{p-1}} \right] \right] \cdot H(f_1(x, z)).
 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Ускорение потока на участке разделения, пример расчета которого изображен на

Рис.3, а, имеет отрицательные значения с гиперболическим уменьшением абсолютных значений до близких нулю при переходе в область классификации.

Для определения скорости горизонтального потока на участке классификации воспользуемся полученными ранее выражениями [1], характеризующими скорость течения потока по осям $O-X$ и $O-Z$ при незначительной кривизне сечения потока.

Тогда, с учетом закономерности распределения ускорения потока по его глубине выражение скорости потока на участке классификации получим в виде системы уравнений (6).

Пример построения поверхности зависимости для скорости потока на участке

классификации показан на Рис.2, б. Из графика видно, что скорость потока также уменьшается из-за оттока сгущенной пульпы.

$$\left\{ \begin{aligned}
 U_{xк} &= \frac{Q_p - qx_k}{B_p H_p} \cdot \frac{p+1}{p} \left(\frac{H_p - z_k}{H_p} \right)^{\frac{1}{p}} \cdot H(f_2(x, z)); \\
 U_{zк} &= \frac{q}{B_p} \cdot \frac{p+1}{p} \left(\frac{B_p - z_k}{B_p} \right)^{\frac{1}{p}} \cdot H(f_2(x, z)).
 \end{aligned} \right. \quad (6)$$

Для участка классификации

$$f_2(x, z) = \left[1 - \left(\frac{z_k}{H_p} \right)^2 \right].$$

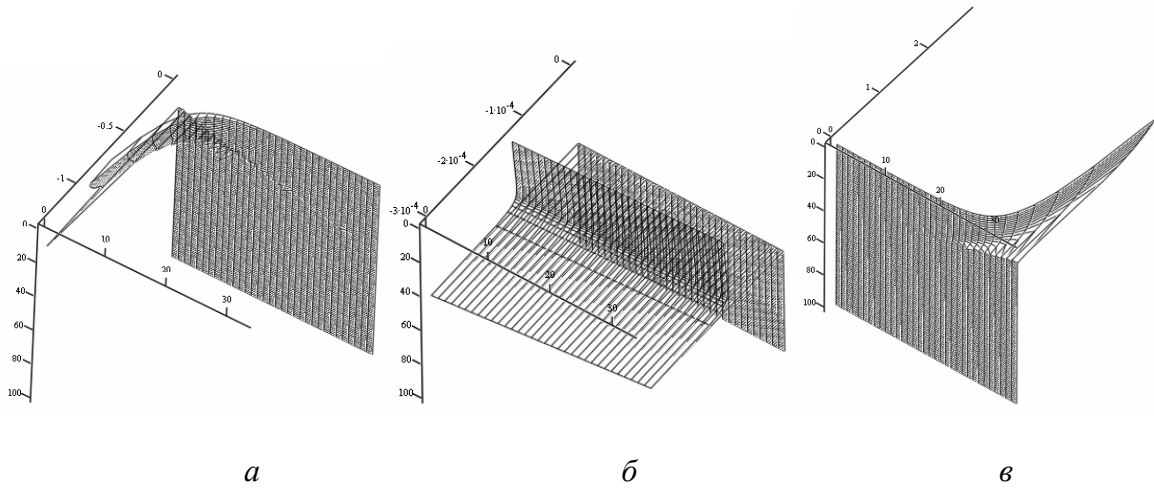


Рис. 3. Ускорение потока в классификаторе гидравлическом горизонтальном в участках: *a* – разделения; *б* – классификации; *в* – истечения

Fig. 3. Acceleration of stream in a classifier hydraulic horizontal in areas *a* – divisions; *б* – classifications; *в* – expirations

После подстановок и преобразований запишем выражение для определения ускорений потока во всех точках сечения на участке классификации в направлении осей *O-X*, *O-Z* в виде системы уравнений

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dU_{xк}}{dt} &= \frac{q^2 x_k - Q_p q}{1} \cdot \frac{p+1}{p} \cdot \frac{(H_p - z_k)^p}{B_p^2 H_p^p} \times \\ &\times \left[\frac{Q_p - q x_k}{B_p (H_p)^{2p}} + \frac{1}{p(H_p - z_k)} \right] \cdot H(f_2(x, z)); \\ \frac{dU_{zк}}{dt} &= \frac{-(q x_k - Q_p)^2}{B_p^2 H_p^p} \cdot \frac{p+1}{p^2} \times \\ &\times (H_p - z_k)^{\frac{1}{p-1}} \cdot H(f_2(x, z)). \end{aligned} \right. \quad (7)$$

Пример построения поверхности для ускорения потока на участке классификации показан на Рис.3, *б*. Ускорение потока на данном участке остается отрицательным и близким нулю.

Гидродинамические показатели течения потока в области истечения опишем аналогично зависимостям, полученным для области разделения. Тогда зависимость скорости потока от его глубины в

рассматриваемой области запишем как функцию

$$u_{хи} = u_{хи}^{ср} \frac{p+1}{p} \left(\frac{(H_p - x_{и} tg \alpha_{и}) - z_{и}}{H_p - x_{и} tg \alpha_{и}} \right)^{\frac{1}{p}}. \quad (8)$$

Ввиду наличия перегородок, разделяющих поток в области истечения, аналогичных участку разделения принимаем, что кривизна сечения всего потока вдоль оси *O-Y* мала. Значит систему уравнений (1) для скорости потока на участке истечения представим как

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{du_{хи}}{dt} &= u_{хи} \frac{\partial u_{хи}}{\partial x} + tg \alpha_{и} u_{хи} \frac{\partial u_{хи}}{\partial z}; \\ \frac{du_{уи}}{dt} &= u_{хи} tg \beta_{и} \frac{\partial u_{хи}}{\partial x} + u_{хи} tg \alpha_{и} tg \beta_{и} \frac{\partial u_{хи}}{\partial z}; \\ \frac{du_{зи}}{dt} &= u_{хи} tg \alpha_{и} \frac{\partial u_{хи}}{\partial x} + (tg \alpha_{и})^2 u_{хи} \frac{\partial u_{хи}}{\partial z}. \end{aligned} \right. \quad (9)$$

Тогда, учитывая приведенное выражение скорости от глубины потока (8) система уравнений скорости потока на участке истечения примет вид (10) для участка истечения

$$f_3(x, z) = \left[1 - \left(\frac{z_{и}}{H_p - x_{и} tg \alpha_{и}} \right)^2 \right].$$

Пример графического описания разработанной математической модели для скорости потока на участке истечения (10), приведен на Рис.2, в. Очевидно, что на участке истечения скорость увеличивается, пропорционально уменьшению площади сечения потока.

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{xи} = \frac{Q_{и}}{dx_{и}^2 - ex_{и} + f} \times \\ \times \frac{p+1}{p} \left(\frac{(H_p - x_{и}tg\alpha_{и}) - z_{и}}{H_p - x_{и}tg\alpha_{и}} \right)^{\frac{1}{p}} \cdot H(f_3(x, z)); \\ u_{yи} = tg\beta_{и} \frac{Q_{и}}{dx_{и}^2 - ex_{и} + f} \times \\ \times \frac{p+1}{p} \left(\frac{(H_p - x_{и}tg\alpha_{и}) - z_{и}}{H_p - x_{и}tg\alpha_{и}} \right)^{\frac{1}{p}} \cdot H(f_3(x, z)); \\ u_{zи} = tg\alpha_{и} \frac{Q_{и}}{dx_{и}^2 - ex_{и} + f} \times \\ \times \frac{p+1}{p} \left(\frac{(H_p - x_{и}tg\alpha_{и}) - z_{и}}{H_p - x_{и}tg\alpha_{и}} \right)^{\frac{1}{p}} \cdot H(f_3(x, z)). \end{array} \right. \quad (10)$$

Применив полученные выражения (9, 10), после преобразований также записали систему уравнений для определения ускорения потока во всех точках сечения на участке истечения в направлении осей $O-X$, $O-Y$, $O-Z$.

Участок истечения, в соответствии с разработанной математической моделью, характеризуется увеличением значений ускорений потока по гиперболическому закону от близких нулю отрицательных при переходе из участка осаждения до максимальных положительных в конце участка истечения (Рис.3, в).

ВЫВОДЫ

Разработанная математическая модель движения жидкости в проточной части

классификатора гидравлического горизонтального позволяет получить значения скоростей и ускорений потока в характерных участках процесса с учетом известных моделей распределения скорости потока по его глубине. Полученная математическая модель будет применена при описании процесса осаждения твердых частиц, движимых ускоренным несущим потоком пульпы, что позволит обосновать рациональные параметры устройств, применяемых для гравитационной переработки зернистых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Франчук В.П., Бондаренко А.А., 2014.** Теоретические основы процесса движения жидкости в классификаторе гидравлическом горизонтальном. Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск, Вып.114, 185-191.
2. **Богомолов А.И., Михайлов К.А., 1972.** Гидравлика: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Москва, Стройиздат, 648.
3. **Кизевальтер Б.В., 1979.** Теоретические основы гравитационных методов обогащения. Москва, Недра, 295.
4. **Шкундин Б.М., 1986.** Гидромеханизация в энергетическом строительстве. Москва, Энергоатомиздат, 224.
5. **Ялтанец И.М., Егоров В.К., 1999.** Гидромеханизация. Москва, Изд-во МГГУ.
6. **Огородников С.П., 1986.** Гидромеханизация разработки грунтов. Москва, Стройиздат, 256.
7. **Сукач М.К., 2013.** Плавучі засоби для розробки підводних ґрунтів. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, № 81, 55-62.
8. **Бессонов Е.А., 1999.** Технология и механизация гидромеханизованных работ: Справ. пособие для инж. и техн. Москва, Центр, 543.
9. **Бондаренко А.А., 2012.** Совершенствование размывающих систем землесосных снарядов: моногр. Днепропетровск, Национальный горный ун-т, 105.
10. **Ландау Л.Д., Лившиц Е.М., 1954.** Механика сплошных сред. 2-е изд., перераб. и доп. Москва, Гос. издат. техн.-теор. лит., 795.

REFERENCES

1. **Franchuk V.P., Bondarenko A.O., 2014.** [Theoretical fundamentals of liquid flow process in horizontal hydraulic classifier]. Geotechnical mechanics: Int.-dep. coll. of sci. works. IGTM NAS of Ukraine, Dnepropetrovsk, Vol.114, 185-191 (in Russian).
2. **Bogomolov A.I., Mihaylov K.A., 1972.** Gidravlika [Hydraulic], Stroytekhizdat, Moscow, Russia, 648 (in Russian).
3. **Kizelvatser B.V., 1975.** Teoreticheskie osnovi gravitacionnykh metodov obogasheniya [Theoretical fundamentals of gravitational dressing methods], Nedra, Moscow, 295 (in Russian).
4. **Shkundin B.M., 1986.** Gidromekhanizatsiya v energeticheskoy stroitelstve [Hydro mechanization energy building]. Energoatomizdat, Nedra, Moscow, Russia, 224. (in Russian).
5. **Yaltanets I.M., Egorov V.K., 1999.** Gidromekhnizatsiya [Hydro mechanization], MSMU, Moscow. (in Russian).
6. **Ogorodnikov S.P., 1986.** Gidromekhnizatsiya razrabotki gruntov [Hydro mechanization extraction of soil], Stroyizdat, Moscow, 256 (in Russian).
7. **Sukach M.R., 2013.** Plavuchi zasoby dlja rozrobky pidvodnyh gruntiv [Floating facilities for development of underwater ground]. Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, constructional, road and melioration machines], Nr.81, 55–62 (in Ukrainian).
8. **Bessonov E.A., 1999.** Technology and mechanization of the hydraulic mechanization works: Certificate manual for engineers and technicians, Tsentr, Moscow, 543. (in Russian).
9. **Bondarenko A.A., 2009.** Sovershenstvovanie razmivayushih sistem zemlesosnih snaryadov [Perfection of the washings out systems of shallow dredge], NGU, Dnepropetrovsk, Ukraine 105. (in Russian).
10. **Landau L.D., Livshits E.M., 1954.** Mekhanika sploshnih sred [Continuum Mechanics]. Moscow, Russia, 795 (in Russian).

MATHEMATICAL MODEL OF BEARING
STREAM MOTION IN CLASSIFIER
HYDRAULIC HORIZONTAL

Vsevolod Franchuk, Andrii Bondarenko

State higher educational establishment National
mining university
Karl Marks avenue, 19, Dnepropetrovsk, Ukraine,
49005, e-mail: bondarenkoa@mail.ua

Summary. To develop the mathematical model of stream motion in running part of classifier, for the ground the rational parameters of device, applied for the gravity processing of grainy materials. For correct description of process the mathematical model of stream motion in running part of classifier, with the use of Euler equalization for an ideal liquid is developed.

The process of the gravity processing of grainy materials in the horizontal stream of mash is accompanied the flow of bearing stream within the limits of sloping surfaces, and also by the outflow of spissated mash.

Physical and mathematical models of interaction between liquid end of classificatory and horizontal accelerated stream carrying hard particles have been developed.

The developed mathematical model allows to get the values of speeds and accelerations of stream in the characteristic areas of process, it will allow to ground the rational parameters of device, applied for the gravity processing of grainy materials.

Key words: gravity division, horizontal classifier, mathematical design, stream of liquid.

Існуючі й проєктовані штучні острови та їх призначення

Володимир Гришин, Лев Гембарський, Володимир Снісаренко

Науково-дослідний інститут підземного і спеціального будівництва
вул. Нестерова, 3, Київ, Україна, 03057, e-mail: info@undergeo.com.ua

Анотація. В науково-популярній формі стилю надано інформацію про світовий досвід утворення та експлуатації штучних островів. Наведено їх призначення, доцільність використання та фактори, які необхідно враховувати під час їх проєктування та будівництва.

Ключові слова: штучний острів, призначення, фактори.

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є викладення досвіду експлуатації та влаштування нових штучних островів, їх призначення, а також факторів, які необхідно враховувати при проєктуванні штучних островів.

ВСТУП

Сьогодні все частіше і частіше створюються нові чудеса світу. Так, наприклад, на рис. 1 показано аеропорт Кансай, вартість якого на початок будівництва оцінювалась в \$ 15 млрд. Це величезний комплекс споруд, збудований на штучному острові розмірами 4 км на 1 км і відсипаний в Осацькій затоці неподалік міста Осака в Японії.

Для чого людству потрібні такі штучно утворені на морях та океанах острови, спорудження яких вимагають величезних трудових та фінансових витрат? На сьогодні для всього цього є досить поважні причини та необхідність. Розглянемо деякі з них.

ОГЛЯД ПУБЛІКАЦІЙ

Відомі публікації щодо створення штучних островів [1-5], але вони носять виключно поверхнево-інформаційний характер і не дозволяють інженерам оцінити складність їх влаштування.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Розвиток сучасних, а в перспективі майбутніх, різноманітних галузей промисловості приведе до різкого збільшення споживання не тільки енергоресурсів, але й інших видів мінеральної сировини. Так, за даними Федерального відомства розвідки ґрунтів (ФРН), на сучасному етапі їх потреба на кожні 15 років буде подвоюватись. Запаси багатьох корисних копалин на суші досить обмежені і їх вистачить на недовгий час. Між іншим 71 % поверхні Землі, або 362 млн. км², вкрито Світовим океаном, який зберігає величезну кількість корисних копалин. Потреба в них може бути вирішена як за рахунок їх вилучення з морської води, так і шляхом видобування на територіях, вкритих морями та океанами. Як варіант, такі дії можуть вестись зі штучно споруджених островів. Наприклад, на Рис.1, 2 зображено штучний острів, намитий в КНР для видобутку корисних копалин.



Рис. 1. Аеропорт Кансай
Fig. 1. Kansai Airport



Рис. 2. Штучний острів в Китаї
Fig. 2. Artificial Island in China

В деяких країнах вже спостерігається нестача територій для проживання людей

та будівництва різних підприємств. Ці проблеми намагаються вирішити ще з XIII ст. в

Нідерландах, де 24 % земель розташовані нижче рівня Північного моря. Тут для відкачування води, починаючи з XVI ст., вперше використали декілька сот вітряків. У Венеції, що стоїть на 118 островах з'єднаних 400 мостами, ще 15 століть тому назад почали створювати канали, земля з яких використовувалась для зведення штучних островів. В 1634 році в Японії збудовано штучний острів Деджима, він слугував морським портом для голландських торгових судів.

На сьогодні проблема нестачі землі реалізується в ширших масштабах. Прикладом цього є створення міста Ейнбург, що є продовженням Амстердаму. Місто збудовано на штучних островах, намитих на озері Ей. Спочатку було влаштовано 4 острови, згодом планується намити ще 4. Після завершення будівництва на островах буде розташовуватися 18000 домоволодінь для 45000 жителів та 12000 людей буде забезпечене роботою.

Сьогодні вже існують, а також створюються нові штучні острови, на яких збудовано порти з добре обладнаними терміналами, що призначені для вантажних операцій з великовантажними суднами.

На штучних островах можна будувати підприємства, які небажано розташовувати поблизу міст на Суші (наприклад атомні станції, заводи з переробки відходів великих міст). Побудова на островах аеродромів, подалі від перенаселених приморських міст, дозволить жителям позбутися шкідливого впливу шумового забруднення створеного літаками, а також збільшити земельні площі.

При використанні швидкохідних суден покращиться та скоротиться у часі доставка пасажирів з міста до аеропорту та навпаки. Це також дозволить зменшити небезпеку посадки та зльоту літаків, яка пов'язана з гірським рельєфом місцевості. На рис. 3 показано аеропорт на штучному острові в Макао, що має 24 стоянкових місця для літаків, а також 4-ри перехідні модулі для доставки пасажирів і вантажу із будівлі аеропорту в літаки та навпаки

Людина повинна не тільки працювати, але й відпочивати. Чудовим місцем для цього можуть слугувати штучні морські острови-курорти. Так, біля міста Дубай декілька з них вже створено та продовжують зводитись нові. Дубай — дивовижне місце серед пустелі. Одним із самих амбіційних проєктів цього емірату стали 300 штучностворених насипних островів під назвою The World (Рис. 4), що влаштовані у формі географічної карти світу. Згідно задуму, цей архіпелаг стане елітним співтовариством, загальна чисельність якого разом з обслуговуючим персоналом та туристами складатиме 200000 людей. Його загальна площа складає біля 55 км², що робить його найбільшим штучним архіпелагом в світі.

Для залучення більшої кількості туристів з'явилась потреба в розширенні площ пляжів. Тому виник ще один грандіозний проєкт "Пальмові острови", основу якого складають 3 великих острови в формі пальмового дерева. Вони також створені поблизу узбережжя міста Дубай.

Острів Пальма Дейра є найбільшим з трійки штучних островів. Його будівництво розпочато у 2004 році. Відстань від берега до верха "напівмісяця" – 14 км, ширина Пальми – 8,5 км. Гілки Пальми матимуть різну довжину і розташовуватимуться на відстані 400-850 м одна від одної. Напівмісяць загальною протяжністю 21 км буде найбільшим хвильорізом у світі. На створення острова піде мільярд кубічних метрів каменю та піску. Після завершення будівництва, Пальма Дейра стане найбільшим в історії людства антропогенним островом, який слугуватиме середовищем проживання для 1 млн. людей.

В Дубаї, як відомо, піску більше ніж потрібно. Однак пісок, взятий з пустелі, який покриває Аравійський півострів, не придатний для будівництва штучних островів – він занадто дрібний. Якщо таким піском засипати пляж, туристів він також не задовольнить. Окрім цього, вітер легко переносить цей пісок з місця на місце, тому довго на пляжі він не затримається.



Рис. 3. Аеропорт на штучному острові в Макао
Fig. 3. The airport on an artificial island in Macau

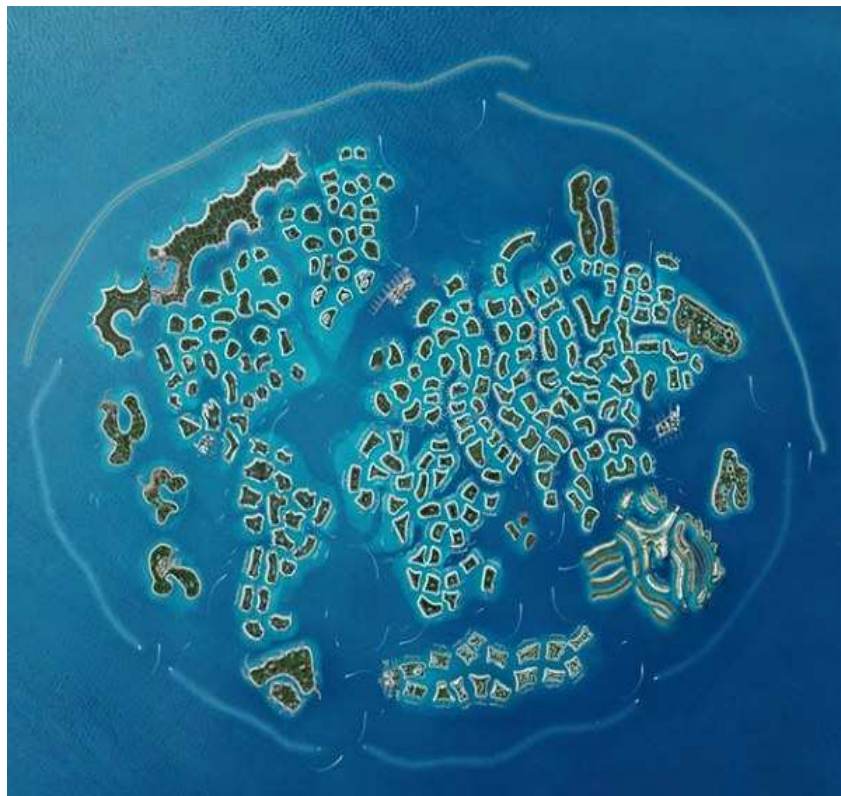


Рис. 4. Острови під назвою Світ
Fig. 4. Islands named The World

Тому пісок для штучних островів привозять з узбережжя Персидської затоки. Для зведення хвилерізів було використано наступну технологію. Спочатку насипали пісок, зверху його вкривали полотном, на яке вкладали гравій та каміння середньої крупності.

Штучні острови споруджуються і в інших країнах. Так в Бахреїні споруджено острів Durrat Al Bahrain, подібний до проекту Пальмові острови. Він коштував \$1,2 мільярди і полягав в будівництві архіпелагу з 13 штучних островів, розташованих на ділянці 20 млн. м².

В Канаді за 10 місяців посередині ріки Святого Лаврентія споруджено острів Нотр-Дам. Його влаштовано з 15 млн. тонн гірської маси, видобутої при будівництві Монреальського метро в 1965 році. Призначення острова — розміщення та проведення Всесвітньої виставки Ехро-67 на честь 100-річчя Канади.

Тенденція будувати штучні острови — це не вигадки останніх десятиліть. В Чорногорії, наприклад, два брати-рибалки насипали рукотворний острів ще в 1452 році

Сьогодні йде активне будівництво плаваючих островів. Так в Нідерландах архітектурна компанія Studio Noach розробила проект штучного плаваючого острова, який в якості елітного SPA-курорту повинен плавати десь в околицях Амстердама.

Заможні люди можуть собі дозволити створити плаваючий острів-яхту. А для більшої подібності до островів на ньому можна спорудити вулкан та засадити її палубу тропічною рослинністю.

Держава Мальдіви розташовується на 1200 маленьких островах, і підняття рівня Світового океану змушує її непокоїтись про своє майбутнє. Тому німецькі архітектори розробили проект плаваючих островів, які зможуть в майбутньому прийняти на себе жителів затонулого архіпелагу і гарантувати їм повноцінне життя.

До плюсів штучних островів належить наступне:

- більша стійкість до льодових, хвильових та сейсмічних впливів;

- спрощення технології будівельних робіт, відносно менші капітальні витрати на будівництво;

- підвищена надійність, довговічність, експлуатація островів менше залежить від погодних умов.

