



ІНСТИТУТ ГІДРОМЕХАНІКИ НАН УКРАЇНИ

перше сторіччя



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ГІДРОМЕХАНІКИ

ІНСТИТУТ ГІДРОМЕХАНІКИ НАН УКРАЇНИ

перше сторіччя

Ювілейне видання

Київ
2026

УДК 532(091)(477)

*Відповідальний редактор
член-кореспондент НАН України Г. О. Воропаєв*

Інститут гідромеханіки НАН України: перше сторіччя. – Київ: Ін-т гідромеханіки НАН України, 2026. – 308 с.

Книгу присвячено сторічному ювілею Інституту гідромеханіки НАН України, який припадає на 2026 рік. У ній викладено історію створення, становлення й розвитку інституту, відзначено видатних науковців, які стояли на його чолі в різні періоди існування. Найвизначніші наукові здобутки колективу представлено через призму особистих внесків співробітників, причетних до роботи в нашій установі. Автори книги ведуть відверту розмову з читачем про нинішні труднощі й перспективи флагмана української гідромеханіки. Текст розбито на розділи, які відповідають актуальній адміністративній структурі інституту. Книгу адресовано всім, хто цікавиться історією вітчизняної науки.

Рекомендовано до друку Вченою радою
Інституту гідромеханіки
НАН України

ISBN 978-617-14-0532-5

© Інститут гідромеханіки НАН України, 2026
© В. Н. Олійник (дизайн і комп'ютерна верстка), 2026
© Silas Baisch (світлина на першій сторінці обкладинки), 2019

КОРОТКИЙ ІСТОРИЧНИЙ НАРИС

Цьогоріч Інститут гідромеханіки НАН України відзначає знаменну для свого життя дату – 100-річчя від дня заснування. За цей довгий період неодноразово змінювались його назва та структура. Ці трансформації відповідали зміні акцентів і розширенню кола наукових проблем, які ставилися перед Інститутом відповідно до вимог часу, потреб країни, необхідності реагувати на актуальні виклики міжнародного та внутрішнього життя.

Нашій науковій установі судилося стати вітчизняним лідером фундаментальних і прикладних досліджень у галузі гідромеханіки, гідротехніки та гідрології. Роботи, які проводяться в Інституті, зорієнтовані на задоволення важливих потреб різних сфер економіки. Серед них слід відзначити забезпечення ефективного використання водних ресурсів в народному господарстві України; підвищення ефективності паливно-енергетичного комплексу; розробку нових методів аналізу та керування гідродинамічними процесами з метою створення нових технологій в екології, медицині, видобутку корисних копалин; розробку та вдосконалення нових зразків водного транспорту й підвищення ефективності їх використання; вироблення наукових основ для запобігання екологічних катастроф, пов'язаних із зсувом схилів, розмивом берегів водних басейнів та ефективного використання шельфової зони.

Найперша назва нашої установи – Науково-дослідний інститут водного господарства України. Організаційною структурою, яка стала його предтечею була кафедра гідрології при Київському політехнічному інституті, створена в 1922 році академіком Євгеном Володимировичем Оппоковим – видатним ученим із величезним досвідом роботи щодо вивчення гідрології річок України та Білорусії. Точну дату створення Інституту визначити доволі складно, оскільки різні форми його діяльності починались у різний час. Як свідчить текст постанови Ради народних комісарів УРСР, перший штатний розклад установи було затверджено 30 квітня 1926 року, однак з уведенням його в дію, починаючи з 1 жовтня 1925 року.

На засіданні Президії Укрнауки 12 грудня 1925 року було затверджено програму роботи Інституту, а професор Є.В.Оппоків став його директором. У звіті про діяльність Інституту за 1926 рік він вказав, що Науково-дослідний інститут водного господарства

засновано 1 квітня 1926 року, а наукову роботу в ньому розпочато з 1 травня 1926 року силами самого директора і частково його заступника інженера С.Писарева. Фактично повнокровна діяльність установи стартувала з 1 червня 1926 року, коли її було укомплектовано особовим складом, почалася оплата праці співробітників і фінансування досліджень.



Будівля, в якій розміщувався інститут з моменту його створення

Відповідно до постанови Раднаркому, в складі Інституту передбачалося створення трьох відділів – гідрології, меліорації та водної енергії. На початковому етапі активна наукова робота велась у відділах гідрології (керівник проф. Є.В.Оппоков) і у відділі водної енергії (керівник проф. С.П.Штернберг). Дослідницьку роботу у відділі меліорації (керівник проф. Ю.В.Ланге) було почато в 1928 році. Тоді ж в Інституті був створений новий відділ гідробіології (керівник проф. Д.Є.Белінг).

На початковому етапі Науково-дослідний інститут водного господарства розміщувався в декількох приміщеннях будинку №45-а по вулиці Січових стрільців, яка з 1925 по 1929 рік носила ім'я Троцького, а пізніше – Артема. Неподалік, у будинку №87, мешкав сам проф. Оппоков. Вибір цієї локації був не випадковим, адже на території цієї історичної «синьої садиби» знаходився найбільший на той час риборозплідник в Україні, заснований на початку ХХ ст. Л.А.Шелюжком.

Невеликий, за нинішніми мірками, штат Інституту передбачав його координуючу роль у дослідженнях у галузі водного господарства. Тому, окрім штатних працівників, до його роботи активно залучалися вчені з вишів України. У цей період з Інститутом співробітничали професори П.А.Двойченко, А.В.Красовський, М.Г.Малішевський, М.В.Терпугов, Д.О.Свиренко, які працювали в різних дослідницьких лабораторіях України. Інститут встановив зв'язки зі спорідненими науковими установами РРФСР, Німеччини, США та інших країн. До 10-річчя Жовтневої революції вийшов перший том праць його співробітників «Вісті Науково-дослідного інституту водного господарства України». Наприкінці 1920-их рр. було розпочато дослідження, пов'язані з будівництвом ДніпроГЕСу, а також з науковим обґрунтуванням водогосподарських розділів проєктів будівни-

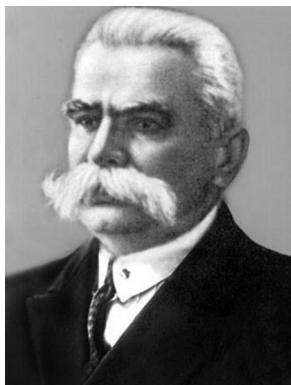
цтва багатьох промислових об'єктів і залізничних шляхів на Донбасі та Придніпров'ї.

З моменту створення Інститут перебував у віданні Наркомпросу УРСР, а в 1930 році було прийнято рішення про його передачу у