Разом з тим слід мати на увазі, що ґрунтові острови потребують при зведенні великої кількості сипучих матеріалів (піску, гравію) і вартість їх істотно залежить від глибин. Також необхідно влаштовувати капітальний захист відкосів островів від дії криги та хвиль.

Штучні ґрунтові острови в залежності від способу проведення робіт при їх будівництві поділяють на:

- наливні, які споруджуються без захисту або із захистом відкосів;
- насипні, які споруджуються, як правило, із захистом відкосів.

За призначенням, острови розділяють на розвідувальні, експлуатаційні та рекреаційні. Розвідувальні острови призначаються для розвідувального буріння, які мають відносно невеликий термін служби, що враховується при їх проектуванні та будівництві. Експлуатаційні острови призначені для промислового видобутку нафти і газу, і повинні бути більш довговічними, мати посилені конструкції та збільшені розміри, що також враховується при їх проектуванні і будівництві.

На думку частини закордонних спеціалістів, використання штучних ґрунтових островів економічно доцільне при глибинах до 20 м (на думку інших спеціалістів – до 9...12 м). При глибинах більше ніж 20 м потрібно вже таку велику кількість сипучих матеріалів, що їх технічно неможливо доставити за час одного будівельного сезону. При глибинах більше 20 м доцільно влаштовувати острови, береги яких огорожуються стінками вертикального типу, наприклад, з масивів-гігантів.

На Рис. 5 показано штучний острів Молікпак ("велика хвиля") з огороженням із сталевих корпусу у вигляді системи масивів-гігантів для глибин 15...40 м. Острів призначений для розвідувального та промислового буріння нафти на території ка-

надського сектору моря Бофорту. Всі несучі конструкції острова виконані з високоміцних, морозостійких суднобудівних сталей. Будівництво конструкції острова здійснено в 1983 році. Опорний корпус з надбудовою виготовлялись в Японії в сухому доці. Добудова здійснювалась на плаву за допомогою плавкранів. Усі роботи були завершені до осені 1984 року. Острів кригостійкий, буріння з нього можна проводити впродовж цілого року, окрім цього є можливість його

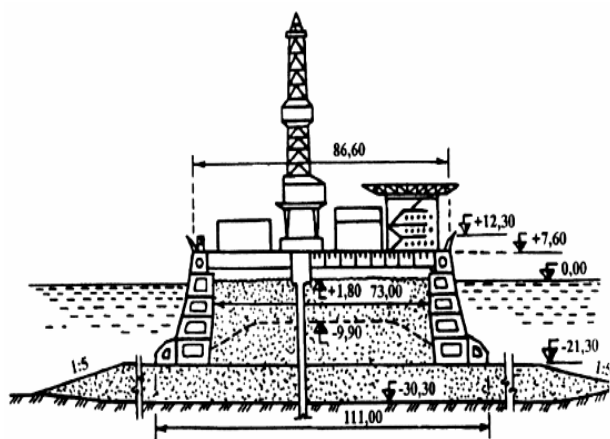


Рис. 5. Штучний острів Молікпак
Fig. 5. Artificial island of Molikpak

передислокації.

Можна навести багато прикладів вже реалізованих об'єктів або тих, що лише проєктуються.

Далі розглянемо як практично будуються такі острови. Проілюструємо це питання на прикладі створення штучного острова під аеропорт Кансай (див. Рис. 1). Міжнародний аеропорт Осака, що знаходиться в густонаселеній місцевості, не міг бути розширеним через причину нестачі землі та шумленості. Тому аеропорт вирішили змістити на південь, в Осацьку затоку. Тут, подалі від населених районів, аеропорт може бути відкритим 24 години на добу, а шум від сідаючих та злітаючих літаків не заважатиме мешканцям. Проєктувальники запропонували посеред затоки відсипати штучний острів довжиною 4 км та шириною 1,2 км. Ця споруда мала витримувати жорсткі тайфуни, сильні землетруси та ви-

сокі хвилі цунамі. Процес наміву показано на рис. 6.

Будівництво розпочалось в 1987 році. Морська стіна, зведена з великих каменів та 48000 бетонних блоків, була закінчена до 1989 року. Вона визначила контури майбутнього острова. 1000 робітників, 10 мільйонів годин роботи та 80 суден знадобилось для того щоб утрамбувати 21 млн. м³ ґрунту на морському дні та звести насип висотою в 30 м над рівнем моря. До 1990 року було завершено будівництво дворівневого мосту (вартістю \$ 1 млрд.) по нижньому рівню якого прокладено залізницю, а по верхньому – шосе. Він довжиною в 3 км з'єднає штучний острів з передмістям. Острів спеціально спроектовано таким чином, щоб він міг поступово занурюватись в ґрунт по мірі осідання та ущільнення ґрунту. Однак, на сьогодні, осідання поверхні острова перевищила заплановану величину на 8 м.

В 1991 році розпочалось будівництво терміналу. Для компенсації просідання його будівлю обладнано спеціальними підтримувальними колонами, під які, за необхідності, можна влаштувати металеві підпорки і таким чином зберегти будівлю.



Рис. 6. Намив штучного острова
Fig. 6. Alluvium of artificial island

Аеропорт відкрився в 1994 році. Загальна вартість будівництва склала \$ 15 млрд. Головною статтею витрат стала боротьба з осіданням острова. Відразу після завершення будівництва зниження рівня острову йшло з такою швидкістю, що аеропорт вважали техногенним лихом. Однак на сьогодні затоплення острову уповільнилось і тепер можна сказати, що аеропорту нічого не загрожує. Швидкість осідання острову уповільнилась з 50 см до 7 см на рік.

В 2003 році розпочалось будівництво другої злітно-посадкової смуги довжиною в 4 км. Для цього, поруч з першим, спорудили другий штучний острів. Другу смугу введено в експлуатацію у 2007 році. В подальшому планується відкрити другу будівлю терміналу та відкрити третю злітну смугу.

Приведений короткий аналіз будівництва аеропорту Кансай показує, що начебто проста задача з наміву штучного острову, містить в собі багато дороговартісних складнощів, особливо пов'язаних з деформаціями та переміщенням ґрунтів в водному середовищі. Це також підтверджується процесами, які відбуваються з намитими островами The World. Після завершення їх будівництва та продажу приватним особам 70 % всіх островів під дією незначних підводних течій почали зливатись один з одним та занурюватись в море.

Таким чином під час проектування морських штучних островів і будівництві на них гідротехнічних, промислових або курортних споруд повинен враховуватись великий комплекс факторів, які характеризують природні умови району їх зведення. До них відносять: гідрологічні; геологічні; геоморфологічні; метеорологічні та інші. До гідрологічних умовам відносять наступні основні фактори: морські хвилювання; криговий режим; коливання рівня моря; припливно-відливні явища; морські течії; цунамі та інші. Вони кардинальним чином впливають на діяльність людства в освоєнні морів та океанів. До гідрографічних умов в першу чергу відносять: глибини та рельєф дна морів та океанів. Геологічні та геоморфологічні умови включають: геологічну

будову дна; властивість гірських порід; змінність форми дна; рух наносів та можливі тектонічні явища. До метеорологічних умов відносять: вітровий режим; температура повітря; осадки і тумани. Ґрунтові острови повинні протистояти хвильовій ерозії літом та впливу криги взимку. Тому на них повинні зводитись берегозахисні споруди.

Крім природних умов необхідно також враховувати призначення острова, наявність ґрунтових матеріалів і способи їх транспортування, наявність плавзасобів та іншої будівельної техніки; віддаленість острову від виробничої бази тощо.

Територія України включає до себе частину Чорного та Азовського морів. В умовах окупації в 2014 році АР Крим, наша держава втратила на невизначений термін значну кількість рекреаційних територій. Окрім цього, шельф Чорного моря багатий на корисні копалини. Все це та інші фактори ставлять питання про можливе створення в Україні штучних островів різноманітного призначення. Чи дозволяють це природні умови морів України і чи є обґрунтованим для нашої держави створення штучних островів? Це є темою інших публікацій.

ВИСНОВОК

В статті в популярній формі стисло надано інформацію про світовий досвід утворення та експлуатації штучних островів. Наведено їх призначення, доцільність використання та фактори, які необхідно враховувати під час їх проектування та будівництва.

ЛІТЕРАТУРА

1. **АКИМІСНІ Томоа, 1991.** Sea Tenure and Its Transformation in the Lau of North Malaita, Solomon Island. South Pacific Study, 12(1): 7-22, 17.
2. **Международный аеропорт Кансай на искусственном острове** [Електронний ресурс]: http://archive.is/20120716090811/aminpro.narod.ru/origin_0005.html. – Назва з екрану.
3. **Искусственный остров.** [Електронний ре-

ресурс]: <http://www.miningenc.ru/i/iskusstvennyj-ostrov>. — Назва з екрану.

4. **Назаренко И.В., 2008.** Черепаха остров. Энциклопедия. Таганрог, Антон, 780.
5. **Тарасов В.В. Петрашев С.В.** Применение массивов-гигантов для защитных ограждений при возведении искусственных островов-нефтеплатформ в море Бофорта на примере сооружения "Моликпак" [Электронный ресурс]: <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/component/content/article/29-development-of-minerals-and-geodesy/3783-tarasov-vv-petrashevsky-ne>. — Назва з екрану.

REFERENCES

1. **AKIMICHI Tomoya, 1991.** Sea Tenure and Its Transformation in the Lau of North Malaita, Solomon Island. South Pacific Study, 12(1): 7-22, 17.
2. **Kansai international airport on an artificial island** [electronic resource]: http://archive.is/20120716090811/aminpro.narod.ru/origin_0005.html. Name of the screen (in Russian).
3. **The Artificial island** [electronic resource]: <http://www.miningenc.ru/i/iskusstvennyj-ostrov>. Name of the screen (in Russian).
4. **Nazarenko I.V., 2008.** The Turtle Island. Encyclopedia. Taganrog, Anton, 780 (in Russian).
5. **Tarasov V.V., Petrashev S.V.** The use of arrays of giant for the guards in the construction of artificial islands-oil platform in the Beaufort Sea in the example structures "Molikpак" [electronic resource]: <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/component/content/article/29-development-of-minerals-and-geodesy/3783-tarasov-vv-petrashevsky-ne>. Name of the screen (in Russian).

EXISTING AND PROJECTED ARTIFICIAL ISLANDS AND THEIR PURPOSE

*Volodymyr Gryshyn, Lev Gembarskyi,
Volodymyr Snisarenko*

Underground and Special Construction
Research Institute
Nesterova street, Kyiv, Ukraine, 03057,
e-mail: info@undergeo.com.ua

Summary. In the scientific and popular form provided brief information on the global experience of formation and operation of artificial islands. An appointment, and appropriateness of factors that must be considered during their design and construction The aim is to describe the experience of operation and installation of new artificial islands, their purpose, and presenting factors that must be considered in the design of artificial islands. Researches in this work are of analytical character. In an article in a popular form provided brief information on the global experience of formation and use of artificial islands. An appointment, and appropriateness of factors that must be considered during their design and construction. The results obtained may be used in the future to refine and improve existing engineering methods of artificial islands including in Ukraine. Work has popular science and practical interest.

Key words: Artificial islands appointment, factors, experience of construction and operation.

Analysis of slope at increase of the static load

Eduard Petrenko, Mahdi Gharakhanlou

Kyiv National University of Construction and Architecture
Povitroflotskyi prosp., 31, Kyiv, Ukraine, 03680, e-mail: ed2952@voliacable.com

Summary. Based on the example of the pilot area in Kiev the influence of the increased static load on the superstructure of the stress-strain state of the slope was studied. The efficiency of the proposed methodology when considering the work of "home-slope-retaining structure" depending on natural and anthropogenic factors was demonstrated.

Key words: slope, soil, landslide-prone areas, finite element method, retaining wall.

INTRODUCTION

The construction industry constantly needs to attract an increasing number of potential sites for the design and construction of buildings for various purposes [1-4]. This requires an urgent need for land use that in the recent past was not considered as possible to use for construction sites at all. These include heavily eroded areas and landslide-prone areas. Efficient and safe use of areas within the impact structures on slopes requires determination of stress-strain state (SSS) as the action of soil separate weight and with additional static loading (e.g. impact of the house that is being projected or an addition to the existing building). Regulations require consideration of the stress-strain state and determination its slope stability factor K_{st} the value of which depends on many natural and

man-made factors. K_{st} limit values for basic load combinations influence the choice of anti protective structures and their location on the plan [1]. The actual value of K_{st} can only be found out while identifying the location of a potential slip surface (PSS), which in most cases has a complex configuration of [6]. In practice, the most accurate geometrical form of PSS can be received by using instrumental networks (eg inclinometers). But the efficient, sustainable use of such equipment is only possible by immersing them in a potentially weakened areas within the geotechnical elements (GTE) of a landslide-prone slope [5, 7]. Therefore, the solution of such a difficult, complex task, as a true picture of changing SSS of the landslide-prone slopes on condition of the additional static load is possible only within the nonlinear soil mechanics using numerical calculation methods [9-13].

PURPOSE OF WORK

To consider the effect of increasing of the existing superstructure static load on the stress-strain state of "house-slope-retaining structure." To evaluate the proposed methodology at various stages of loading of such a system.

NUMERICAL SOLUTION PROCEDURE

The most common and versatile numerical method for solving this class of problems is the ITU [12]. Under this method in order to consider SSS moment ITU scheme is used. It ensures that no deformation takes place when moving rigid body as a whole and excludes (removes) the problem of "false bias" [12]. This is particularly important for the calculation of the slopes where soil destruction in the local area still does not lead to its global displacement.

Deformation of the soil environment is characterized by the simultaneous occurrence of a large number of complex physical and mechanical processes. Many modern nonlinear models of the soil environment are oriented at solving this class of problems through the use of or a significant number of input parameters, or vice versa unduly minimizing their numbers. But the benefits of a model is primarily grounded by the minimum number of input parameters, simplicity and reliability of their definition in accordance with the current regulatory literature. In the present program complex SATER.SOIL a modified model of soil protection is used, which is based on the dilatation theory by V.N. Nikolayevskii [8, 9]. It has a theoretical and experimental basis, a clear physical interpreting and limited required number of known input parameters of the base. The criterion limiting condition for this complex is modified condition of Mises-Schleicher-Botkin.

Let us consider the vertical section of the site with the appropriate configuration of surface and defined physical and mechanical properties of soil. In order to describe the geometry and topology of the element of the dispersed environment basic coordinate system is introduced. Along with the baseline local curvilinear coordinate system for the solutions is introduced (Fig.1).

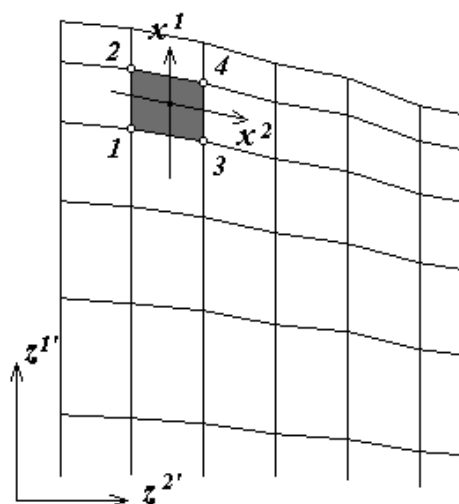


Fig. 1. Cross section of the soil with local and global coordinate systems

The center of the local coordinate system is associated with the elementary volume environment. The relationship between global and local coordinate systems is defined by the coordinate transformation of the tensor whose components are represented by the following relations:

$$c_i^{k'} = \frac{\partial z^{k'}}{\partial x^i}, \quad i, k = 1, 2 \quad (1)$$

At the deformation of the volume of the soil environment every point gets movement, that is characterized by a vector, which is represented by the covariant components in the local coordinate system. Strain tensor is represented by covariant components that are submitted by the components of the displacement vector:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(c_j^{k'} y_{k',i} + c_i^{k'} y_{k',j} \right),$$

$$y_{k',i} = \frac{\partial y_{k'}}{\partial x^i}, \quad i, j, k = 1, 2 \quad (2)$$

In terms of elastoplastic deformation calculation of soil environment plastic deformations in the boundary condition is

based on the associated law of plastic flow theory. It is assumed that increases of the strain tensor $d\varepsilon_{ij}$ are equal to the sum of elastic increments $d\varepsilon_{ij}^e$ and plastic $d\varepsilon_{ij}^p$ components. Elastic deformation are small and associated with stresses were generalized by the Hooke's law. According to current theories of law associated plastic deformation develop to the normal of the surface fluidity [8].

$$d\varepsilon_{ij}^p = d_F \frac{dF}{d\sigma^{ij}} \quad (3)$$

where d_F – small scalar multiplier, F – function of fluidity, $F = 0$ – law of the limiting soil conditions, σ^{ij} – contravariant components of the stress tensor in the local coordinate system. As the surface fluidity we accept generalized condition of plasticity, which in the space of the main stress is a combination of conical and cylindrical surfaces:

$$F = \begin{cases} I_s + \sigma_o tg\varphi - \tau_{npu} \sigma_o \leq p_o \\ I_s + p_o tg\varphi - \tau_s npu \sigma_o > p_o \end{cases}, \quad (4)$$

where I_s – intensity of tangential stresses $\left(I_s = \sqrt{\frac{1}{2} s^{ij} s_{ij}} \right)$; σ_o – hydrostatic pressure; τ_s – threshold shifting voltage; φ – angle of internal friction of soil; p_o – parameter of the soil environment.

Based on the proposed method of correction component of the stress tensor elementary volume of soil, which is located in the boundary condition deviator s^{ij} and layer σ_o^{ij} parts of the stress tensor σ^{ij} can be represented in proportion to the respective components s_e^{ij} i σ_{oe}^{ij} of the tensor σ_e^{ij} , calculated on the assumption of elastic deformation of soil on growth of deformation $\Delta\varepsilon_{ij}$:

$$s^{ij} = q_1^\tau s_e^{ij}, \quad \sigma_o^{ij} = q_2^\tau \sigma_{oe}^{ij}. \quad (5)$$

Coefficients q_1^τ i q_2^τ are defined with the expressions:

$$q_1^\tau = 1 - \frac{3G_1}{2G_2 tg^2 \varphi + 3G_1} \cdot \frac{I_{2e} + \sigma_{oe} tg\varphi - \tau_s}{I_{2e}}; \quad (6)$$

$$q_2^\tau = 1 - \frac{2G_2 tg\varphi}{2G_2 tg^2 \varphi + 3G_1} \cdot \frac{I_{2e} + \sigma_{oe} tg\varphi - \tau_s}{I_{2e}}.$$

Here the constants of the soil environment G_1 i G_2 are submitted on the basis of elastic modulus and Poisson's ratio:

$$G_1 = \frac{E}{1+\nu}, \quad G_2 = \frac{E}{1-2\nu}. \quad (7)$$

where E – modulus of elasticity, ν – Poisson's coefficient, I_{2e} – second invariant of the stress deviator calculated on condition of elastic environment.

These value let us simulate the stress-strain state of soil environment, to determine the pressure distribution in the ground under its own weight and various external influences considering heterogeneity environment, changes in topography and physical-mechanical characteristics during deformation.

An example of the practical use of the complex is SATER.SOIL the analysis of SSS changes of the slope with additional static load on one of the pilot sites in Kiev.

Table 1

№ GTE	S, kPa	φ , grades	E, MPa	ρ , t/m ³	ν
1 Eolian layer	—	—	—	1.50	—
2. Loess sandy loam	14	22	14	1.65	0.30
3. Loam	18	19	19	1.79	0.35
4. Fine sand	1	32	25	1.87	0.30

In the numerical implementation the slope based on the engineering research was presented as discrete finite-element model of the grid cell that has 4 pieces, each of which is a separate geotechnical element (GTE). The parameter of the environment that are used in the numerical calculations are presented in the Tab.1.

At the first stage the problem of determining SSS slope from the action of mass forces was being solved, and for this and future productions K_{st} was calculated according to the Lombardo V.M. method [2]. As it is shown in Fig. 2 the small concentration of plastic deformation is concentrated in the basis of the existing rubble retaining wall.

The slope itself is in a stable condition, there is almost no plastic deformation ($K_{st} = 1.47$). The horizontal movement of the upper part of the existing wall is 1...2 mm, it means it is within the margin of error. This defined SSS of mass action forces (own soil weight) was accepts as a base for further calculations.

The next step was to determine and calculate the change of the SSS slope during its interaction with the three-storey building on strip foundations (Fig. 3), which passed the uniformly distributed load to the soil foundations $q = 1.7\text{kh/cm}^2$.

Generally under the foundations familiar SSS changes of the base are observed, as well as the concentration of shear plastic deformation. But under the foundations that are closer to the curb slope there is a tendency to increase. The directions of the distribution of plastic deformation in the direction of the slope goes to the zone that has been established as a result of the inclusion of a retaining wall in the system "home-slope-retaining structure." This is evidenced by the horizontal movement of wall to 5...7 mm. Those deformations do not affect the normal operation of the building and do not lead to the deformation of the stability of the slope and in this case $K_{st} = 1.31$.

The project remodeling supposes the addition of the two floors (one of which attic), which increased the burden on the soil base to

$q = 2.3\text{kh/cm}^2$. At the same time the measures to ensure the stability of the slope were not stipulated, and the estimated value of K_{st} was 1.2. But taking into account the threshold value of K_{st} for given geotechnical conditions and dynamics of SSS of the loaded slope we had to examine and solve the problem of ensuring its sustainability.

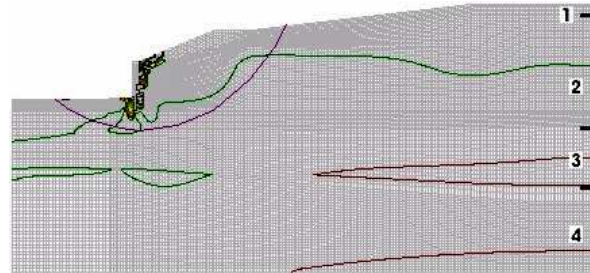


Fig. 2. Contours of the intensity of plastic deformation from the effects of the own soil weight

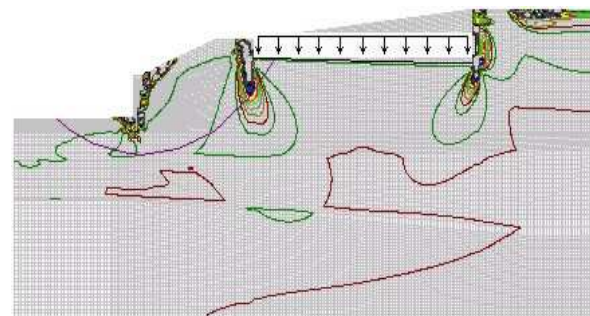


Fig. 3. Contours of the intensity plastic deformation

In the first stage of numerical calculation the changes of SSS of slope with increasing load on the soil base were clarified and their impact on slope stability without placing landslide protections. Calculations showed that the direction of concentration of the contours of the plastic deformation tends to be a combination of progressive deformation zone under the existing retaining wall and a subsequent possible release of the free surface (Fig. 4).

K_{st} value for the potential slip surface for a given trajectory of the SSS slope change was equal to 0.95. This horizontal movement of the existing retaining wall is 52 ... 63mm. All this indicates to the need for additional anti-

structures for stability of the slope. One of the design options of the provision of the normal operation of the building with additional designed floors is using bored piles as retaining walls. This wall should be set up at the curb of the slope, in a place that has the largest concentration of plastic strain contours (Fig. 5).

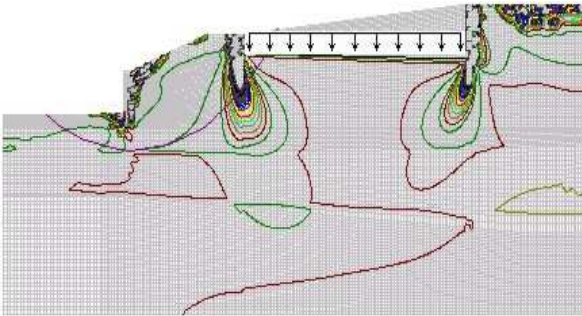


Fig. 4. Contours of the intensity of plastic deformation

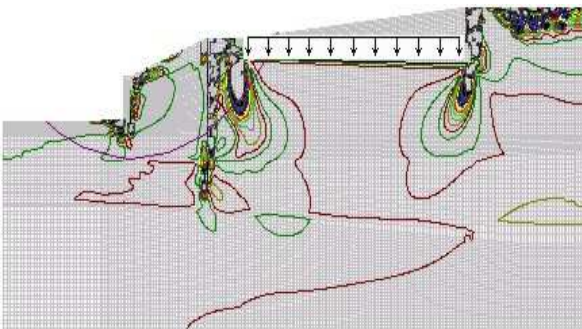


Fig. 5. Change of the intensity of the contours of plastic deformation and placing a second retaining wall

For efficient and effective use of anti-landslide measures retaining wall of bored piles $d = 0.8\text{m}$ lodged in sandy soils (EGE-4) was consistently constructed in these conditions.

When using such a retaining wall the SSS of the system "house-slope-retaining structure" has changed. The tendencies of the progressive plastic deformation zones to free surface were not observed. Maximum plastic deformations are concentrated near the projected retaining wall. Under these conditions its horizontal movement was 3 ... 5mm, and of the existing

lower walls, respectively, 1 ... 2 mm. For such a problem the value of K_{st} was 1.34, i.e. at the level of the slope to the superstructure. Therefore, further calculations and searching for effective design solutions landslide events are not needed.

CONCLUSIONS

Therefore, the proposed methods allow to:

1. Assess the SSS of the system "house-slope-retaining structures" as to the effects of both natural and anthropogenic factors specifying the needed parameters (e.g. K_{st}).
2. Trace the dynamics of the adjusted maximum plastic deformations, find a tendency to their accumulation or reduction at all stages of loading the soil environment.
3. Determine rational and efficient location of landslide protection works, they possible movement and influence of the design features on the state of the slope.

REFERENCES

1. **DBN V.1.1-3-1997, 1998.** Engineering protection of territories, buildings and structures from landslides and mudslides. The main provisions. Kyiv, State Committee for Construction, Architecture and Housing Policy of Ukraine, 41.
2. **DBN B.1.2-2:2006, 2006.** System reliability and safety of construction projects. Pressures and impacts. Design standards. Ministry of Construction of Ukraine. Kyiv, 75 (in Ukrainian).
3. **Eurocode 7: Geotechnical design – Part 2: Design assisted by laboratory testing, 2000.** EN 1997-2:2000. European Committee for Standardization. Brussels, 196.
4. **DBN B.2.1-10:2009, 2009.** Items of construction and industrial products for construction purposes. Bases and foundations of buildings and structures. The main provisions of the design. Ministry of Regional Development of Ukraine. Kyiv, 104 (in Ukrainian).
5. **Boyko I., Kornienko M., Sakharov V., Zhuk V., 2009.** Soil base deformation features of the pile foundations on loess and landsliding territories at static and dynamic loadings. Proceedings of the 17-th International

- conference on soil mechanics and geotechnical engineering. Egypt, Vol.2, 1271-1274.
6. **Lombardo V., Groshev M., Olympiev D., 1986.** Accounting for the stress-strain state at the calculations of slope stability of earth dams. Hydraulic Engineering. No.7, 16-18.
 7. **Malesa W., 2011.** FEM application in the calculation of parameters for tire-soil interaction including contact stress. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Lublin, Vol. 13, 227-235.
 8. **Modern** problems of mechanics soils. Defining the problem of soil mechanics, **1985.** Moscow, Stroiizdat Publ., 210-227.
 9. **Petrenko E., Solodei I., 2005.** Numerous studies NDS slope and design of protective structures. Bases and foundations: Inter-departmental scientific-technical collection. Kyiv, KNUCA, ed. 29, 109-116.
 10. **Prusov D., 2011.** Effect of deep excavations with filler constructions on the groundwater filtration processes. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, Lublin, Vol. 13C, 43-50.
 11. **Prusov D., 2013.** Principles for municipal facilities reconstruction based stability assessment methodology. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, Lublin, Vol. 15(5), 31-34.
 12. **Sakharov A., Kyslookyi V., Kyrychevskiy V. et al., 1982.** The finite element method in mechanics of solids. Kyiv, High School Publ., 479.
 13. **Sakharov V., Zielona Góra, 2014.** An investigation of system “soil base-foundation-structure” response to seismic forces with provision for nonlinear properties of materials. Materiały X Konferencji naukowej “Konstrukcje zespolone”, Polska, Zielona Góra, 26-27 czerwca 2014. Uniwersytet Zielonogórski, 407-426.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ СКЛОНА ПРИ
УВЕЛИЧЕНИИ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Эдуард Петренко, Mahdi Gharakhanlou

Киевский национальный университет
строительства и архитектуры
Воздухофлотский просп., 31, Киев, Украина,
03680, e-mail: ed2952@voliacable.com

Аннотация. На примере экспериментальной площадки в г. Киев рассмотрено влияние увеличения статической нагрузки при надстройке здания на напряженно-деформированное состояние склона. Показана эффективность предложенной методики при рассмотрении работы системы “здание-склон-подпорное сооружение” в зависимости от природных и техногенных факторов.

Ключевые слова: склон, грунт, оползнеопасная территория, метод конечных элементов, подпорное сооружение.

The principles of composite construction penetrability waterproofing mortars with increased service life

Kateryna Pushkarova, Maryna Sukhanevych, Kateryna Bondar

Kyiv National University Of Construction And Architecture
Povitroflotskyy prosp., 31, Kyiv, Ukraine, 03680, e-mail: m.suhanevich@ukr.net

Summary. Investigated waterproofing penetrability mortars inflicted on concrete structures to improve their water resistance, durability, frost resistance. Optimized binder composition.

Key words: waterproofing mortars, portland cement, granulated blast furnace slag, natural zeolite, salts electrolytes, water absorption, durability, performance characteristics.

INTRODUCTION

Installation of waterproofing is the most difficult and responsible kind of works. That's why, only a systematic complex approach that includes the full research of buildings, can provide reliability and durability of technical solutions "material-construction-technology-exploitation" with all the factors influencing both a building as a whole and its individual elements [1].

In Ukraine materials of penetrating action, came on the market in the mid-90s of the last century. Today in Ukraine there are such permeable materials of penetrating action as Ceresit CR66 (Henkel Bautechnik, Ukraine), SikaTop®Seal-107 (Sika, Ukraine), Acwatron (Ukraine), Viatron (Ukraine), Aquamat Penetrat (Isomat, Georgia), Maxseal Super (Drizoro, Spain), Milenium (Satecma, Spain), Xypex (Canada), Penetron (Russia), Kalmatron (Russia), Lahta (Russia) [2].

Materials of penetrating action are got by using dry mixes based on portland cement, quartz sand and active mineral additives. The

content of a large number of chemical additives in such of waterproofing mixes leads to the formation of efflorescence, cracking, peeling, reducing frost resistance, atmospheric durability and corrosion resistance, short-lived concrete and reinforced concrete structures. It should also be noted that the high cost of both the waterproofing material and repairs made, also cause some dissatisfaction of consumers [3].

To remove existing the shortcomings of waterproofing solutions of penetrating action it is necessary to adjust the composition of salts electrolytes and to create the opportunities for the phase regulation of transformations of binding extra alkalis (Na, K) into insoluble compounds (SO_2^{3-} , SO_4^{2-} , NO_3^-), followed by their participation in formation of with improved performance characteristics of artificial stone structure.

To manage processes of structure formation of portland cement compositions modified by active mineral additives, natural zeolites and salts electrolytes, will adjust the strength and deformation characteristics of artificial stone and open the possibility of creating effective materials as a basis for waterproofing solutions of penetrating action with given properties.

PURPOSE OF WORK

The purpose of work is development of durable waterproofing coverings of penetrate action with the increased operational properties

on the basis the slag-contain cement modified by additives of natural zeolites and a complex additive of salts-electrolytes. The last will allow to synthesize ettringite like combinations which will serve as the crystallization centers for the low-main hydrosilicates of calcium.

MATERIALS AND METHOD OF TESTING

Experimental researches were conducted on the basis of cement composition consisted of Portland cement CEM I 500, the blast furnace granulated slag of Krivorozhsky plant (Ukraine) and natural zeolite-clinoptilolite (Ukraine). As components of chemically active complex action salts of alkaline metals such: sodium nitrates, sodium carbonates and sodium sulfates were accepted.

Mixture for receiving a waterproofing covering consisted of mineral binding and quarts sand sizes less than 0,63 mm. The ratio of a cement:sand made 1:1,5. The amount of water selected resulted from the need of ensuring sufficient mobility and spreadability of mix. Taking into account these requirements water:cement ratio was within $W/C=0,45...0,5$ and flow table test with using Vick's ring reached 200...210 mm.

As compositions of comparison widely known waterproofing materials of penetrating action (the Penetron and Kalmatron, production of Russia) were chosen. Physico-mechanical researches were made according to standards on dry construction mixes DSTU B.V.126:2011. Durability of the coverings put on a concrete basis, was defined with the help of non-destructive measurement of compressive strength by a sclerometer, and water tightness - by a Karsten's tube. Composition of products hydration was identified, using physical and chemical methods of researches: an X-ray phase, differential and thermal methods of the analysis and electronic microscopy.

RESULTS AND DISCUSSION

The analysis of the results showed that the lowest water absorption value (Tab.1) 7 (0.5 ml), 360 days (2.9 ml) and relatively high strength (7.97 and 8.5 MPa, respectively) (Fig.1, a) are the characterized of coatings based on Portland cement, blast furnace granulated slag, natural zeolite and salts electrolyte with a ratio of components $Na_2CO_3:Na_2SO_4:NaNO_3 = 4:5:1$ [4]. It should be noted that the use of waterproofing coatings containing proposed complex salts with natural zeolite makes it possible to reduce water absorption value at 17.7...21.4 times (7 days) and 2.5...4.4 times (360 days).

Volume of the entrained air recommended for concrete for marine engineering with freeze-thaw resistance ($F > 200$).

Table 1. Compressive strength and water absorption of coatings after 7 and 360 days of testing

№ composition	Compressive strength, MPa		Water absorption, ml	
	7 days	360 days	7 days	360 days
1	7,17	6,39	0,6	20
2	9,04	7,97	0,5	5,1
3	7,97	8,71	0,5	2,9
4	11,4	10,94	10,7	12,8
5	10,34	6,25	6,2	23
6	9,27	6,84	0,5	17

Remark: water absorption coverings based on slag contain cement with an additive of natural zeolite (composition 4) and with additives of sodium salts (carbonates, sulfates, nitrates), taken in various ratios (composition 1, 2, 3); comparative compositions of "Penetron" and "Kalmatron" (5, 6 respectively).

The designed coverage is competitive to the waterproofing material presented in Ukraine (compared "Penetron" has water absorption 6.2 ml and 23 ml respectively after 7 and 360 days, and the strength of the coating 10.34 MPa and 6.25 MPa, respectively, after 7 and 360 days; "Kalmatron" has water absorption of 0.5 ml and 17 ml respectively after 7

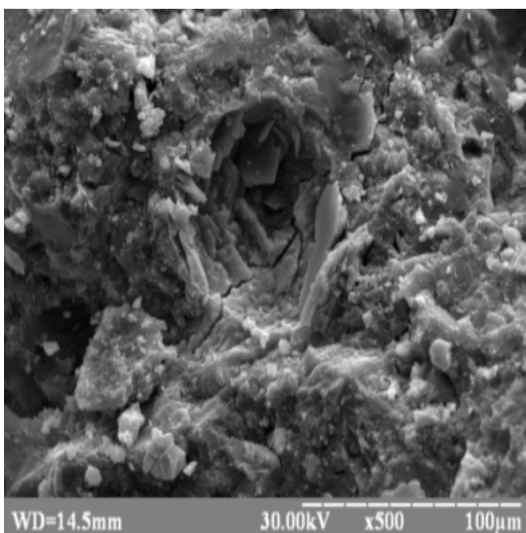
and 360 days, the strength of the coating 9.27 MPa and 6.84 MPa, respectively, after 7 and 360 days).

The phase composition of new formation was studied using an X-ray diffraction, differential thermal analysis and an electron microscopy for disclosing the mechanism of action of the optimum composition of binder systems.

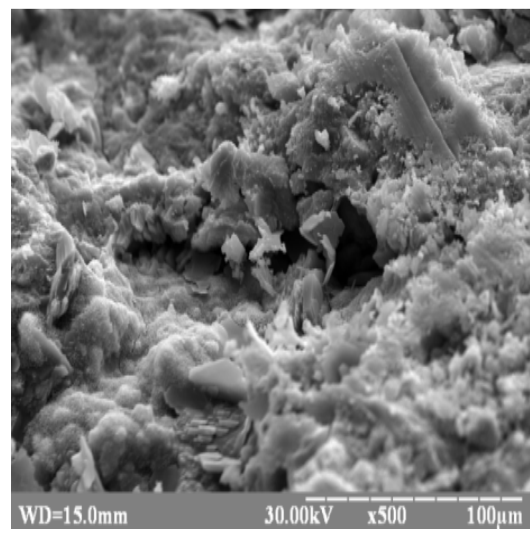
It is discovered that the phase composition of new formation at the early stages of hydration of Portland cement modified by the addition of granulated blast furnace slag (28.5 %), natural zeolites (5.0 %) and salts electrolyte

with optimal component Na_2CO_3 : Na_2SO_4 : $\text{NaNO}_3 = 4:5:1$, is represented mainly by hydrosilicates of calcium and a hydrosulphoaluminate type of ettringite structure (AFt that AFm), that occlude its pore space both reducing water absorption and water penetration in time.

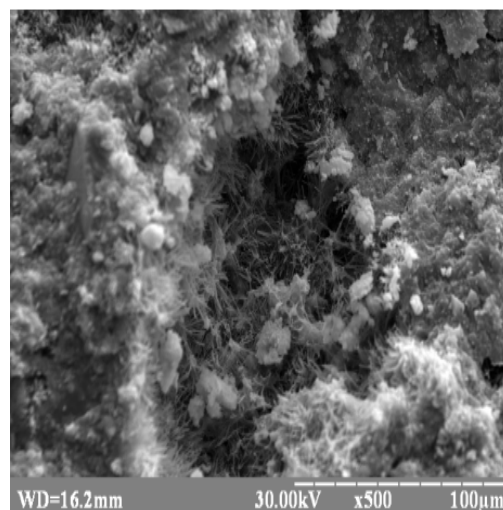
From presented photomicrographs it's clear that after 1 year of hardening, composition the base on Portland cement with the addition of granulated blast furnace slag and natural zeolite (Fig.1, *b*), the formation of large amounts of hydrosilicates of calcium and randomly placed between unparallelled natural zeolites



a



b



c

Fig. 1. SEM micrograph of the sample, after 1 year of hardening, based on Portland cement with the addition of granulated blast furnace slag *a* **with** the following modification of natural zeolite *b* or complex supplement containing natural zeolite and salt electrolytes *c*

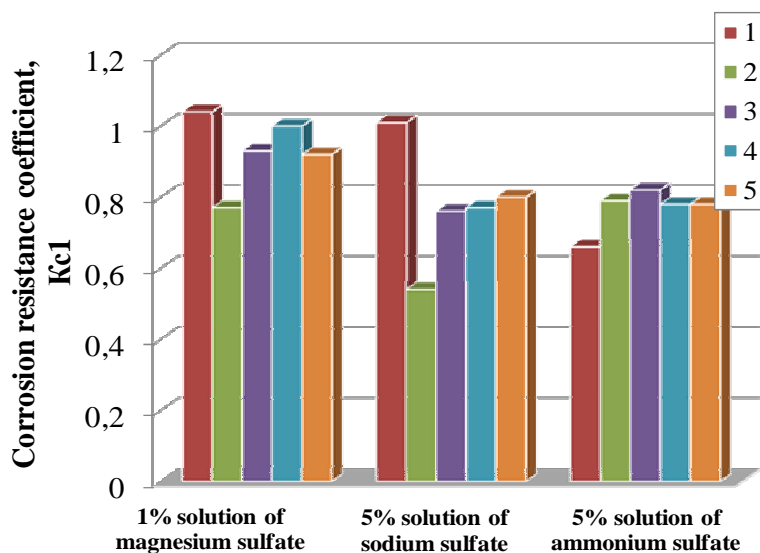
like analcime and gmelinite are fixed.

Photomicrographs of this composition modified by a complex additive of salts electrolytes (Fig.1, c), show formation of solid solution ettringite, the modified by hydrosilicates of calcium and the new formation like zeolites type analcime and nosean.

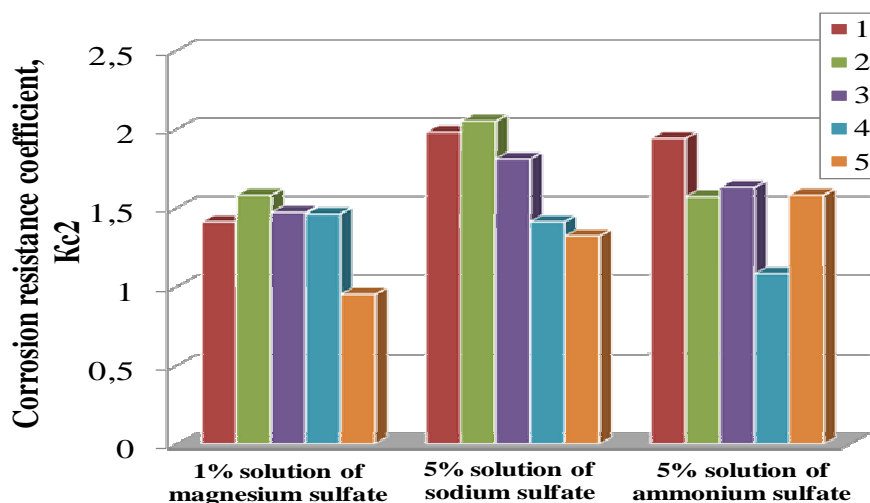
The mechanism of penetration of active ingredients in the concrete structure is the main

feature of materials of penetrating action. Researches were carried out with the aim to demonstrate how and how deep the active ingredients penetrate the waterproofing mortar concrete base.

Since the reaction products of salts NaNO_3 , Na_2SO_4 , Na_2CO_3 with composite cement is not only the formation of AFt and AFm phases but also alkali as NaOH , as an intermediate prod-



a



b

Fig. 2. Variation of corrosion resistance coefficients K_{c1} (a) and K_{c2} (b) for coating compositions: ‘portland cement + granulated slag + natural zeolite + salts electrolytes’ (1); ‘portland cement + granulated slag + salts electrolytes’ (2); ‘portland cement + granulated slag + natural zeolite + salts electrolytes + GKJ 136-41’ (3); Penetron (4); uncoated control sample (5) (after 126 days the test)

ucts of reactions, it's the next attempt to show the degree of penetration waterproofing material in the basis using the changes of color depending on the pH indicator solution of salts. To determine the alkaline environment ($\text{pH} > 7$) alcoholic solution of phenolphthalein applied a fragments of sample was used.

When processing solution phenolphthalein cleavage surface samples of concrete, coated secure optimal composition (after 7 days curing), the entire area cleavage painted in rich crimson.

This effect describes the alkalinity formed by reaction environment interaction active component waterproofing materials and products of Portland cement hydration. It was established that the active components penetrate waterproofing material over the entire height of the samples, while the samples without applied coating did not change its color when applied phenolphthalein solution.

Using this solution for chemical treatment of surface fine concrete covering with waterproofing material of optimal composition (after 7 days curing), the whole area cleavage painted in a rich crimson color. That characterizes the alkalinity of the environment formed by reactions of active components of waterproofing materials and hydration products of Portland cement. In addition active ingredients of waterproofing material penetrate over the entire height of the samples, while samples with non applied coating did not change their color when phenolphthalein solution was applied.

The study porosity changes of the samples of fine concrete, coated with waterproofing solution of optimal composition after curing for 28 days and showed that the value of the porosity of the samples in the upper (1...3 cm) is much smaller than in the middle (7...9 cm) and lower ones (14...16 cm), which can be explained mudding pore space of cement formed by hydration products.

In order to reduce the amount of water absorption and extension of setting time for mortar mixtures, that meet the requirements of DSTU B.V.126:2011 on penetrating waterproofing action, as modifying additive GKJ 136-41 was used.

The obtained results show the effectiveness of the modification of waterproofing solutions of the developed composition by the additive of the repellent action, manifested primarily to reduce water absorption value (0.3 ml – after 7 days, 1 ml – after 28 days), expanding the terms of setting (start – after 30 minutes, the end – after 1 hour 25 minutes) and positive impact on the strength of binding systems, especially in the later stages of hardening (after 28 days), when the growth of strength is 25...45% compared to the strength characteristics of samples that do not contain some kind of additive GKJ 136-41 [5].

To assess the effectiveness of binders modified by complex additives for studied physical (high density, porosity and water absorption) and mechanical properties of the coating of developed samples were studied.







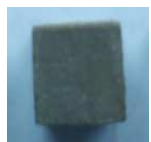
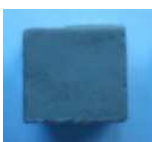




Analysis of the data allows to note the positive impact of complex additives introduced into the Portland cement on the physical characteristics of artificial stone after 7 and 365 days of curing. Thus, the use of salts electrolytes in the consist of binding compositions leads to a decrease in porosity (especially in 365 days curing) coatings formed almost 4 times. With the introduction of the mortar mixture of salts, electrolytes along with the addition of GKJ 136-41 water absorption value after 7 day, curing decrease from 1.24 to 0.05%, which is almost 24.8 times.

The corrosion resistance of waterproofing coatings of optimal composition in corrosive environments: 5% solution of sodium sulfate, 5% solution of ammonium sulfate and 1% solution of magnesium sulfate was studied.

It's established that the highest rates of corrosion resistance coefficient K_{C1} characterized for the concrete with a coating based on Portland cement with the addition of granulated blast slag, natural zeolite and salts electrolytes, after holding 1%-th solution of magnesium sulfate. The lowest rates of corrosion resistance coefficient ($K_{C1} = 0.77$) in this environment was showed that the concrete protected by coating based on Portland cement with the addition of granulated blast slag and salts-electrolytes (Tab.2).

The greatest of coefficient corrosion resistance in 5% solution of sodium sulfate was characterized the concrete samples protected by the reserved coated. The coefficient of corrosion resistance is $K_{C1} = 1.01$ compared with samples bearing the waterproofing coating "Penetron" ($K_{C1} = 0.77$) after 126 days. The samples witch protected by coating based only on portland cement, granulated blast slag and salts electrolytes are characterized by the least corrosion resistance coefficient.

Table 2. Outward of samples of waterproofing solutions depending on the type of aggressive environment after 180 days of holding

№ composition	The outward of specimens after holding in solution		
	1% MgSO ₄	5% Na ₂ SO ₄	5% (NH ₄) ₂ SO ₄
1			
2			
3			
Penetron			

The studies show that the samples with the greatest of corrosion resistance coefficient characterized samples protected by reserved coating based of the composition with the addition of GKJ 136-41 after holding a 5% solution of ammonium sulfate. The coefficient of corrosion resistance is $K_{C1}=0.82$ (after 126 days) compared with the samples bearing the waterproofing coating "Penetron" ($K_{C1} = 0.78$). The samples protected by reserved coated

based on the composition that contains water-repellent additives are characterized the least of corrosion resistance coefficient ($K_{C1} = 0.66$). Thus, the use of additives GKJ 136-41 as a part of the developed waterproofing solution is essential for the protection of concrete that will be operated in solutions of ammonium sulfate.

Service properties of the composition of waterproofing coatings applied to concrete examples: reserve according to the strength cohesiveness to the base in air-dry conditions is 0.75 MPa, the strength cohesiveness to the base in water – 1.0 MPa; water tightness – W8; frost resistance – F150 [6].

CONCLUSIONS

1. Structures of waterproofing coverings of penetrating action on the bais of the slag-contain cement compositions are modified by natural zeolites and a complex of salts which have high operational characteristics and stability of properties in time are developed.

2. Introduction of natural zeolites in Portland cement and slag system allows to connect free alkali (Na, K) in insoluble hydroaluminosilicates and to occlude anions (SO_3^{2-} , SO_4^{2-} , NO_3^-) in difficult inorganic complexes that in turn serves as a guarantee of durability of a waterproofing covering in time.

3. The offered structures of waterproofing materials provide a durable covering with high operational characteristics (in 1 year hardening a compressive strength makes more than 8 MPa, and water absorption – less than 3 ml) which aren't inferior to characteristics of analogs of comparison of domestic and foreign production.

4. Service properties of the coating compositions developed on the basis of waterproofing solutions are investigated:

- strength of coatings: after 7 days is 17.5 MPa, after 365 days – at least 20 MPa;
 - capillary water absorption after 24 hours of using tubes Carsten – 0.3 ml;
- corrosion resistance coefficient after holding: 1% solution of magnesium sulfate is 1.04; 5% solution of ammonium sulfate –

- 0.82; 5% solution of sodium sulfate – 1.01;
- the strength cohesiveness to the base in air-dry conditions is 0.75 MPa, the strength cohesiveness to the base in water – 1.0 MPa; water tightness – W8; frost resistance – F150.

REFERENCES

1. **Karapuzov E., Laykin V., 2006.** System solutions _reliability and durability of waterproofing. Building materials and constructions, №2, 10-12.
2. **Sukhanevych M., Zorina A., Protakovskyy V., 2013.** Elastic waterproofing coating based composite cements. Construction materials and sanitary equipment, № 48, 83-88.
3. **Balakin, D., 2007.** Difference capillary penetrating waterproofing concrete waterproofing materials from cement binder. Dry mixes, №1, 10-13.
4. **Pushkarova K., Sukhanevych M., Bondar K., Martsih A., 2010.** Slag-content cement modify zeolite as basis for waterproofing solutions. Modern building materials, design and innovative technology of buildings, №5-85, Vol.1, 102-108.
5. **Pushkarova K., Sukhanevych M., Bondar K., 2011.** Waterproofing coating penetrating action with improved performance properties. Resource-efficient materials, structures, buildings and constructsures, №22, 125-131.
6. **Pushkarova K., Sukhanevych M., Bondar K., 2014.** Penetrability waterproofing mortar based on slag-contain compositions, modified by zeolites. Motrol, №8, Vol.16, 67-72.

ПРИНЦИПЫ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОСТРОЕНИЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ РАСТВОРОВ ПРОНИКАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ С ПОВЫШЕННЫМ СРОКОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*Катерина Пушкарьова, Марина Суханевич,
Катерина Бондар*

Киевский национальный университет
строительства и архитектуры
Воздухофлотский просп, 31, Киев, Украина,
03680, e-mail: m.suhanevich@ukr.net

Аннотация. Исследованы гидроизоляционные растворы проникающего действия, нанесенные на железобетонные конструкции для повышения их водостойкости, долговечности и морозостойкости.

Ключевые слова: гидроизоляционные растворы, портландцемент, доменный гранулированный шлак, природный цеолит, соли-электролиты, водопоглощение, долговечность, эксплуатационные свойства.

Використання двигуна Стірлінга для промислового глибоководного видобування поліметалевих конкрецій в океані

Юрій Баранов, Ігор Косминський, Микита Мельниченко

Київський національний університет будівництва і архітектури
Повітрофлотський просп., 31, Київ, Україна, 03680, e-mail: boys60@yandex.ru

Анотація. У статті проаналізовано існуючі конструкції двигуна Стірлінга для підводного буріння. Модифікація традиційного двигуна Стірлінга полягає в тому, щоб повністю замінити вид палива (бензин, газ, дизельне паливо та ін.) і паливну систему для роботи на хімічному паливі, а також модифікувати конструкцію з додаванням вакуумної герметичності і агрегату охолоджуючої дії. В результаті отримуємо: повністю екологічний і безпечний для навколишнього середовища двигун; повністю економічне і недороге у виробництві паливо; мінімальну витрату масла; простоту конструкції; низьку вартість витратних матеріалів; збільшену потужність і ККД за рахунок вакууму.

Ключові слова: двигун Стірлінга, вакуумна герметичність, охолоджувач примусової дії.

МЕТА

Проаналізувати існуючі конструкції двигунів. Порівняти двигун Стірлінга з іншими двигунами внутрішнього згорання, що використовуються для промислового видобутку поліметалевих конкрецій в океані. Та внести на розгляд авторську розробку двигуна, що зміг би стати альтернативою двигуну внутрішнього згорання в межах проекту програми Greenpeace по збереженню довкілля [1].

ПРОБЛЕМА

На сьогоднішній день екологічна проблема в світі досягла критичного рівня. І постала три проблеми, які потребують негайно розгляду. Перша проблема це глобальне потепління, що зумовлене не раціональним та надмірним використанням тепла і призводить до катастрофічних наслідків. Друга проблема це шкідливі газі, що дуже швидко отруюють нашу планету. Третя проблема – стрімке використання нафтових продуктів та мале використання альтернативних типів палив. Що призвело за 60 років до 10 кратного скорочення нафтових запасів планети. За останніми даними світових запасів вистачить близько на століття. Що призведе до, зупинки багатьох промислових підприємств, та зникнення ДВЗ в цілому.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

Двигун Стірлінга був уперше запатентований Робертом Стірлінгом 27 вересня 1816 (англійський патент № 4081). Він застосовувався на заводі, де працював сам винахідник, незабаром став дуже популярним. Але з часом двигуни внутрішнього згорання витиснули двигуни

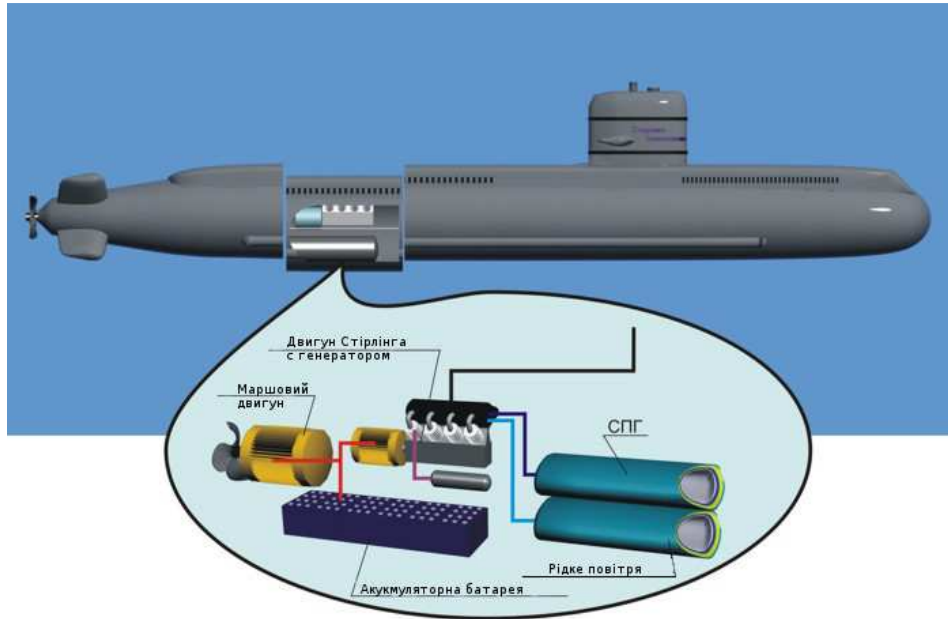


Рис. 1. Підводний човен з силовою установкою двигуна Стірлінга
Fig. 1. Submarine Stirling engine

Стірлінга і про них на деякий час забули. У 30-х роках ХХ століття компанія «Philips» почала роботи по розробці невеликого, з низьким рівнем шуму, електричного генератора з тепловим приводом для живлення радіоапаратури.

У сучасних умовах США і Японія виробляють даний тип двигуна для підводних човнів – невидимок типу “Сорю” та “Готланд” (Рис.1).

Двигуни Стірлінга бувають чотирьох видів [2-4]:

1. α -Стірлінг (Рис. 2) містить два окремих силових поршня в роздільних циліндрах – один гарячий, другий холодний.

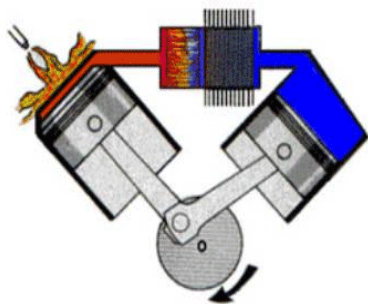


Рис. 2. Схема α -Стірлінга
Fig. 2. α -Stirling

2. β -Стірлінг (Рис. 3) містить всього один циліндр, гарячий з одного кінця і холодний – з іншого. Усередині циліндра рухаються поршень (з якого знімається потужність) і витискувач, що змінює обсяг гарячої порожнини.

3. γ -Стірлінг (Рис. 4) має так само поршень і витискувач, але при цьому два циліндра – один холодний (там рухається поршень, з якого знімається потужність), а другий гарячий з одного кінця і холодний з іншого (там рухається витискувач).

4. Роторний двигун Стірлінга – патент Мухіна на герметичне введення обертання (ГВО), (відсутній кривошипно-шатунний механізм) [5].

Перші три типи цих двигунів застосовуватися в різних сферах промисловості: електростанції, холодильні установки, насоси, кораблі і т.д.

Екологи та вчені всього світу шукають альтернативу існуючим двигунам, які могли б працювати на будь-якому виді палива, були безпечними і надійними. Так, наприклад, електродвигун буде працювати до тих пір, поки є заряд в батареї або світить сонце. При цьому вартість батареї буде дуже висока. Двигуни, що працюють

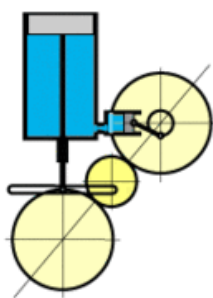


Рис. 3. Схема β-Стірлінга
Fig. 3 β-Stirling

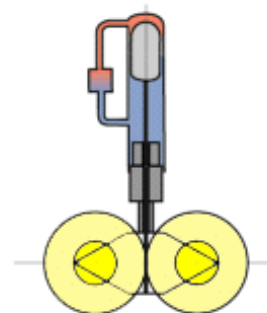


Рис.4. Схема γ-Стірлінга
Fig. 4. γ-Stirling

на водні і газі мають дуже високий ступінь вибухонебезпечності і низький ККД. До того ж водень має високу собівартість виробництва, а газ високу токсичність.

Що ж стосується традиційних двигунів внутрішнього згоряння, то вони ризикують зовсім зникнути, оскільки за прогнозами вчених запасів нафти вистачить приблизно на 100 років. До того ж ці двигуни досить сильно забруднюють навколишнє середовище і на них витрачається велика кількість металу, що призводить збільшення ваги конструкції.

На відміну від наведених типів, двигуни Стірлінга мають цілий низку переваг:

- 1) можуть працювати на будь-якому паливі (на дровах, тирсі тощо);
- 2) працюють тихо, мають великий моторесурс і малу витрату масла;
- 3) прості в обслуговуванні;
- 4) мають досить високий ККД –

приблизно такий, як у двигунах внутрішнього згоряння;

5) абсолютно не токсичні (Табл.1) та майже повністю безпечні.

Разом з тим, у двигуна Стірлінга є й низка недоліків, зокрема величезні габарити і маса, висока собівартість і витрати палива (двигун компанії General Motors витрачає близько 20...23 кг палива на 100 км). На жаль, потенціал двигуна Стірлінга використовується всього на 45 % від його можливостей.

Основна проблема сьогоденних двигунів зовнішнього згоряння це нерівноцінна витрата тепла та енергії і той вид палива, який використовується. Саме тому двигун мало популярний. Але, не дивлячись на це, двигун використовується в США, Швеції, Японії, інших країнах і зовсім недавно почав застосовуватись у Росії та Китаї.

Таблиця 1. Порівняльні дані за вмістом токсичних компонентів у вихлопних газах різних двигунів

Тип двигуна	Порівняльні дані по вмісту токсичних компонентів у вихлопних газах різних двигунів мг/к.с.* с		
	NO _x	CO	C _x H _y
Бензиновий	0,6...2	40...100	15...120
Дизельний	0,4...2	0,2...5	0,6...12
Двигун Стірлінга	0,1...0,2	0,05...0,2	0,0015...0,007
Газова турбіна	0,7...2	2...3,6	0,012...0,07
Двигун за нормами Євро 5	0,414	0,311	0,095

З 80-х років минулого століття в якості джерела енергії використовується атомний реактор. Що дає відносно не обмежений запас ходу, але разом з тим високу небезпеку у випадку аварії реактора. Цілком можливо, що в перспективі реактори стануть менші в розмірах і з'явиться практично вічний двигун і разом з тим зникнуть проблеми з паливом. У запропонованій конструкції пропонується один з способів їх розв'язання.

МОДИФІКАЦІЯ ДВИГУНА СТІРЛІНГА

Модифікація традиційного двигуна полягає в тому, що повністю замінити вид палива (бензин, газ, дизельне паливо та ін.) і паливну систему для роботи на хімічному паливі, а також модифікувати конструкцію з додаванням вакуумної герметичності і агрегату охолоджуючої дії. В результаті отримуємо: повністю екологічний і безпечний для навколишнього середовища двигун; повністю економічне і недороге у виробництві паливо; мінімальну витрату масла; простоту конструкції; низьку вартість витратних матеріалів; збільшену потужність і ККД за рахунок вакууму. До того ж вартість даної конструкції майже однакова з ДВЗ.

Двигун має 4 циліндри – два холодного і два гарячого згоряння. Працювати вони будуть протилежно-попарно. В процесі реакції хімічного палива відбувається виділення теплоти. Однією з умов при виборі хімічного палива і паливної системи є абсолютна не токсичність і відсутність забруднення навколишнього середовища. Гарячі і холодні циліндри з'єднані між собою патрубками, в яких циркулює газ, наприклад, гелій (Рис. 5, 6).

Патрубок у центрі обмотаний кожухом примусового охолодження, що дає різницю температур в клапанах, за рахунок якого і буде працювати двигун. Основним плюсом такого двигуна буде його безшумність, незважаючи на високі оберти. Також

двигун буде обладнано датчиками, щоб уникнути перегріву. У випадку перевищення максимальної температури хімічної реакції, реакція буде призупинена для охолодження введенням каталізатора або прискорення за допомогою інгібіторів.

Управління реакцією в камері згоряння відбувається в автоматичному режимі за допомогою комп'ютера. Незалежно від типу палива конструкція буде оснащена двома баками різних модифікацій (бак для палива і бак для відходу під утилізацію).

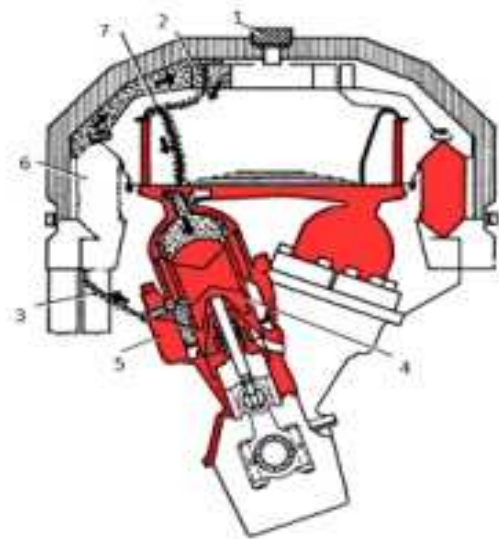


Рис. 5. Пропонована конструкція двигуна:

1 – охолоджувач; 2 – камера реакції хімічного палива; 3 – трубки нагрівача; 4 – гарячий поршень; 5 – клапан скидання теплоти; 6 – термокожух; 7 – патрубок з проходом робочого речовини (гелій або інший газ)

Fig. 5. The proposed engine design:

1 – cooler; 2 – Camera chemical reaction of fuel; 3 – tube heater; 4 – hot piston; 5 – heat relief valve; 6 – Thermos-housings 7 – tube with the passage of the working medium (helium or another gas)

При серійному виробництві дана конструкція не буде більш витратною в порівнянні з традиційними ДВЗ, оскільки не передбачається використання досить дорогих і складних у виробництві деталей.

А в двигунах з паливом, в якому буде перенасичена сіль, може бути виготовлений з карбону або будь-якого легкого, але жаростійкого полімеру.

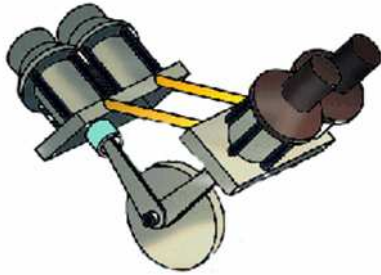


Рис. 6. Модель двигуна
Fig. 6. Model engine

Наприклад, у модифікації для бурової установки двигун має 20 циліндрів: десять холодного і десять гарячого згорання. Проведені попередні розрахунки показали, що двадцятициліндровий двигун на 200 кг хімічного палива може працювати 1,5 години без поповнення паливом камери реакції. У той же час двигун внутрішнього згорання витрачає середньому 500 кг палива на 1 годину.

Запропонована конструкція двигуна знаходиться в процесі оформлення патенту на корисну модель. Створення реальної машини буде мати не лише промислове, а й екологічне майбутнє.

ВИСНОВКИ

1. У порівнянні з іншими двигунами зовнішнього і внутрішнього згорання, двигун Стірлінга економічніший, має більший ресурс і запас ходу.

2. За рахунок відновлення хімічних реакцій палива він може повторно використовуватися десятки разів, у той час як нафтові паливні продукти – ні.

3. Двигун Стірлінга є абсолютно безшумним і екологічно чистим.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Проект** соглашения международной конференции по проблемам климата. Режим доступа. http://unfccc.int/files/meetings/-lima_dec_2014/in-session/application/pdf/cpl14.pdf.
2. **Чириков К.Ю., Пронин Е.Н., 1999.** Перспективы применения СПГ на транспорте. Журнал, Газовая промышленность, №10, 28-29.
3. **Ридер Г., Хупер Ч., 1986.** Двигатели Стирлинга. Пер. с англ. Москва, Мир, 1986, 464.
4. **Walker G., 1973.** Stirling-Cycle Machines. Oxford University Press, 156.
5. **Патент 2117802 РФ F02G1/043, 1994.** Машина по циклу Стирлинга. В.А. Мухин, Е.В. Мухин. № 94025916/06, заявл. 12.07.1994, опубл. 20.08.1999.
6. **Urieli I, Berchowitz D.M., 1984.** Stirling Cycle Engine Analysis. Bristol.
7. **Organ A., 1997.** The Regenerator and the Stirling Engine. John Wiley and Sons.
8. **Бундин А.А., 1969.** Изв. вузов, Машиностроение, №12.

REFERENCES

1. **The draft** agreement of the international conference on climate. Access mode. http://unfccc.int/files/meetings/lima_dec_2014/in-session/application/pdf/cpl14.pdf.
2. **Tchirikov KY., Pronin E.N., 1999.** Prospects for the use of CNG in transport. Magazine, Gas industry, №10, 28-29.
3. **Reeder G., Hooper Ch., 1986.** Stirling engines. Trans. from English. Moskau, World, 464.
4. **Walker G., 1973.** Stirling-Cycle Machines. Oxford University Press, 156.
5. **Patent 2117802 Russia F02G1/043, 1994.** Stirling cycle machine. № 94025916/06; appl. 12.07.1994, publ. 20.08.1999.
6. **Urieli I, Berchowitz D.M., 1984.** Stirling Cycle Engine Analysis. Bristol,.
7. **Organ A., 1997.** The Regenerator and the Stirling Engine. John Wiley and Sons.
8. **Bundin A.A., 1969.** News of IHE, Engineering, №12.

USING STIRLING ENGINE FOR THE
INDUSTRIAL PRODUCTION OF
POLYMETALLIC NODULES
DEEP IN THE OCEAN

*Yuri Baranov, Igor Kosminsky,
Mykyta Melnichenko*

Kyiv National University of Construction
and Architecture
Povitroflotskyi prosp., 31, Kyiv, Ukraine, 03680,
boys60@yandex.ru

Summary. To analyze existing structures engines. Compare with other Stirling engine combustion engines used for the polymetallic nodules industrial production in the ocean. And

submit to the authoring of the engine, which could be an alternative to the internal combustion engine in the project application Greenpeace environmental conservation. Modification of the traditional engine is completely replaced fuel (petrol, kerosene, diesel, etc.) And fuel system for work on chemical fuel, and modify the design with the addition of vacuum sealing and cooling unit performance. The result is: completely ecological and environmentally safe engine; quite economical and inexpensive to produce fuel; minimal oil consumption; ease of construction; low cost of consumables; increased power and efficiency by vacuum.

Key words: Stirling engine, vacuum leaks, cooler forced action.

Дослідження впливу нелінійно-пружних характеристик матеріалу на динаміку підводних тросових систем

Олександр Безверхий, Вікторія Корнієнко

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

Анотація. Досліджено вплив нелінійно-пружних характеристик матеріалу на параметри коливань тросових елементів заякореної конструкції з урахуванням розслаблень в окремих елементах в умовах розвинутого морського хвилювання, яке моделюється плоскими прогресивними хвилями.

Ключові слова: підводні тросові системи, нелінійно-пружні характеристики матеріалу, морське хвилювання.

ВСТУП

Підводні тросові системи широко використовуються при будівництві і експлуатації плавучих бурових платформ та інших гідроспоруд, в якості підводних ліній зв'язку, трубопроводів при видобутку корисних копалин і дослідженні профілю та ресурсів морського дна, а також в якості бонових огорожень для обмеження розливів нафти та гнучких біотехнічних споруд для вирощування морських організмів і водоростей та ін. Вони знаходяться під дією нерівномірно розподілених у просторі навантажень (течії, хвилі) і можуть бути доволіно закріплені на краях.

Значною проблемою функціонування гнучких протяжних конструкцій є поява ривків в тросах, які виникають внаслідок розслаблень та дії зовнішніх факторів. Тривала дія перемінних зусиль і ривкових ефектів негативно позначається на міцності і надійності роботи тросових систем. Тому сучасні тенденції проектування нових та удосконалення існуючих

гнучких протяжних підводних конструкцій і споруд спрямовані на використання матеріалів з нелінійно-пружними характеристиками [5, 6].

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Для гнучких елементів конструкцій, пружність яких нелінійна, залежність між силою натягу T і деформацією ϵ можна записати у вигляді [1, 6]

$$T = (C_E \epsilon + C_{E_1} \epsilon^2) H(\epsilon), \quad (1)$$

де T – сила натягу, $\epsilon = \frac{ds - dl}{dl}$ – відносне видовження, s , l – поточна координата до і після деформації, C_E , C_{E_1} – пружні постійні для лінійно та нелінійно-пружних матеріалів, $H(\epsilon) = 0$ при $\epsilon \leq 0$ і $H(\epsilon) = 1$ при $\epsilon > 0$ (функція Хевісайда, тобто враховується те, що гнучкі елементи працюють на розтягування і не працюють на стискування [1, 2]).

Рух тросової системи у потоці рідини досліджується в нерухомій системі координат $0x_1x_2x_3$. Для цього на гнучкому елементі обрано послідовність точок $P_i(x_{ki})$, $k = 1, 2, 3$, $i = 0, 1, \dots, N$ і введено природну параметризацію $x_{ki} = x_{ki}(l)$ від довжини дуги троса, що починає відлік від точки P_0 . На проміжку між точками P_i і P_{i+1} рух ділянки троса описано за допомогою радіус-векторів

$$\vec{R}_i = \sum_{k=1}^3 R_{ki} \vec{e}_k, \quad (2)$$

де R_{ki} – деякі функції, що виражають зв'язок довжин дуг троса і координат P_i точок в нерухомій системі координат, \vec{e}_k – одиничний радіус-вектор.

Під час руху на гнучкий елемент тросової системи діють як масові, так і поверхневі (гідродинамічні сили). Інтенсивність останніх залежить від орієнтації гнучких елементів в потоці, параметрів потоку і параметрів конструкції. Для визначення гідродинамічних сил використано квазістаціонарну напівемпіричну модель [5].

Зроблено припущення, що переміщення конструкції можна представити за допомогою дискретного числа узагальнених координат. Приймаючи в якості узагальнених координат просторові координати точок $P_i(x_{ki})$ і використовуючи узагальнення принципу стаціонарності на динамічні задачі [3], запишемо рівняння руху гнучкого елемента тросової системи у формі Лагранжа II-го роду

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}_{kj}} \right) - \frac{\partial L}{\partial x_{kj}} = Q_{kj}, \quad (3)$$

де $k = 1, 2, 3$, $j = \overline{0, N}$, x_{kj} – узагальнені координати, Q_{kj} – узагальнені сили від дії об'ємних, поверхневих та зосереджених сил, N – кількість узагальнених координат, $L = K - \Pi$, K – кінетична і Π – потенціальна енергія троса.

Потенціальна енергія розтягу для відрізку троса, пружність якого відповідає закону (1), буде

$$\begin{aligned} \Pi_{E_i} &= \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} \int_{l_i}^{l_{i+1}} T_i \varepsilon_i dl = \\ &= \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} \int_{l_i}^{l_{i+1}} (C_{E_i} \varepsilon_i + C_{E_{i1}} \varepsilon_i^2) H(\varepsilon_i) \varepsilon_i dl = \\ &= \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} L_i \int_0^1 H(\varepsilon_i) (C_{E_i} \varepsilon_i^2 + C_{E_{i1}} \varepsilon_i^3) d\xi. \end{aligned}$$

Похідна по узагальненим координатам від потенціальної енергії розтягу набуде вигляду

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_{E_i}}{\partial x_{kj}} &= \int_0^1 \sum_{i=0}^{N-1} L_i H(|\bar{\tau}_i| - 1) \times \\ &\times \left(C_{E_i} (|\bar{\tau}_i| - 1) + \frac{3}{2} C_{E_{i1}} (|\bar{\tau}_i| - 1)^2 \right) \frac{\partial}{\partial x_{kj}} (|\bar{\tau}_i|) d\xi, \end{aligned}$$

де $|\bar{\tau}_i| - 1 = \varepsilon_i$.

Кінетична енергія розтягу троса матиме вигляд

$$K = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} \int_{l_i}^{l_{i+1}} m_i \dot{R}_i^2 dl.$$

Узагальнені сили від дії розподілених на трос сил будуть

$$Q_{kj} = \sum_{i=0}^{N-1} \int_{l_i}^{l_{i+1}} \vec{f}_i \frac{\partial \vec{R}_i}{\partial x_{kj}} \left| \frac{\partial \vec{R}_i}{\partial l} \right| dl.$$

В узагальнених силах враховуються сила ваги $\vec{f}_w = \vec{g}m \left| \frac{\partial \vec{R}}{\partial l} \right|$, сила плавучості $f_w^* = -\rho F \vec{g}$ і гідродинамічні сили: сила інерції приєднаної маси рідини, що залучається в сумісний рух, – пропорційна відносному прискоренню: $\vec{f}_a = C_a \dot{\vec{u}}$ і сила опору руху в рідині – пропорційна квадрату відносної швидкості руху: $\vec{u} = \vec{v} - \dot{\vec{R}}$, $\vec{f}_c = C_n |\vec{u}_n| \vec{u}_n + C_\tau |\vec{u}_\tau| \vec{u}_\tau$. Коефіцієнти пропорційності C_n і C_τ при нормальному і дотичному обтіканні є функціями експериментальних коефіцієнтів опору K_n і K_τ , густини середовища ρ , поперечних розмірів троса (d_T – діаметр, P_T – периметр). Так, при стаціонарному обтіканні в діапазоні чисел $Re = 10^3 \div 10^6$, $K_n = 1, 2$, $K_\tau = 0, 02 \dots 0, 005$. В результаті підстановки в рівняння руху (3) виразів для похідних від кінетичної та потенціальної енергії системи, виразів для узагальнених сил, а та-

кож врахування односторонності роботи троса [1, 2], одержано систему нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку в частинних похідних, що описують рух нелінійно-пружної тросової системи в рідині

$$\int_0^1 \sum_{i=0}^{N-1} L_i \left\{ m_i \ddot{R}_i \frac{\partial \dot{R}_i}{\partial \dot{x}_{kj}} + m_i \dot{R}_i \frac{\partial \dot{R}_i}{\partial x_{kj}} - m_{ai} (\dot{V} - \dot{R}_i) |\bar{\tau}_i| \frac{\partial \bar{R}_i}{\partial x_{kj}} + H(|\bar{\tau}_i| - 1) \times \right. \\ \times \left(C_{E_i} (|\bar{\tau}_i| - 1) + \frac{3}{2} C_{E_i} (|\bar{\tau}_i| - 1)^2 \right) \frac{\partial}{\partial x_{kj}} (|\bar{\tau}_i|) + \\ \left. + \left\{ (\rho_c F_i |\bar{\tau}_i| - m_i) \bar{g} - \frac{C_{\tau i}}{|\bar{\tau}_i|} |\bar{\tau}_i| (\bar{V} - \dot{R}_i) \bar{\tau}_i \left[(\bar{V} - \dot{R}_i) \bar{\tau}_i \right] \frac{1}{|\bar{\tau}_i|^2} - \frac{C_{ni}}{|\bar{\tau}_i|} |\bar{\tau}_i \times (\bar{V} - \dot{R}_i) \right| \left[(\bar{V} - \dot{R}_i) \bar{\tau}_i \right]^2 - \right. \\ \left. - \bar{\tau}_i \left[(\bar{V} - \dot{R}_i) \bar{\tau}_i \right] \frac{1}{|\bar{\tau}_i|^2} \right\} \frac{\partial \bar{R}_i}{\partial x_{kj}} \right\} d\xi = 0, \quad (4) \\ k = 1, 2, 3, \quad j = \overline{0, N}, \\ \bar{\tau}_i = \frac{\partial \bar{R}_i}{\partial l}, \quad \xi = \frac{l - l_i}{L_i}, \quad L_i = l_{i+1} - l_i.$$

Тут m_i, m_{ai} – погонна маса і приєднана маса рідини одиниці довжини троса, \bar{R}_i – радіус-вектор, L_i – довжина відрізка розбиття, F_i – площа поперечного перерізу троса, $C_{\tau i}, C_{ni}$ – коефіцієнти опору руху в рідині при дотичному і нормальному обтіканні i -го відрізка троса, \bar{V} – вектор швидкості потоку, ρ – густина рідини, \bar{g} – вектор прискорення вільного падіння.

В якості початкових умов обрано початкове просторове розміщення системи, а початкові швидкості руху прийняті рівними нулю

$$x_{ki}(l_i, t) \Big|_{t=0} = x_{ki}(l_i), \\ \dot{x}_{ki}(l_i, t) \Big|_{t=0} = V_{ki}^0(l_i) = 0. \quad (5)$$

Крайові умови для одиночного троса, один кінець якого закріплений, а інший робить просторові коливання, набудуть вигляду

$$x_{k0} = X_{k0}, \quad x_{kN} = A_b \sin \omega t + X_{kN}, \\ \dot{x}_{k0} = 0, \quad \dot{x}_{kN} = A_b \omega \cos \omega t, \quad (6) \\ \ddot{x}_{k0} = 0, \quad \ddot{x}_{kN} = -A_b \omega^2 \sin \omega t,$$

де X_{k0} – координати точки закріплення; X_{kN} – просторові координати точки, де задані вимушені коливання; A_b – амплітуда вимушених коливань.

Для визначення радіус-векторів \bar{R}_i задачу в частинних похідних зведено до системи нелінійних звичайних диференціальних рівнянь другого порядку. Для цього функцію зв'язку довжин дуг відрізків троса і просторових координат точок P_i записано за допомогою параметричних локальних сплайнів першого ступеня [4]. Використання таких сплайнів дозволяє визначати координати точок і кут нахилу дотичної в цих точках, не визначаючи довжину дуги інтерпольованої кривої. Радіус-вектор при цьому набуває такого вигляду

$$\bar{R}_i = \sum_{k=1}^3 (x_{ki} + (x_{k+1} - x_{ki}) \xi) \bar{e}_k, \quad (7)$$

Фактично, це ламана, що проходить через систему точок P_i .

Оцінка похибки такого представлення визначається аналогічно [4]

$$\|R_s\| \leq \frac{\sqrt{2}}{8} L^2 \|K(l)\|_{\infty},$$

де $L = \max\{L_i\}$, $K(l)$ – кривизна осі троса.

Підставляємо (7) в (4) та проводимо інтегрування, в результаті чого отримуємо систему звичайних нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку відносно координат x_{kj} , яка є розрахунковою системою рівнянь руху для нелінійно-пружної тросової системи. При заданні

крайових умов (6) вона буде мати розмірність $3(N-1)$

$$\sum_{p=1}^{N-1} \ddot{x}_{kp} A_{pj} = F_{kj} - \ddot{x}_{ko} A_{oj} - \ddot{x}_{kN} A_{Nj}, \quad (8)$$

де $k=1,2,3$, $j=\overline{1,N-1}$, A_{pj} – елементи матриці A коефіцієнтів при других похідних, що являють собою інерційну дію; F_{kj} – вектор нелінійних функцій правих частин рівнянь.

В результаті одержимо задачу Коші для системи нелінійних звичайних диференціальних рівнянь, яка однозначно описує динамічний процес просторової неоднорідної тросової системи в рідині. Систему рівнянь розв'язуємо чисельно методом з застосуванням багатокрокових методів типу предиктор-коректор – методів Адамса і Гіра.

Розглянемо трос, один кінець якого закріплений на дні на глибині $H = 200$ м, а другий кінець прикріплений до плавучого об'єкта, при цьому трос розташовується під різноманітними кутами α до поверхні дна (Рис.1). Під дією хвилювання плавучий об'єкт безупинно переміщується, при цьому точка закріплення робить просторові коливання в напрямку осі Ox_1 по гармонічному закону. Помістимо початок нерухомої системи координат на незбуреній поверхні води над точкою заякорення. Напрямок координатної осі Ox_3 протилежний вектору прискорення вільного падіння \vec{g} , вісь Ox_1 направлена уздовж проекції троса на незбурену поверхню води, а вісь Ox_2 направлена так, щоб доповнювала трійку правої системи координат.

Крайові умови для троса, один кінець якого заякорений, а інший робить просторові коливання, мають вигляд (6).

Параметри троса: погонна маса троса $m = 3$ кг/м, площа перерізу $F = 0,0003$ м². Коефіцієнти гідродинамічного опору руху в рідині: дотична складова $C_{\tau i} = 0,78$ кг/м², нормальна складова

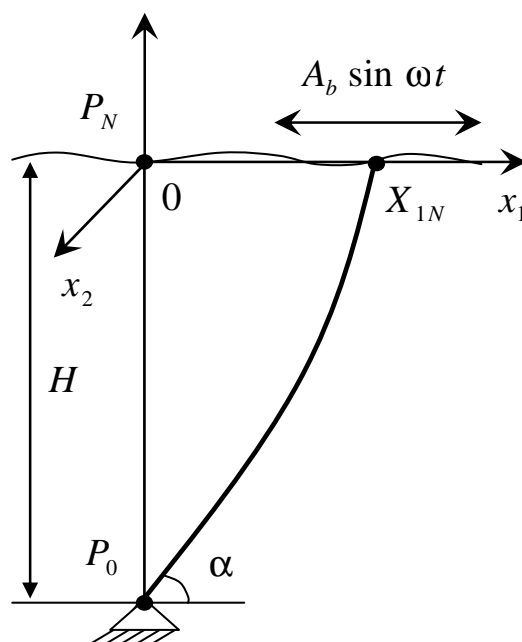


Рис. 1. Розрахункова схема системи заякорення з кінематичними крайовими умовами
Fig. 1. Design scheme of anchoring with kinematic boundary conditions

$C_{ni} = 15,6$ кг/м², коефіцієнт приєднаної маси $C_{ai} = 0,4$ кг/м.

При різноманітних періодах морського хвилювання, де залежність між періодом хвиль і їх амплітудою виражається по закону [5] $A = 0,085 \exp(0,75 \ln(gT_w^2/2\pi))$, досліджуємо коливання троса, розташованого під різними кутами $\alpha = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ при переміщенні точки P_N по осі Ox_1 . Координата розміщення точки кріплення троса до плаваючої конструкції в початкових умовах визначається як $X_{1N} = H \operatorname{ctg} \alpha$, де H – глибина точки заякорення (в даному випадку 200 м).

На Рис. 2 представлено зміну натягу у часі при вимушених коливаннях троса з періодом $T_w = 5,6$ с з врахуванням різних нелінійно-пружних характеристик матеріалу $C_{E1} = 0,1 \cdot C_E$ (крива 1) та $C_{E1} = 0,2 \cdot C_E$ (крива 2). Кут проектного нахилу троса складає $\alpha = 30^\circ$.

Видно, що при збільшенні коефіцієнта нелінійно-пружності матеріалу максимальна величина натягу в тросі зменшується несуттєво.

Розглянемо коливання троса, кут проектного нахилу якого складає 45° . На Рис. 3 показано залежність натягу від часу при вимушених коливаннях троса з періодом $T_w = 5,6\text{ c}$ з врахуванням таких нелінійно-пружних характеристик матеріалу: $C_{E_1} = 0,2 \cdot C_E$ (крива 1), $C_{E_1} = 0,1 \cdot C_E$ (крива 2), $C_{E_1} = 0,05 \cdot C_E$ (крива 3) та $C_{E_1} = 0$ (крива 4), тобто залежність між натягом і деформацією лінійна як в законі Гука.

Видно, що при збільшенні коефіцієнта нелінійно-пружності матеріалу максимальна величина натягу зменшується до 20% від величини натягу конструкції із матеріалів, пружність яких відповідає лінійному закону Гука. При цьому бачимо,

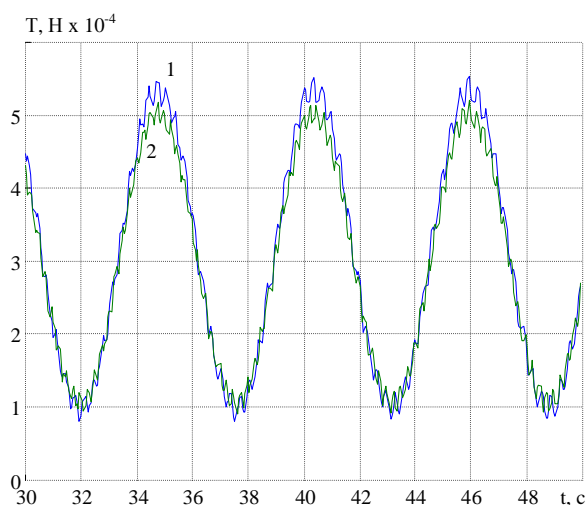


Рис. 2. Залежність натягу від часу при вимушених коливаннях $T_w = 5,6\text{ c}$, $\alpha = 30^\circ$, $C_{E_1} = 0,1 \cdot C_E$ (крива 1), $C_{E_1} = 0,2 \cdot C_E$ (крива 2)

Fig. 2. The dependence of the tension from time to time in the forced oscillations $T_w = 5,6\text{ c}$, $\alpha = 30^\circ$, $C_{E_1} = 0,1 \cdot C_E$ (curve 1), $C_{E_1} = 0,2 \cdot C_E$ (curve 2)

що вібрації, які виникають при розслабленні в нелінійно-пружних тросах, не зникають. При збільшенні кута нахилу з 30° до 45° при однакових коефіцієнтах нелінійно-пружності зміна величини натягу в тросі незначна.

Дослідимо динаміку троса, кут проектного нахилу до горизонтальної поверхні якого складає 60° . На Рис. 4 показана залежність натягу від часу при вимушених коливаннях троса з періодом $T_w = 5,6\text{ c}$ з врахуванням нелінійно-пружних характеристик матеріалу: $C_{E_1} = 0,1 \cdot C_E$ (крива 1) та $C_{E_1} = 0,2 \cdot C_E$ (крива 2). Бачимо, що вплив коефіцієнта нелінійно-пружності на зміну величини натягу в тросі незначний. При збільшенні кута нахилу до горизонту при однакових коефіцієнтах нелінійно-пружності з 30° до 45° величина натягу майже не змінюється, а до 60° зменшується приблизно на 25%.

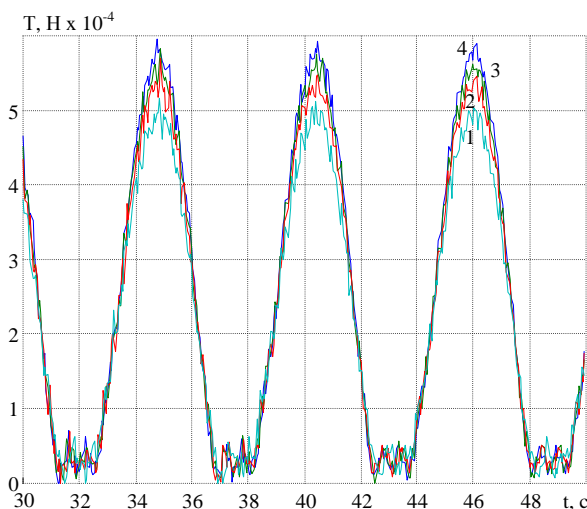


Рис. 3. Залежність натягу від часу при вимушених коливаннях $T_w = 5,6\text{ c}$, $\alpha = 45^\circ$, $C_{E_1} = 0,2 \cdot C_E$ (крива 1), $C_{E_1} = 0,1 \cdot C_E$ (крива 2), $C_{E_1} = 0,05 \cdot C_E$ (крива 3) та $C_{E_1} = 0$ (крива 4)

Fig. 3. The dependence of the tension from time to time in the forced oscillations $T_w = 5,6\text{ c}$, $\alpha = 45^\circ$, $C_{E_1} = 0,2 \cdot C_E$ (curve 1), $C_{E_1} = 0,1 \cdot C_E$ (curve 2), $C_{E_1} = 0,05 \cdot C_E$ (curve 3), $C_{E_1} = 0$ (curve 4)

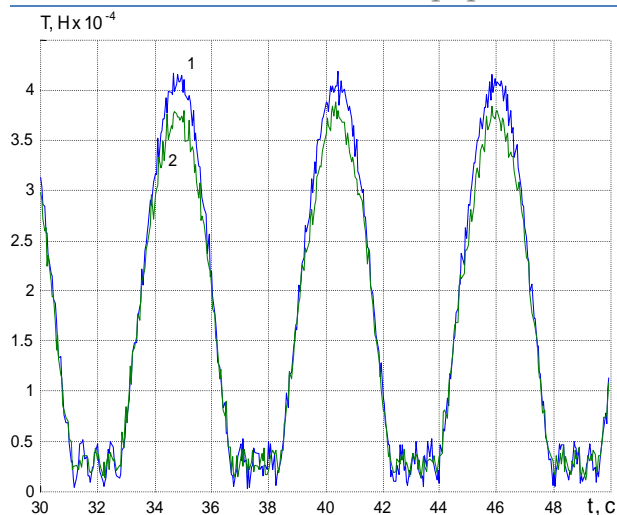


Рис.4. Залежність натягу від часу при вимушених коливаннях $T_w = 5,6 \text{ c}$, $\alpha = 60^\circ$, $C_{E_1} = 0,1 \cdot C_E$ (крива 1), $C_{E_1} = 0,2 \cdot C_E$ (крива 2)

Fig. 4. The dependence of the tension from time to time in the forced oscillations $T_w = 5,6 \text{ c}$, $\alpha = 60^\circ$, $C_{E_1} = 0,1 \cdot C_E$ (curve 1), $C_{E_1} = 0,2 \cdot C_E$ (curve 2)

Дослідимо вплив коефіцієнта нелінійно-пружності на зміну величини натягу в різних точках гнучкого елемента.

На Рис. 5 зображена зміна натягу в різних точках по довжині троса в залежності від величини коефіцієнта нелінійно-пружності матеріалу. При загальному зменшенні натягу з ростом коефіцієнту нелінійно-пружності по довжині троса зміна відбувається нерівномірно. Це можна пояснити тим, що різні відрізки троса мають різний дійсний кут нахилу.

ВИСНОВКИ

1. Досліджено вплив нелінійно-пружних характеристик матеріалу на параметри коливань гнучких елементів закореної конструкції в умовах розвинутого морського хвилювання, яке моделюється плоскими прогресивними хвилями.

2. Одержані амплітудно-частотні та силові характеристики вимушених просторових коливань гнучких елементів конструкцій з нелінійно-пружних матері-

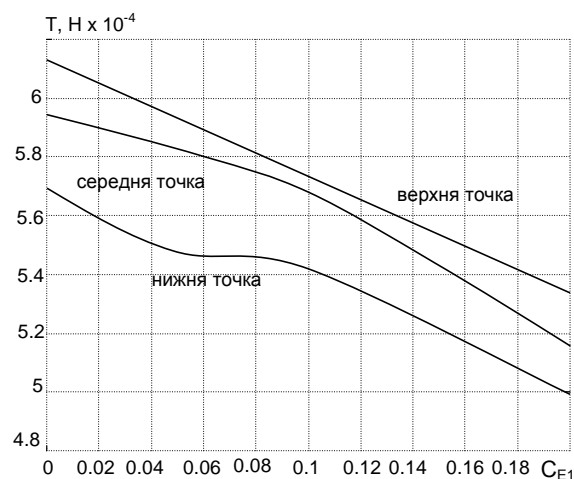


Рис. 5. Залежність натягу в різних точках по довжині троса від величини коефіцієнта нелінійно-пружності матеріалу

Fig. 5. Dependence of tension at different points on length the cable on the value of the coefficient of nonlinear elasticity of the material

алів та проведені їх порівняння для елементів з пружними властивостями.

3. При збільшенні коефіцієнта нелінійно-пружності матеріалу максимальна величина натягу в тросі зменшується в межах 20% порівняно з величиною натягу в тросі із матеріалу, пружність якого відповідає лінійному закону Гука; при цьому вібрації, які виникають після розслаблення в нелінійно-пружних гнучких елементах, не зникають.

4. При загальному зменшенні натягу з ростом коефіцієнта нелінійно-пружності по довжині троса зміна відбувається нерівномірно. Це можна пояснити тим, що різні ділянки троса мають різний дійсний кут нахилу до горизонту (поверхні дна).

ЛІТЕРАТУРА

1. Баженов В.А., Гоцуляк Е.А., Кондаков Г. С., Оглобля А.И., 1989. Устойчивость и колебания деформируемых систем с односторонними связями. Киев, Выща школа, 399.

2. **Безверхий А.И., Шульга Н.А., 1994.** Расчет динамики тросовой системы в жидкости при их односторонней работе. Прикладная механика, 30, № 4. 38-43.
3. **Васидзу К., 1987.** Вариационные методы в теории упругости и пластичности. Москва, Мир, 542.
4. **Завьялов Ю.С., Квасов Б.И., Мирошниченко В.Л., 1980.** Методы сплайн-функций. Москва, Наука, 352.
5. **Ньюмен Дж., 1985.** Морская гидромеханика. Ленинград, Судостроение, 368.
6. **Шульга М.О., Безверхий О.І., Корнієнко В.Ф., 2003.** Динаміка гнучких протяжних одномірних систем з нелінійно-пружними характеристиками при взаємодії з зовнішнім середовищем. Доповіді НАН України, № 3, 59-63.

REFERENCES

1. **Bazhenov V.A., Gotsulyak E.A., Kondakov G.S., Ogloblya A.I., 1989.** Stability and oscillations of deformable systems with unilateral constraints. Kyiv, Vyshcha shkola Publ., 399 (in Russian).
2. **Bezverkhyi O.I., Shulha M.O., 1994.** Calculation of the dynamics of cable system in the liquid at their unilateral operation. Int. Appl. Mech., 30, Nr. 4, 38-43 (in Russian).
3. **Vasidzu K., 1987.** Variational methods in the theory of elasticity and plasticity. Moscow, Mir Publ., 542 (in Russian).
4. **Zavyalov Yu.S., Kvasov B.I., Miroshnichenko V.L., 1980.** Methods of spline functions. Moscow, Nauka Publ., 352 (in Russian).
5. **Nyumen Dzh., 1985.** Marine Hydromechanics. Leningrad, Sudostroenie Publ., 368 (in Russian).
6. **Shulha M.O., Bezverkhyi O.I., Korniienko V.F., 2003.** Dynamics of flexible elongated one-dimensional systems with nonlinear elastic characteristics in the interaction with the external medium. Dopovidi NAN Ukrainy. Nr.3, 59-63 (in Ukrainian).

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF NONLINEAR ELASTIC CHARACTERISTICS OF THE MATERIAL ON THE DYNAMICS OF SUBMARINE CABLE SYSTEMS

Oleksandr Bezverkhyi, Viktoriia Korniienko

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

Summary. To investigate the influence of nonlinear elastic characteristics of material on parameters of oscillations of cable elements of an anchor structures considering loosening in separate elements developed in terms of sea waves which.

To study the dynamics of submarine cable systems are applied numerical and analytical methods. To construct a discrete-continuum equations of motion applied Lagrange formalism. Initial-boundary value problems are reduced to the Cauchy problems by the methods of spline functions. Numerical integration of stiff systems of ordinary nonlinear differential equations performed by the Adams and Gear methods.

The study received amplitude-frequency and power characteristics of the forced vibrations of ropes of spatial nonlinear elastic materials and conducted comparing them for flexible elements with elastic properties. By increasing the nonlinear coefficient of elasticity of the material the maximum value of the tension in the tether is reduced within 20% in comparison with the tension in the cable from a material the elasticity of which corresponds to a linear Hooke's law. When this vibration occurring after relaxation in nonlinear elastic flexible member, not disappear.

The work was made possible to construct a mathematical model and software of forced oscillations submarine cable systems with nonlinear elastic flexible elements.

A study of the dynamics of submarine cable systems of polymeric nonlinear elastic materials.

Key words: submarine cable systems, nonlinear elastic characteristics of material, sea waves.

Вплив сил Коріоліса на динаміку трубопроводу з рідиною при різних способах закріплення

Валерій Гавриленко *, Оксана Ковальчук *, Олег Лимарченко **

*Національний транспортний університет,

Суворова, 1, Київ, Україна, 01001, e-mail: kistntu@ukr.net

**Київський національний університет ім. Тараса Шевченка,

просп. академіка Глушкова, 4-е, Київ, Україна, 03187, e-mail: olelim2010@yahoo.com

Анотація. Розглянуто задачу про рух трубопроводу з рідиною, що тече. Досліджуються коливання системи в нелінійному діапазоні збурень. Для різних способів закріплення трубопроводу здійснено аналіз впливу нелінійних механізмів і сил Коріоліса на перерозподіл енергії між формами коливань системи. Показано, що за своїм внеском сили Коріоліса домінують в перерозподілі енергії між формами коливань. Відмічено, що у випадку наявності вільного краю сукупна дія сил Коріоліса і нелінійних механізмів проявляється найбільше.

Ключові слова: трубопровід з рідиною, що тече, нелінійні коливання системи, різні способи закріплення трубопроводу, нелінійні механізми, сили Коріоліса, перерозподіл енергії між формами коливань системи

ВСТУП

Дослідження поведінки трубопроводів при перехідних режимах течії рідини в околі критичних швидкостей руху рідини є однією з важливих задач науки і техніки. Трубопроводи з рідиною, що тече, входять до складу багатьох транспортних та енергетичних систем, тому задачі про дослідження трубопроводів в околі критичних швидкостей набувають все більш глибокого вивчення. При експлуатації коливання системи трубопровід-рідина може призвести до зниження надійності, а інколи навіть до поломки об'єкту.

Найбільш цікаві ефекти в поведінці трубопроводів спостерігаються в нелінійному діапазоні збурень. Нелінійна динаміка трубопроводу з рідиною в околі критичних швидкостей розглядалась в роботах [1-4]. Модель нелінійної динаміки трубопроводу з рідиною та вплив швидкості течії рідини на систему трубопровід-рідина було досліджено в роботі [1]. В статті [2] розглянуто вплив способу закріплення трубопроводу при швидкісній течії рідини на силові та моментні навантаження в місцях закріплення. Показано суттєвий вплив вищих форм коливань на силові характеристики. Розрахунки свідчили, що консольне зацмлення сприяє значному зростанню згинальних моментів в місцях закріплення. В роботі [3] досліджено вплив змінної швидкості на динамічні процеси.

Результати досліджень демонстрували суттєву залежність характеристик процесу від швидкості рідини та відчутний прояв нелінійних механізмів енергообміну. В праці [4] розглянуто вплив швидкості течії рідини, яка наближена до критичної, на систему трубопровід-рідина. Показано, що при швидкостях, які наближаються до половини критичної, спостерігається цілеспрямований енергообмін в системі, який призводить до зростання початкових збурень в часі і може привести до небезпечних ситуацій.

Метою даної роботи є дослідження впливу сил Коріоліса на динаміку трубопроводу з рідиною в залежності від способу закріплення кінців трубопроводу.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Розглянемо трубопровід на основі балоночної моделі [5]. Рідина вважається ідеальною нестисливою, а її рух одномірний. Поперечні коливання трубопроводу описуються змінною $u(x,t)$, де x – поздовжня координата, t – час. Для опису механічних характеристик трубопроводу прийнято наступні параметри: μ і ρ – лінійні густини матеріалу труби і рідини, EJ – згинальна жорсткість труби, F і F_T – площі поперечного перерізу стінок труби і області течії рідини, V – задана швидкість течії рідини, P – внутрішній тиск в рідині.

Побудова моделі системи здійснюється на основі одночасного застосування ідей методів декомпозиції розв'язків задачі, прямих методів математичної фізики і використання формулювання задачі механіки у вигляді варіаційного принципу Гамільтона [5-8].

Функція Лагранжа для системи, яка складається з труби і рідини, що тече, може бути представлена у такому вигляді:

$$L = \frac{1}{2}\mu \int_0^l \left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)^2 dx + \frac{1}{4}\mu \int_0^l \left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)^2 \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 dx - \\ - \frac{1}{2}EJ \int_0^l \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}\right)^2 dx - \frac{1}{4}EJ \int_0^l \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}\right)^2 \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 dx - \\ - \frac{1}{2}EF \int_0^l u^4 dx + \frac{1}{4}\rho V^2 \int_0^l \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 dx - \\ - \frac{1}{16}\rho V^2 \int_0^l \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^4 dx + \frac{1}{2}\rho \int_0^l \left(\frac{du}{dt}\right)^2 dx + \\ + \frac{1}{4}\rho \int_0^l \left(\frac{du}{dt}\right)^2 \left(\frac{du}{dx}\right)^2 dx + \rho V \int_0^l \frac{\partial u}{\partial x} \frac{du}{dt} dx + \\ + \frac{1}{2}PF_T \int_0^l \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 dx + \frac{1}{2}\rho V^2 \int_0^l dx.$$

Після виділення незалежних варіацій рівняння руху розглядуваної системи трубопровод-рідина може бути представлено у такому вигляді:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \tilde{A}(x,t) + \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} \tilde{B}(x,t) = \rho V \tilde{C}(x,t) + \\ + \rho V^2 \tilde{D}(x,t) + \rho V \tilde{E}(x,t) + PF \tilde{F}(x,t) + \\ + 2\mu \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{2}\mu \left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \\ + EJ\tilde{K}(x,t) - EF\tilde{L}(x,t).$$

Для спрощеного представлення в рівняннях руху були використані наступні позначення:

$$\tilde{A} = -\mu - \rho - \frac{1}{2}(\mu + \rho) \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2, \quad \tilde{E} = -2 \frac{\partial u}{\partial x}, \\ \tilde{B} = -EJ - \frac{EJ}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2, \quad \tilde{L} = 3u \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^3, \\ \tilde{D} = -3 \frac{1}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + 8 \frac{1}{4} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2, \quad \tilde{C} = 4 \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t}, \\ \tilde{F} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \quad \tilde{K} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^3 + 2 \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \frac{\partial^3 u}{\partial x^3}.$$

Рівняння руху є нелінійним хвильовим рівнянням, що моделює рух пружного трубопроводу при швидкісному русі рідини. Враховується рух труби, течія рідини та їх взаємодія. Рівняння містить члени до третього порядку малості та описує всі відомі нелінійні механізми. Цікаво, що член $\rho V \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t}$ представляє собою внесок в систему сил інерції Коріоліса. Цей член вносить в систему рух зі зсувом по фазі. Це обумовлено присутністю першої похідної по часу та значно ускладнює аналітичне розв'язання задачі. Для більшості задач вклад цієї сили незначний, але в рамках нелінійної моделі руху неврахування цього фактору може призвести до істотних змін результатів розрахунків. Наявність в рів-

няннях членів з множником ρV^2 пов'язана з проявом динамічного напору з боку рідини. Аналізуючи цю величину, можна зробити висновок, що це є відцентрова сила, що діє з боку рідини на стінки труби. Дослідження лінійних та деяких нелінійних задач показують, що вплив цього члена на втрату прямолінійної форми та динамічної стійкості взагалі, буде вирішальним. Нестационарна складова руху рідини в рівняннях представлена членами з множником $\rho \dot{V}$, який характеризує вплив швидкості руху рідини (розгін, гальмування, пульсація) на рух трубопроводу та загальний рух системи. В трубах рідина рухається за рахунок перепаду тиску. Тобто, якщо труба прямолінійна, то тиск рідини на трубу врівноважується. Якщо ж існує згин труби, тоді рівновага порушується та тиск рідини реалізує додаткове згинальне навантаження, відображене у рівнянні членом $PF \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$.

Член з множником EJ відповідає оновлюючій згинальній жорсткості труби. Вона характеризує супротив трубопроводу на згин. Члени, що містять множник EF , характеризують дію сил повздовжнього стискання труби.

Зауважимо, що модель враховує всі відомі в динаміці трубопроводів нелінійні механізми розвитку динамічних процесів з точністю до величин третього порядку малості. Зокрема, в моделі враховуються відцентрові сили, сили пружності, сили поздовжнього стискання, Коріолісові сили, сили, що виникають від внутрішнього тиску рідини.

Для подальшого вивчення динамічних властивостей використовується метод модальної декомпозиції, тобто рух системи розкладається по формах власних коливань системи $A_i(x)$ з відповідними амплітудами $c_i(t)$.

В амплітудних параметрах дискретна модель системи трубопровід – рідина набуває такого вигляду:

$$\begin{aligned} \ddot{c}_r = & -\frac{EJ}{\rho + \mu} \kappa_r^4 c_r + \frac{7}{2} \frac{\rho V^2}{(\rho + \mu) N_r} \sum_i c_i \beta_{ir}^2 + \\ & + \frac{2\rho V}{(\rho + \mu) N_r} \sum_i \dot{c}_i (\beta_{ri}^1 - \beta_{ir}^1) - \frac{PF}{(\rho + \mu) N_r} \times \\ & \times \sum_i c_i \beta_{ir}^2 - \frac{2\rho \dot{V}}{(\rho + \mu) N_r} \sum_i c_i \beta_{ir}^2 - \frac{13}{4} \frac{\rho V^2}{(\rho + \mu) N_r} \times \\ & \times \sum_{ijk} c_i c_j c_k d_{ijk}^4 - \sum_{ijk} \dot{c}_i \dot{c}_j c_k \frac{1}{N_r} \left(d_{jkir}^2 - \frac{1}{2} d_{krij}^2 \right) - \\ & - \frac{EJ}{(\rho + \mu) N_r} \sum_{ijk} c_i c_j c_k d_{ijk}^6 - \frac{2EF}{(\rho + \mu) N_r} \times \\ & \times \sum_{ijk} c_i c_j c_k d_{ijk}^3 - \frac{1}{2N_r} \sum_{pjk} c_j c_k \times \\ & \times \left(-\frac{EJ}{(\rho + \mu)} \kappa_p^4 c_p + \frac{7}{2} \frac{\rho V^2}{(\rho + \mu) N_p} \sum_i c_i \beta_{ip}^2 + \right. \\ & + \frac{2\rho V}{(\rho + \mu) N_p} \sum_i \dot{c}_i (\beta_{pi}^1 - \beta_{ip}^1) - \\ & \left. - \frac{PF}{(\rho + \mu) N_p} \sum_i c_i \beta_{ip}^2 - \frac{2\rho \dot{V}}{(\rho + \mu) N_p} \sum_i c_i \beta_{ip}^2 \right). \end{aligned}$$

Коефіцієнти цих рівнянь обчислюються як квадратури від форм коливань трубопроводу та їх похідних і добутків. Дослідження перехідних процесів руху трубопроводу виконується на основі приведення даної системи до форми Коші та її чисельного інтегрування на основі методу Рунге-Кутта.

АНАЛІЗ ЧИСЛОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Розглядається задача про коливання балки при різних способах закріплення країв $x = 0$ і $x = l$. Аналізувалися задачі про поведінку системи при початковому збуренні системи $c_2(0) = 0,02l$ (решта форм коливань в початковий момент часу не збуджувалася), при швидкостях течії рідини $V = 0,5V_{kp}$ і $V = 0,75V_{kp}$, де V_{kp} – перша критична швидкість рідини в трубопроводі.

Далі на рисунках приведено зміну амплітуд форм коливань трубопроводу в часі. При цьому зміну $c_1(t)$ показано товстою суцільною кривою, зміну $c_2(t)$ – штриховою, а $c_3(t)$ – тонкою суцільною кривою. На рисунках варіант *a* відповідає моделюванню динамічної поведінки системи без врахування сил Коріоліса, а варіант *б* – на основі повної нелінійної моделі системи. Аналізувалися випадки закріплення типу два шарніри, дві консолі, консоль – шарнір і консоль – вільний край.

Результати чисельного моделювання свідчать про визначальний внесок сил Коріоліса в формування динамічних процесів. Зауважимо, що оскільки сили Коріоліса в моделі описуються лінійними членами, їх прояв при перехідних процесах відбувається швидше ніж прояв нелінійних механізмів і починає проявлятися на менших амплітудах збурення. Проілюструємо цей ефект на прикладі задачі про закріплення трубопроводу типу консоль – консоль для випадку $V = 0,75V_{kp}$ (Рис. 1).

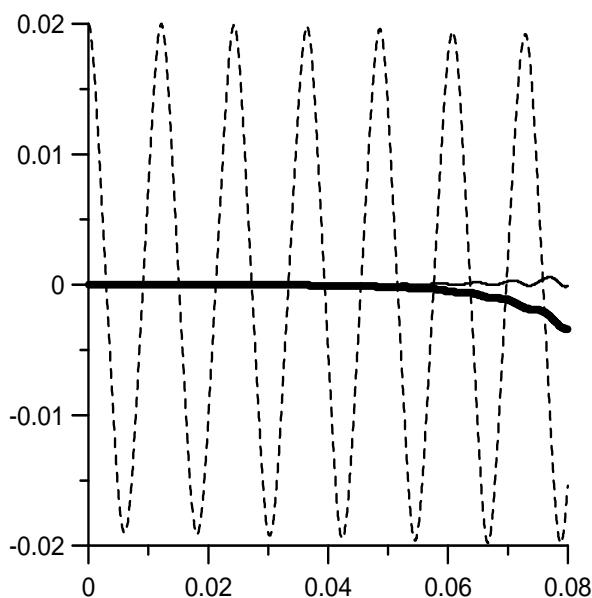


Рис.1,а. Збудження амплітуд перших трьох форм коливань для закріплення типу консоль-консоль без врахування сил Коріоліса

Fig.1, a. The excitation of the amplitudes of the first three forms to consolidate of the console-console type without Coriolis forces

Для випадку відсутності сил Коріоліса (див. Рис. 1, *a*) спочатку в системі збуджено коливання лише за другою формою, з часом до коливань за нелінійними механізмами залучаються перша і третя форми, але друга форма домінує.

У випадку врахування сил Коріоліса (див. Рис. 1, *б*) збудження інших форм коливань відбувається значно швидше. При цьому за певний час вже домінує перша форма коливань. Взагалі динамічні процеси для випадку врахування і нехтування сил Коріоліса суттєво відрізняються.

До того ж при врахуванні сил Коріоліса відбувається зростання коливань трубопроводу, що не відображає модель без сил Коріоліса.

На Рис. 2 зображено задачу про коливання трубопроводу при закріпленні типу консоль-вільний край при $V = 0,5V_{kp}$.

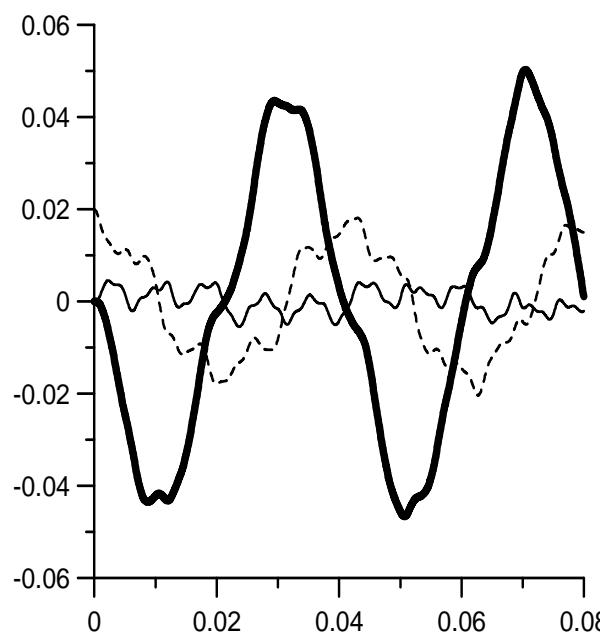


Рис.1,б. Збудження амплітуд перших трьох форм коливань для закріплення типу консоль-консоль (мабуть)

Fig.1, б. The excitation of the amplitudes of the first three forms to consolidate of the console-console type with Coriolis forces

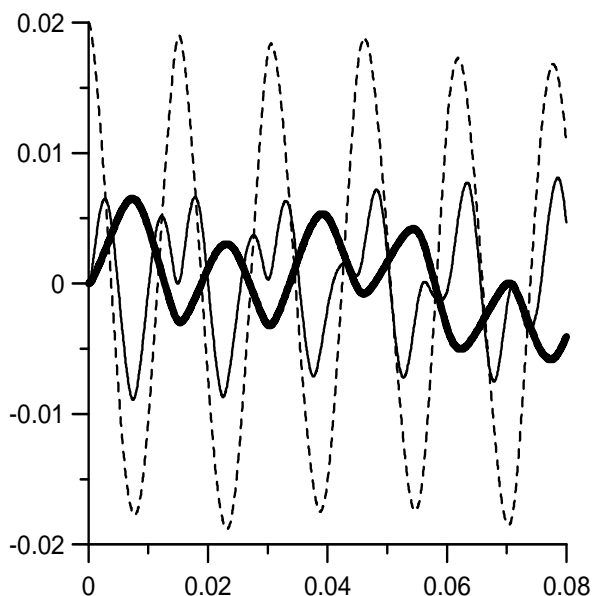


Рис. 2, а. Збудження амплітуд перших трьох форм коливань для закріплення типу консоль-вільний край

Fig. 2, a. The excitation of the amplitudes of the first three forms to consolidate of the console-loose edge type without Coriolis forces

В цьому випадку, як свідчить рис. 2 а, прояв нелінійних механізмів значно сильніший, проте відмінність поведінки системи при нехтуванні і врахуванні сил Коріоліса суттєва. У випадку моделювання в рамках повної моделі амплітуда коливань системи зростає і амплітуди першої і другої форм стають співрозмірними.

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз і для інших способів закріплення дозволяє зробити такі висновки.

1. Механізм дії сил Коріоліса значно перевершує нелінійні механізми по сприянню перерозподілу енергії в трубопроводі з рідиною, що тече; спостерігається більш суттєве і швидке в часі залучення до коливань всіх форм перерозподіл енергії.

2. За рахунок дії сил Коріоліса відбувається збільшення амплітуд в 1,5-2 рази у порівнянні з випадком нехтування силами Коріоліса.

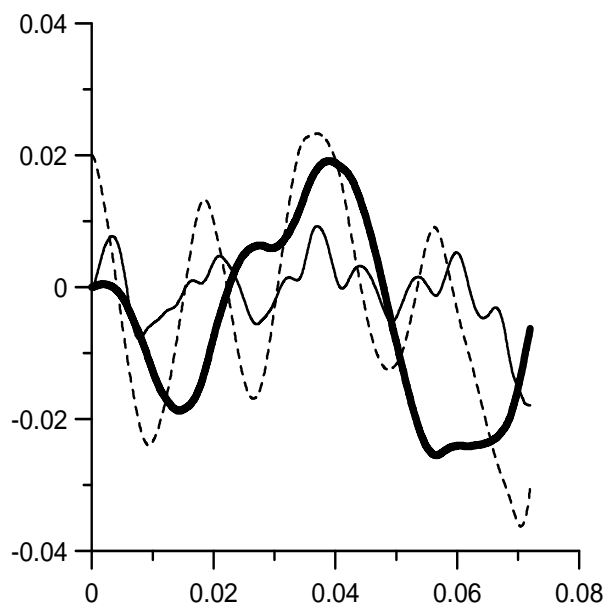


Рис. 2, б. Збудження амплітуд перших трьох форм коливань для закріплення типу консоль-вільний край

Fig. 2, б. The excitation of the amplitudes of the first three forms to consolidate of the console-loose edge type with Coriolis forces

3. Сили Коріоліса сприяють збудженню вищих форм коливань, що в підсумку призводить до прояву супергармонік в результатуючій зміні параметрів коливань системи.

4. Для випадку різних закріплень трубопроводу прояв сил Коріоліса є визначальним і на розглянутому інтервалі часу призводить до приблизно однакових наслідків; проте наявність вільного краю значно підсилює прояв нелінійних механізмів, які до того ж проявляються у сукупності з дією сил Коріоліса.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гавриленко В.В., Лимарченко О.С., Ковальчук О.П., 2011. Модель нелінійної динаміки трубопроводу з швидкісною течією рідини при різних способах закріплення. Вісник Національного транспортного університету. Ч.2. Київ, НТУ, Вип.24, 278-281.
2. Гавриленко В.В., Ковальчук О.П., Лимарченко О.С., 2012. Характер силової взаємодії

трубопроводу з рухомою рідиною при швидкісному руху рідини. Проблеми транспорту. Збірник наукових праць. Київ, НТУ, Вип.9, 249-252.

3. **Василевський Ю.Є., Лимарченко О.С., Ковальчук О.П., 2010.** Механізм втрати нелінійної стійкості трубопроводу при швидкій течії рідини. Комунальне господарство міст. Наук.-техн. зб. Київ-Харків, Основа, Вип.91, 49-56.
4. **Ковальчук О.П., 2015.** Нелінійна динаміка трубопроводу з швидкісною течією рідини при різних способах закріплення. Вісник Національного транспортного університету. Київ, НТУ, Вип.31, 242-245.
5. **Бабаков І.М., 1968.** Теорія коливань. Москва, Наука, 560.
6. **Бондарь Н.Г., 1971.** Нелинейные автономные задачи механики упругих систем. Київ, Будівельник, 140.
7. **Кильчевский Н.А., 1977.** Курс теоретической механики. Том 2. Москва, Наука, 544.
8. **Михлин С.Г., 1970.** Вариационные методы в математической физике. Москва, Наука, 512.

REFERENCES

1. **Gavrilenko V.V., Lymarchenko O.S., Kovalchuk O.P., 2011.** Model' nelinejnoi' dynamiky truboprovodu z shvydkisnoju tehijeu ridyny pry riznyh sposobah zakriplennja [Model nonlinear dynamics of pipe with high-speed flow of fluid under different ways of fixing]. Proceedings of the National Transport University. Part 2. Kiev, NTU, Vol.24, 278-281.
2. **Gavrilenko V.V., Lymarchenko O.S., Kovalchuk O.P., 2012.** Charakter sylovoi' vzajemodii' truboprovodu z ruhomuju ridynuju pry shvydkisnomu ruhu ridyny [The character a forces interaction of pipe with movable fluid under high-speed flow of fluid]. Problems of the transport. Collection of scientific papers. Kiev, NTU, Vol.9, 249-252.
3. **Vasylevskyy J.E., Lymarchenko O.S., Kovalchuk O.P., 2010.** Mehanizm vtraty nelinejnoi' stijkosti truboprovodu pry shvydkisnij tehii' ridyny [The mechanism of loss of nonlinear stability of pipe under high-speed flow of fluid] Municipal services of cities: Scientific and technical collection. Kyiv-Kharkiv Base, Vol.91, 49-56.

4. **Kovalchuk O.P., 2015.** Nelinejnaja dynamika truboprovodu z shvydkisnoju tehijeu ridyny pry riznyh sposobah zakriplennja (Nonlinear dynamics of pipe with with high-speed flow of fluid under different ways of fixing) Proceedings of the National Transport University. Kiev, NTU, Vol.31, 242-245.
5. **Babakov I.M., 1968.** Teoryja kolebanij [The theory of vibrations]. Moskow, Science, 560.
6. **Bondar N.G., 1971.** Nelinejnye avtonomnye zadachi mehaniki uprugih sistem [The nonlinear self-giving problems of the mechanics of inelastic systems]. Kiev, Budivel'nik, 140.
7. **Kilchevsky N.A., 1977.** Kurs teoreticheskoj mehaniki [The course of the theoretical mechanics]. Moskow, Science, Vol.2, 544.
8. **Mikhlin S.G., 1970.** Variacionnye metody v matematicheskoj fizike [The variation methods in mathematical physics]. Moskow. Science, 512.

THE INFLUENCE OF CORIOLIS FORCES
ON THE DYNAMICS OF PIPE WITH FLUID
UNDER DIFFERENT WAYS OF FIXING

Valeriy Gavrilenko*, Oksana Kovalchuk*
Oleg Lymarchenko**

*National Transport University,
Suvorov str., 1, Kyiv, Ukraine, 01001,
e-mail: kistntu@ukr.net

**Taras Shevchenko National University of Kyiv,
Akad. Glushkov prosp, 4-e, Ukraine, 03187,
e-mail: olelim2010@yahoo.com

Summary. The problem of dynamics of pipe with a flowing fluid is considered. Vibrations of the system in the nonlinear range of disturbances are investigated. An investigation of the influence of nonlinear mechanisms and Coriolis forces on the redistribution of the energy between forms of vibrations of the system is given. Coriolis forces dominate in the redistribution of the energy between forms of vibrations of the system. A total influence of Coriolis forces and nonlinear mechanisms in case of the availability of a free edge is more showed.

Key words: pipe with flowing fluid, nonlinear vibration system, different ways of the fixing pipe, nonlinear mechanisms, Coriolis forces, the redistribution of the energy between forms of vibrations of the system.

Научные основы очистки сточных вод промышленных предприятий методом электрокоагуляции

Мирон Назарян, Юрий Стельмахов***

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

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

Аннотация. В работе рассматриваются научные основы процесса электрокоагуляции устойчивых коллоидно-дисперсных систем на основе теории ДЛФО и практика применения электрокоагуляционной технологии применительно к предприятиям, на которых образуются сточные воды, содержащие минеральные масла и другие примеси.

Ключевые слова: очистка, коагуляция, теория ДЛФО, сточная вода, предприятие, электрокоагулятор.

стью и практически самопроизвольно не разрушаются в течение длительного периода времени (водомасляные эмульсии, смазочно-охлаждающие жидкости и др.). Для создания условий для эффективной коагуляции частиц, содержащихся в коллоидно-дисперсной системе целесообразно предварительно установить механизм устойчивости рассматриваемой системы, а также разработать приемлемую технологию их очистки.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к электрохимическим методам очистки воды от различных загрязнений, в частности, к использованию «электрогенерированного» гидроксида алюминия (коагулянта) для удаления масляных или минеральных частиц из сточных вод [1, 2]. Это обусловлено высокой эффективностью такого вида коагулянта, который образуется путем растворения металлических алюминиевых электродов в технической воде при пропускании через электрохимическую систему постоянного электрического тока. Особенно данный метод очистки эффективен для водных коллоидно-дисперсных систем, которые обладают высокой агрегативной устойчиво-

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В общих чертах механизм устойчивости коллоидно-дисперсных систем можно представить следующим образом. Известно, что частицы загрязнений, содержащихся в воде, например, в виде масляной сферической капельки бывают окружены двойным электрическим слоем (ДЭС), состоящим из отрицательно заряженных ионов, непосредственно адсорбированных на ее поверхности, и положительно заряженных ионов, находящихся вблизи от нее на некотором минимальном расстоянии [1].

При этом возникает энергетический барьер отталкивания частиц друг от друга вследствие преобладания электрических

сил над силами межмолекулярного притяження. Данная теория устойчивости широко известна как теория ДЛФО, разработанная Дерягиным, Ландау и несколько позднее Фервеем и Овербахом [3].

Согласно представлениям Штерна ДЭС состоит из внутренней и внешней частей. Внутреннюю часть образует мономолекулярный слой ионов, адсорбированных на поверхности частицы и составляющих с ней как бы единое целое. Внешняя (диффузная) часть двойного слоя состоит из относительно свободных, не адсорбированных на поверхности ионов, находящихся в водной системе [4].

Диффузная часть является размытой и отстоит от адсорбированного монослоя ионов на некотором расстоянии, равном примерно одному ионному радиусу. Близлежащие к поверхности эмульгированных частиц противоions способствуют возникновению определенного потенциала – Ψ_δ , от величины которого зависит степень устойчивости или склон-

ность к коагуляции дисперсных частиц. При относительно небольших зарядах поверхности частиц и в связи с отсутствием прямого метода измерения Ψ_δ -потенциала значение последнего определяют по величине так называемого дзета-потенциала (ξ) в предположении их равенства, т.е. условно принимают $\Psi_\delta = \xi$, так как величину ξ – потенциала можно установить экспериментально-расчетным методом.

В целом переход коллоидно-дисперсной системы от устойчивого состояния к коагуляции, может быть определен из условия исчезновения энергетического барьера отталкивания:

$$V = V_m + V_r = 0, \quad (1)$$

где V – суммарная энергия межмолекулярного притяжения (V_m) и электростатического отталкивания (V_r); H – расстояние между частицами.

При этом, чем выше адсорбционная способность гидроксидов металлов, образующихся в результате гидролиза генерированных ионов металла анода в процессе электрохимической очистки воды, по сравнению с гидроксидами тех же металлов, полученных осаждением солей, тем более эффективно протекает процесс коагуляции примесей.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Это определило необходимость изучения количества частиц генерированного гидроксида алюминия во времени при постоянной плотности тока (рис. 1). Микроскопический анализ частиц $Al(OH)_3$, полученных электрохимическим путем изучали с использованием оптико-электронной системы ПИМС, разработанной фирмой «Миллипор». Система обеспечивает точный автоматизированный подсчет и измерение параметров частиц размером от 0,2 до 1600 мкм, дифференцируемых по системе сканирования. Система оснащена компьютером, предназначенным для

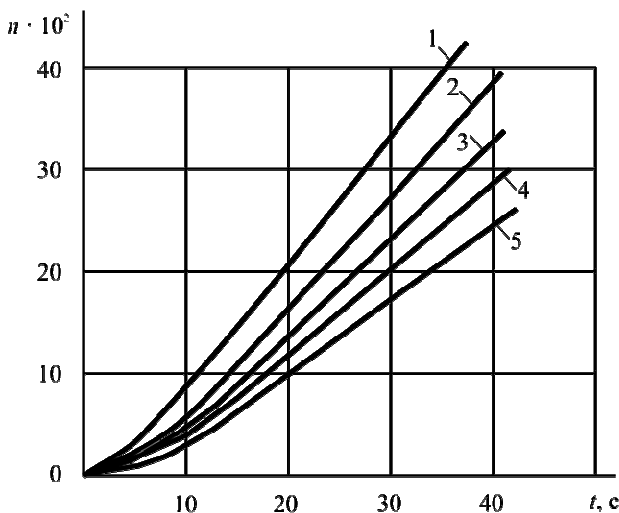


Рис. 1. Изменение количества частиц генерированного гидроксида алюминия во времени при постоянной плотности тока: 1 – 0,2 мкм; 2 – 1,0 мкм; 3 – 2,2 мкм; 4 – 2,8 мкм; 5 – 3,8 мкм

Fig. 1. Time-history of amount of particles of generated hydroxide of aluminium at the permanent closeness of current : 1 – 0,2 mkm; 2 – 1,0 mkm; 3 – 2,2 mkm; 4 – 2,8 mkm; 5 – 3,8 mkm

выполнения ряда операций: общего подсчета частиц всего поля и их площади, определения средних значений площади и проектируемой длины частиц и т.п. Вероятные ошибки при нормальном их распределении в результате такого измерения составляют в зависимости от вида операции 1,6...2,7 %. Изучаемые образцы в целях обеспечения минимальной ошибки измерения тщательно подготавливались. Результаты подсчета частиц представлены на Рис. 1, из которого следует, что дисперсная фаза в образующемся коагулирующем электролите состоит преимущественно из частиц гидроксида алюминия, имеющих размеры до 3 мкм. Произведем расчет энергии взаимодействия двух сферических частиц $Al(OH)_3$ по уравнению, выведенному Дерягиным–Ландау

$$V = 2\pi\epsilon_0\epsilon r\psi_8^2 \ln [1 + \exp(-\alpha h)] - \frac{Ar}{12H}, \quad (2)$$

где r – радиус частиц; H – расстояние между поверхностями частиц; A – постоянная Гамакера; α – величина обратная толщине диффузного электрического двойного слоя.

Для расчетов приняты следующие данные: $A = 1,26 \cdot 10^{19}$ Дж; ψ_8 – потенциал оценивали по значению ξ -потенциала частиц $Al(OH)_3$, которое по данным электрофоретических измерений с использованием микроэлектрофореза оказалось равным 26 мВ. Величину α , обратную толщине диффузного электрического двойного слоя, определяли по формуле:

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{4,31 \cdot 10^{-8}}{\sqrt{\sum C_i z_i^2}}, \quad (3)$$

где C_i – молярная концентрация 1–1 валентного раствора электролита KCl; z – валентность иона.

Эквивалентную концентрацию раствора KCl рассчитывали по выражению:

$$C_{KCl} = \frac{1000\lambda_x}{\lambda_\infty}, \quad (4)$$

где λ_x – электропроводность раствора коагулирующего электролита, содержащего частицы $Al(OH)_3$, равная $3 \cdot 10^{-6}$ См; λ_∞ – предельное значение электропроводности раствора электролита, равное 130 См.

Расчет суммарной энергии взаимодействия проводили при различных расстояниях между контактирующими частицами.

На Рис. 2 показано изменение суммарной энергии взаимодействия частиц генерированного $Al(OH)_3$ радиусом $r = 1 \cdot 10^{-6}$ м от расстояния между поверхностями частиц. Как следует из Рис. 2, первичный минимум значительной глубины наблюдается лишь на очень коротких расстояниях между поверхностями частиц. Поэтому коагуляция этих частиц здесь маловероятна, что согласуется с мнением Д.А. Фридрихсберга [5]. Энергетический барьер отталкивания частиц друг от друга наблюдается на средних расстояниях между поверхностями

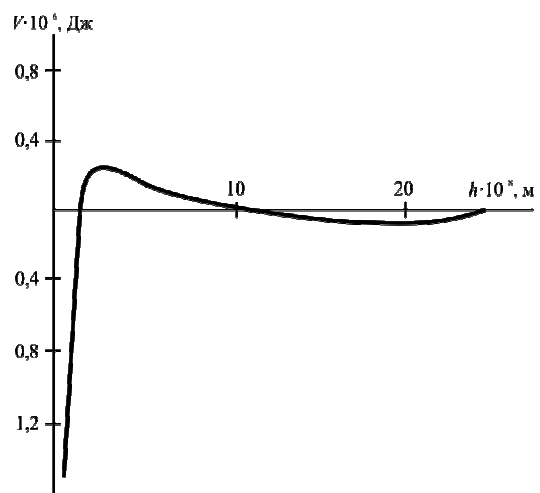


Рис. 2. Расчетные значения суммарной энергии взаимодействия частиц электрогенерированного гидроксида алюминия в зависимости от расстояния между поверхностями частиц ($1 \cdot 10^{-6}$ м)

Fig. 2. Calculation values of total energy of cooperation of particles of electro-generated hydroxide of aluminium depending on distance between the surfaces of particles ($1 \cdot 10^{-6}$ m)

частиц, причем высота барьера незначительна.

Таким образом, наличие в электролите генерированных частиц гидроксида алюминия с широким спектром размеров, по-видимому, объясняется возможностью коагуляции за счет дальнего взаимодействия частиц во вторичном минимуме.

Результаты расчетов суммарной энергии взаимодействия частиц генерированного $Al(OH)_3$ между собой подтверждают выводы Г.А. Мартынова, В.М. Мюллера, Е.Д. Бабенкова, Д.А. Фридрихсберга о вероятности коагуляции этих частиц преимущественно во вторичном энергетическом минимуме, что приводит к снижению удельной поверхности коагулянта и его емкости. В связи с этим в электрохимических реакторах для очистки воды необходимо обеспечить условия быстрого взаимодействия свежегенерированного гидроксида металла с частицами загрязнений до начала образования агрегатов из частиц $Al(OH)_3$. В этом случае будет сохранена высокая коагулирующая способность образуемых гидроксидов.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эффективность коагуляция коллоидно-дисперсных систем в большой степени зависят от аппаратно-технологического оформления процесса. Используя в технологической схеме оптимальные конструкции электрокоагуляторов, можно обеспечить очистку воды с учетом санитарно-гигиенических норм.

Принятый процесс очистки характеризуется высокой скоростью, поскольку генерированный коагулянт, как было установлено ранее и подтверждено нашими исследованиями, обладает значительно большей сорбционной способностью ко многим веществам, чем коагулянт, полученный в результате гидролиза некоторых солей. В качестве такого коагулянта используются преимущественно гидроксиды алюминия и железа.

Сорбционные свойства гидроксидов определяются условиями процесса растворения металлов, составом очищаемой воды и рядом других факторов.

Многие присущие методу коагуляции достоинства не реализуются в полной мере из-за несовершенства известных конструкций коагуляторов, эмпирического подхода к их выбору, а также в связи с явлениями пассивации поверхности растворимых электродов и возможностью адсорбции на них веществ. Так, наличие в воде веществ, обладающих высокой адсорбционной способностью, резко снижает скорость анодного растворения металлов вследствие образования на поверхности электродов плотного слоя нерастворимых соединений.

В конструкциях электрокоагуляторов следует исключать недостатки, отражающиеся на качестве очистки, главными из которых являются пассивация электродов и адсорбция на них веществ. Наиболее существенные методы снижения пассивации электродов следующие: получение генерированного коагулянта в чистом электролите, содержащем небольшие добавки активаторов анодного растворения; смена полярности электрического тока на электродах, т.е. реверсирование тока; применение турбулентного режима движения воды в межэлектродном пространстве; введение в загрязненную воду ионов-депассиваторов (например, Cl^-); вращение растворимых электродов и их вибрация; удаление отложений с поверхности электродов механическим путем, их систематическая промывка [1].

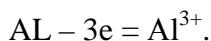
Ввиду сложности многих указанных методов депассивации, наибольший интерес представляет возможность получения генерированного коагулянта в чистом электролите, не содержащем коллоидно-дисперсных примесей. Существует метод получения такого коагулянта в отдельной электролитической ванне, соединенной с камерой смещения, где непосредственно осуществляется обработка загрязненной воды раствором

электролита, содержащем продукты растворения металла. Данный метод, несмотря на исключение пассивации электродов, имеет существенный недостаток. При таком способе и аппаратурном оформлении процесса очистки в значительно меньшей степени используются свойства образующегося в отдельной камере генерированного коагулянта вследствие уменьшения его сорбционной активности.

Автором и его сотрудниками разработаны аппараты колонного типа непрерывного действия для коагуляционной очистки коллоидно-дисперсных систем. Они обеспечивают полную сохранность сорбционных свойств генерированного коагулянта в течение определенного периода времени, прошедшего от начала его образования до момента взаимодействия с частицами примесей [6...9]. Схема электрокоагулятора непрерывного действия колонного типа показана на Рис. 3.

Снижение сорбционных свойств коагулянтов в этом случае связано с прохождением значительного периода времени от момента его образования до начала взаимодействия в камере смешения отдельного вынесенного аппарата с частицами дисперсной фазы.

«Электрогенерированный» коагулянт образуется в восходящем потоке воды, подаваемой снизу в электрохимическую камеру, в которой расположены пластинчатые алюминиевые электроды при пропускании через них постоянного электрического тока от выпрямительного агрегата. В результате этого металлический анод растворяется и в воду переходят ионы металла:



Активные ионы алюминия вступают во взаимодействие с ионами гидроксила OH^- с образованием гидроксида алюминия являющимся высокоактивным коагулянтом, особенно в момент его получения:



Установлено, что удельные затраты материала анода на образование коагулянта значительно меньше, чем при использовании сернокислого алюминия в процессе реагентной очистки воды. Так, растворение 1 г металлического алюминия эквивалентно введению в воду 12,3 г сернокислого алюминия.

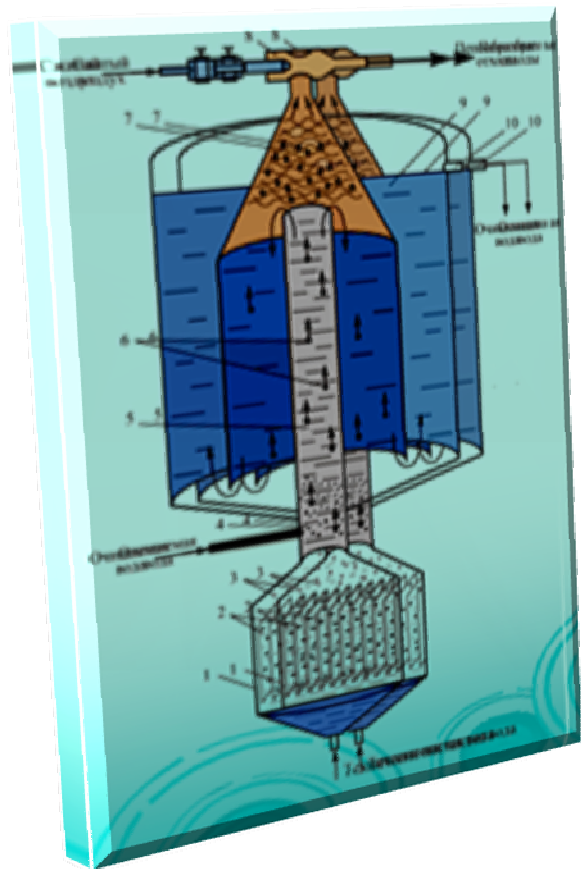


Рис. 3. Электрокоагулятор колонного типа, содержащий электрохимическую камеру (в нижней части), камеру коагуляции (в центральной части), камеру эжекции (в верхней части) и отстойную камеру

Fig. 3. Electrocoagulator of columnar type, containing an electrochemical chamber (in an underbody), chamber of coagulation (in central part), chamber of ejecting (in overhead part) and outward sediment chamber

Полученный таким образом коагулянт, частицы которого имеют некоторый положительный заряд, потоком воды направляется в камеру коагуляции для взаимодействия с частицами загрязнений, обладающих противоположным зарядом. Это приводит к коагуляции заряженных частиц гидроксида алюминия с частицами примесей с образованием более крупных агрегатов. Эти агрегаты флотируются пузырьками газов, выделяющихся на поверхности электродов, в верхнюю часть аппарата и далее удаляются с помощью эжектора. Очищаемая же вода перетекает в отстойную камеру и выводится из электрокоагулятора.

На основании проведенных научно-исследовательских работ и опытно-промышленных разработок создана новая конструкция электрокоагулятора колонного типа для эффективного удаления частиц загрязнений на который получены патенты в Украине и в 15 ведущих странах мира (США, Германии, Франции, Канаде, Италии, России и в др. странах).

ВЫВОДЫ

Разработки авторов апробированы на ряде промышленных предприятий Украины и стран СНГ, что свидетельствует о целесообразности их широкого применения, в том числе и для подготовки питьевой воды из природной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Назарян М.М., Ефимов В.Т., 1983. Электро-коагуляторы для очистки промышленных стоков. Харьков, Вища школа, изд-во при Харьк. Ун-те., 144.
2. Назарян М.М., Демидова Ю.Е., 2014. Очистка углеводородсодержащих сточных вод. Харьков, Изд-во «Підручник НТУ ХПШ», 188.
3. Дерягин Б.В., 1956. Природа молекулярных сил и их значение в науке и практике. Москва, Знание, 154.

4. Зонтаг Г., Штрэнг К., 1973. Коагуляция и устойчивость дисперсных систем. Пер. с нем. Ленинград, Химия, 152.
5. Фридрихсберг Д.А., 1974. Курс коллоидной химии. Ленинград, Химия, 352.
6. Патент 853855 FI, МПК4 С 02 F 1/463. / Electrical coagulator. М.М. Назарян, А.А. Аксенко, В. А. Коляда, А. Р. Матаев и др. Харьк. моторостроит. з-д Серп и Молот, Харьк. политехн. ин-т. FI 19850003855, заявл. 04.10.85, опубл. 04.10.85.
7. А. с. 776991 SU, МПК3 С 02 С 5/12. Способ электрохимической очистки сточных вод М. М. Назарян, В.Т. Ефимов, А.А.Аксенко, В.А.Коляда, Л.Ф.Шамша. Харьк. моторостроит. з-д Серп и Молот, Харьк. политехн. ин-т. 2725946/29-26, заявл. 16.02.79, опубл. 07.11.80, Бюл. № 41.
8. Патент 1232231 СА, МПК4 В 01 D 17/06. / Apparatus for electro-chemical purification of contaminated liquids Харьк. политехн. ин-т, Харьк. моторостроит. з-д Серп и Молот. СА 19840464540, заявл. 02.10.84, опубл. 02.02.88.
9. Патент 499 UA, МПК8 С 02 F 1/463, С 02 F 1/465 / Апарат для електрохімічної очистки забрудненої рідини. М.М. Назарян, П.П. Шатий, О.О. Аксенко, В.О. Коляда, А.Р. Матаев. Харьк. моторобуд. з-д Серп і Молот. 2602364/SU, заявл. 07.04.78, опубл. 30.04.93, Бюл. № 1.

REFERENCE

1. Nazaryan M.M. Efimov V.T., 1983. Elektrokoagulyatoryi dlya ochistki promyishlennyih stokov [Electrocoagulator for industrial wastewater.]. Kharkiv, Vischa shkola Publ., izdvo pri Kharkiv University, 144 (in Russian).
2. Nazaryan M.M., Demidova Yu.E., 2014. Ochistka uglevodorodosoderzhaschih stochnyih vod [Cleaning of hydrocarbon wastewater]. Kharkiv, Pidruchnik NTU KHPI, 188 (in Russian).
3. Deryagin B.V., 1956. Priroda molekulyarnih sil i ih znachenie v nauke i praktike [The nature of the molecular forces and their importance in the science and practice]. Moscow, Znanie, 154 (in Russian).
4. Zontag G., Shtreng K., 1973. Koagulyatsiya i ustoychivost dispersnyih sistem [Coagulation and sustainability of disperse systems]. Translated from the German, Leningrad, Himiya Publ., 152 (in Russian).

5. **Fridrihsberg D. A., 1974.** Kurs kolloidnoy himii [The course of colloid chemistry]. Lenin-grad, Himiya Publ., 352 (in Russian).
6. **Nazaryan M.M., Aksenko A.A., Kolyada V.A., Mataev A.R. et al., 1985.** Electrical coagulator. Patent 853855 FI, MPK4 S 02 F 1/463. Hark. motorostroït. z-d Serp i Molot, Hark. politehn. in-t.
7. **Nazaryan M.M., Efimov V.T., Aksenko A.A., Kolyada V.A., Shamsha L.F., 1979.** Sposob elektrohimicheskoy ochistki stochnyih vod [The method of electrochemical treatment of sewage]. Copyright certificate 776991 SU, MPK3 C 02 C 5/12. Hark. motorostroït. z-d Serp i Molot, Hark. politehn. in-t. 2725946/29-26.
8. **Patent 1232231 CA, MPK4 B 01 D 17/06., 1988.** Apparatus for electro-chemical purification of contaminated liquids. Hark. politehn. in-t, Hark. motorostroït. z-d Serp i Molot.
9. **Nazaryan M.M., Shatyi P.P., Aksenko O.O., Kolyada V.O., Mataev A.R., 1993.** Aparat dlya elektrohimichnoyi ochistki zabrudnenoyi ridini [The device for electrochemical treatment of contaminated liquids]. Patent 499 UA, MPK8 S 02 F 1/463, S 02 F 1/465. Hark. motorobud. z-d Serp i Molot.

SCIENTIFIC BASES OF CLEANING OF
EFFLUENTS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES
BY METHOD OF ELECTRO-COAGULATION

*Miron Nazaryan**, *Yury Stelmakhov***

*Kharkov institut of managements
Shevchenko St., 24, Kharkiv, Ukraine, 61013,
e-mail: miron.29@mail.ru

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

Summary. For conditioning of effective coagulation of the particles contained in the colloid-dispersible system expediently preliminary to set the mechanism of the examined system stability, and also to work out acceptable technology of their cleaning.

On the whole transition of the colloid-dispersible system from the stable state to coagulation, it can be certain from the condition of disappearance of power barrier of pushing away.

Phase-dispersible composition of particles of hydroxid of aluminium is studied with the use of the optical-electronic system ПИМС, by the worked out firm of "millipor", and also the calculation of energy of cooperation is produced inter se spherical particles of Al (OH) 3.

The new construction of electrocoagulator of columnar type is worked out for the effective moving away of particles of contaminations on that patents are got in 15 leading countries (THE USA. To Germany, France, Canada, Italy, Russia and in other the countries).

Development of authors tested on the row of industrial enterprises.

Key words: cleaning, coagulation theory DLVO, wastewater plant, electrocoagulator.

Energy-saving technologies with the use of water treated by the magnetic fields

Nataliya Zhuravska, Eduard Malkin

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

Summary. The current hypotheses of water structure and influence of the magnetic field on the change in its structure have been analyzed. The hypotheses of the feasibility of using high-frequency electromagnetic fields to enhance their impact on the water structure and the stability of this process have been formulated. Experimental studies using water treated in the high-frequency electromagnetic fields for the ecoconcrete production have been carried out.

Key words: magnetized water, field density, wave motion frequency, water processing time in the field.

INTRODUCTION

Since the mid XX th century, the Soviet Union began conducting scientific studies and practical application of magnetic water in different industries [1 – 6].

Y.G. Dorfman [7] examined the relationship between magnetic properties and structure of matter. However, along with significant achievements in scientific research and practical application in many sectors of the economy: thermal power, building materials, agriculture, medicine, etc. there have been cases of results instability. This was due to nonstrict

hypotheses on the water structure model and, consequently, on the effects of magnetic fields on it.

Meanwhile, Y.I.Frenkel [8] believed that the liquid in its structure is closer to the solid body, rather than gases. In liquids, as well as in solids, thermal vibrations of the particles occur around some equilibrium positions, and, unlike in solids, in liquids oscillating particles do not remain in one place for a long time, but abruptly move from one equilibrium position to another one. Based on the ratio obtained by Y.I. Frenkel it turns out that each molecule of water before moving from one equilibrium position to another one makes 1000 vibrations in the original position. Based on this Y.I. Frenkel concluded that the water particles are mostly "sedentary". Applying this conclusion for water, taking into account the theory of its cluster structure appeared later one can assume that to destroy clusters with significant savings of heat energy it is necessary to provide the vibration frequency of water molecules of more than 1 kHz. In this case the equilibrium will be destabilized, and the clusters will break down rapidly.

Thus, the time of monomolecular water creation by molecules other than the "bio-

field", i.e. charged, should be decreased dramatically and gain stability.

THE MAIN PART

After studying the application of the theory of magnetic water and significant achievements in scientific researches and practical ap-

plication in building materials production we have proposed technologies of concrete products manufacture using high-frequency electromagnetic devices for magnifying "I" (LLC "Votali"), as well as the device "II" ("Vulkan" and "Kalmat", company "Edelweiss").

Magnetic water was received on the stand with two devices that can operate independently from each other (Fig. 1) [9].

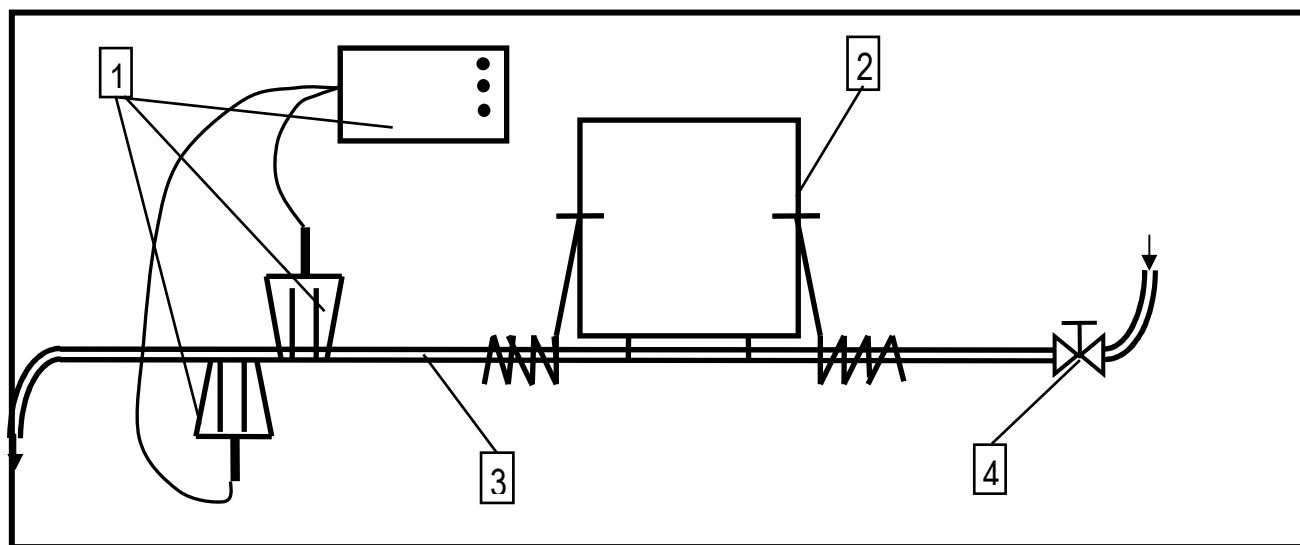


Fig. 1. A stand for magnetic water preparation: 1 – device "Ilios"; 2 – device "Kalmat"; 3 – water; 4 – valve

The task of the research isto carry out comparative studies of the optimization process of magnetic water according to this technology, field parameters and water-cement ratio of the initial formulation of products. To conduct products research after a certain period of time (28 days) (strength gain) using steaming and without steaming. To consider the effect of magnetic water as an activator, with the use of components to obtain concrete with damaged structure and of various chemical compositions, with various additives.

For the experiment over 200 samples of concrete cubes (70×70×70) have been prepared according to the recipe [11, 13 – 15] (for 1 m³ of concrete) in two ways:

1) cement (III I 500) – 250 kg/m³; sand – 760 kg/m³; gravel of fraction 5...10 mm – 350 kg/m³, 10...20 mm – 810 kg/m³; water – ordinary water – 193 l/m³,

2) the same composition but instead of ordinary water magnetic water.

Magnetic water was prepared with the help of magnets "I".

The results of experimental measurements of the magnetic fields generated by the device "I": the magnetic resistant sensor KMZ 10C with susceptibility coefficient 1,5 (mV/V)/(kA/m) has been used. According to the technical documentation the device has two operating modes (1, 2), for work with ferrous and nonferrous metals. The water processing takes place in the regime of preventing scale formation and in the regime of existing deposits.

Accordingly the magnetic field intensity has been measured in two modes:

Cleaning 1 (CL1).

The signal configuration consists of high-frequency pulses that generate a field with strength of 0,23 T to 0,43 T. Each signal consists of pulse packets (packets for 8 pulses). The pulse length is 80 ms with a period of 75

ms between pulses and the interval between packets 1500 ms.

Cleaning 2 (CL2).

The signal configuration consists of high-frequency pulses that generate a field with

strength of 0,23 T to 0,43 T. Each signal consists of pulse packets (16 pulses packets). The pulse length is 35 ms with a period of 20 ms between pulses and the interval between packets 1300 ms.

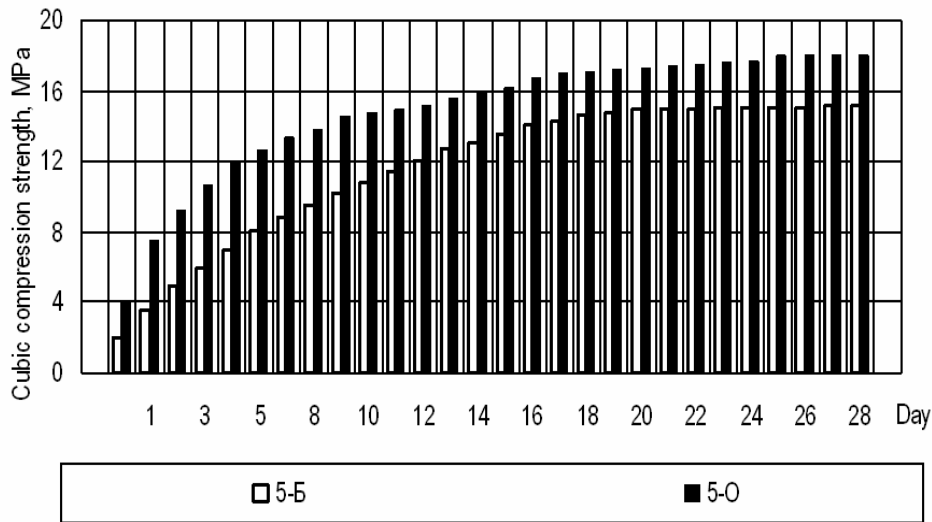


Fig. 2. Dependence of the samples strength on time, 5 – experimental series number. Series «Б» – samples prepared by classical technology using ordinary water. Series "O" – samples prepared with magnetic water. Б-5, W/C = 0,71 (slag Portland cement), CL2 installation mode

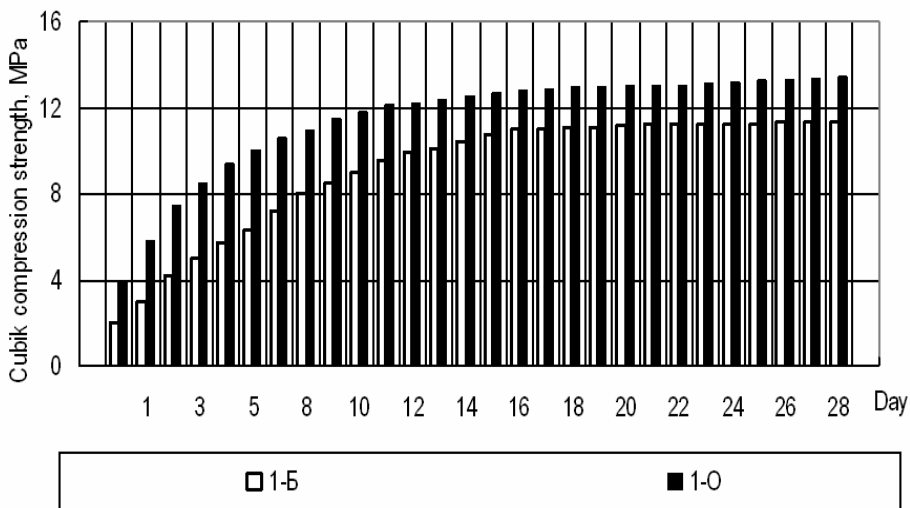


Fig. 3. Dependence of the samples strength on time, 1 – experimental series number. Series «Б» – samples prepared by classical technology using ordinary water. Series "O" – samples prepared with magnetic water. 1–O, W/C = 0,72; CL2 installation mode

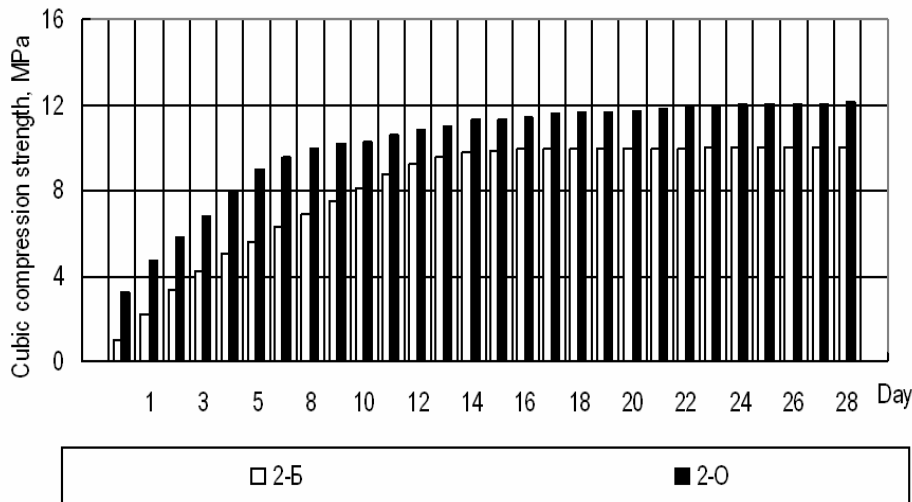


Fig. 4. Dependence of the samples strength on time, 2 – experimental series number. Series «Б» – samples prepared by classical technology using ordinary water. Series "O" – samples prepared with magnetic water. 2–Б, W/C = 0.61 (15% from the proposed formulation), CL2 installation mode

Note: The figures were taken directly from the surface of the core.

Samples prepared in the form of cubes, with a working section 70×70 have been made in batches (with or without steaming up to 28 days). The steaming chamber ($t = 80\text{ }^{\circ}\text{C} = 6\text{ h}$) has been used for steaming.

The results of these studies are shown in (Figs. 2 – 4). The determination of the samples compression breaking strength was performed according to current standards.

On the 7th day the strength of the samples prepared with the magnetic water is 17...42% more than the strength [12] of samples prepared with ordinary water. On the 7...11th day samples prepared with the magnetic water gain the same strength as the samples with ordinary water on the 28th day. On the 28th day the strength of the samples prepared with magnetic water is 9...15% more than that of the samples prepared with plain water.

CONCLUSIONS

Our studies confirm the practicability of the magnetic water use as an activator in the production of construction materials, which

will let use energy-efficient nanotechnologies in the production. This requires a deep study of complex physical and chemical systems, which is scheduled by the author in the following series of experiments.

The use of water treated with high-frequency electromagnetic fields obtained from devices "I" lets reduce energy and ecological consumption during heat treatment of concrete (steaming) [10].

To receive detailed experimental data on the magnetic field of the device "II" is a subject for further study: with the purpose to warn potentially adverse environmental and economic consequences it is recommended to use the latest advanced technologies (plasticizers et al.), activated (magnetic) water in the concrete and reinforced concrete production.

REFERENCES

1. **Minenko V.I., 1970.** Magnetic treatment of water-dispersed systems. Technika, 168.
2. **Klassen, V.I., 1973.** Water and magnet. Moscow, Publishing House Nauka, 112.
3. **Stukalov P.S., Vasiliev E.V., Glebov N.A., 1969.** Magnetic water treatment, Leningrad: Publishing House Sudostroitelstvo, 192.

4. **Tebnihin E.F., Gusev V.T. 1970.** Water treatment by the magnetic field in heat engineering, M., Energy, 144.
5. **Davidzon, M.I., 1988.** Electromagnetic treatment of water systems in textile industry, Moscow: Legprombytizdat, 178.
6. **Pomadkin V.A., 1998.** On the use of magnetic water for concrete mixtures concrete and reinforced concrete, 3, 26-27.
7. **Dorfman Y.G., 1955.** Magnetic properties and structure of matter, M., State publishing house of technical literature, 377.
8. **Frankel Y.I., 1966.** Kinetic theory of liquids. Moscow – Leningrad: Pub. USSR Academy of Sciences, 409.
9. **Zhuravska N.E., 2014.** The use of magnetic water in capillary-porous material. Mistobuduvannya that teritorialne planuvannya: Nauk.-tehn. zbirnik. Vidpov. Ed. M. M.Osetrin. - K., KNUBA, Vol. 53, 167-172.
10. **Zhuravska N.E., 2014.** The question of biodegradation of concrete and reinforced concrete. Resource saving materials, structures, buildings and structures. Collection Of Scientific Works, Vol. 28. Rivne, NUVGP. 181-187.
11. **Novitskiy A.V., Banniyy O.M., 2011.** Analiz nadiynosti zasobiv dlya prigotuvannya i rozdavannya kormiv metodoi dereva vidmov. Motrol. Motoryzacja i energetika rolnictwa. Vol. 13B, Lublin, 117-124.
12. **Malkyn E.S., Furtat I.E., Zhuravskaya N.E., Usachyov V.P. 2014.** Prospects or Resource Saving Technologies Through Magnetic Treatment of Water And Aqueous Solutions. Ventilation, Lighting And Heat, NTRP. - Ed.17. K, KNUBA, 120-127.
13. **Pezański F., 2011.** Innowacyjna technologia produkcji bentonitu odlewniczego z wykorzystaniem wyselekcjonowanych frakcji powstających przy wytwarzaniu sorbentów. Motrol. Motorization and power industry in agriculture. Vol 13. Lublin. 269-280.
14. **Middendorf B. Singh N.B., 2007.** Research and technology of cement and materials based on it at the nanoscale. Building Materials, No 1, 50-51.
15. **Punagin V., 2013.** Study of structural stresses in the monolithic concrete of natural hardening. ТЕКА: Ком. Mot. Energ. Roln., OL PAN, Vol. 13, No 4, 201-207.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОДЫ, ОБРАБОТАННОЙ В МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Nataliya Zhuravska, Eduard Malkin

Kyiv national university of construction and architecture

Povitroflotskyy prosp., 31, Kyiv, Ukraine, 03680, e-mail: nzhur@ua.fm

Аннотация. Выполнен анализ существующих гипотез структуры воды и влияния магнитного поля на изменение ее структуры. Сформулированы гипотезы о целесообразности применения высокочастотных электромагнитных полей для усиления их влияния на изменение структуры воды и устойчивость этого процесса. Проведены экспериментальные исследования с использованием воды, обработанной в высокочастотных электромагнитных полях для производства экобетона.

Ключевые слова: омагниченная вода, плотность поля, частота волнового движения, время обработки воды в области.

Інформація

Автори публікацій

- Юрій Баранов** – кандидат технічних наук, доцент кафедри машин і обладнання технологічних процесів Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ
- Олександр Безверхий** – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач відділу електропружності Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, Київ
- Катерина Бондар** – кандидат технічних наук, асистент кафедри будівельних матеріалів Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ
- Андрій Бондаренко** – доктор технічних наук, професор кафедри гірничих машин та інжинірингу ДВНЗ Національний гірничий університет, Дніпропетровськ
- Валерій Гавриленко** – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних систем і технологій Національного транспортного університету, Київ
- Махді Гараханлоу** – аспірант кафедри основ і фундаментів Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ
- Лев Гембарський** – кандидат технічних наук, директор Науково-дослідного інституту підземного і спеціального будівництва, Київ
- Володимир Гришин** – доктор технічних наук, професор Одеського національного морського університету, Одеса
- Наталья Журавская** – асистент кафедри охорони праці і навколишнього середовища Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ
- Оксана Ковальчук** – аспірант кафедри інформаційних систем і технологій Національного транспортного університету, Київ
- Вікторія Корнієнко** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, Київ
- Ігор Космінський** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри машин і обладнання технологічних процесів Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ
- Петро Куліков** – доктор технічних наук, професор, ректор Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ
- Олег Лимарченко** – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри суцільних середовищ Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, Київ
- Едуард Малкін** – доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник Інституту технічної теплофізики НАН України, Київ
- Микита Мельниченко** – студент Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ
- Мирон Назарян** – кандидат технічних наук, професор, проректор Харківського інституту управління, Харків
- Едуард Петренко** – кандидат технічних наук, доцент кафедри основ і фундаментів Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ
- Сергій Половка** – Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини
- Катерина Пушкарьова** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри будівельних матеріалів Київського національного університету будівництва і архітектури,

Володимир Снісаренко – доктор технічних наук, професор, заступник директора Науково-дослідного інституту підземного і спеціального будівництва, Київ

Юрій Стельмахов – кандидат технічних наук, Міжнародна неурядова гуманітарно-екологічна організація «Інтер-Чорнобиль», Харків

Михайло Сукач – доктор технічних наук, професор, професор кафедри будівельних машин Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ

Марина Суханевич – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельних матеріалів Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ

Всеволод Франчук – доктор технічних наук, професор, професор кафедри гірничих машин та інжинірингу ДВНЗ Національний гірничий університет, Дніпропетровськ

Індексування видання

Журнал «Підводні технології» подано до наукометричних баз:

"Ulrichs web" – <http://ulrichsweb.serialssolutions.com>

"Index Copernicus" – www.journals.indexcopernicus.com

"Research Bible" – <http://journalseeker.researchbib.com>

"Web ИРБИС" – <http://irbis-nbuv.gov.ua>

"Get CITE" – <http://waww.getcited.org>

"JOUR Info" – <http://jourinfo.com>

"The Global Impact Factor" – <http://globalimpactfactor.com>

"Scientific Indexing Services" – <http://www.sindexs.org>

"Google academy" – <http://scholar.google.com.ua/citations?user=2-FASc4AAAAJ&hl=uk>

Про журнал

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

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

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

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

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

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

Вимоги до статей

Загальні правила:

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

Структурування:

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

Оформлення:

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

Науково-виробниче видання

ПІДВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

ПРОМИСЛОВА ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

Випуск 02/2015

Статті публікуються в авторській редакції

- ▶ Оформлення, стиль та зміст журналу є об'єктом авторського права і захищається законом
- ▶ Відповідальність за зміст та достовірність наведених даних несуть автори публікацій
- ▶ Редакція залишає за собою право редагувати та скорочувати подані матеріали
- ▶ Усі статті одержали позитивну оцінку незалежних рецензентів
- ▶ Передрук розміщених у журналі матеріалів дозволяється тільки за письмовою згодою редакції

Рецензенти статей

Ігор Безверхий
Володимир Блінцов
Ігор Бойко
Олександр Будя
Віктор Гончар
Микола Жук
Володимир Надутий
Іван Назаренко
Геннадій Тонкачєєв
Леонід Шейнич

Оригінал-макет виготовлено в редакції журналу «Підводні технології»

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

Адреса редакції

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

Надруковано

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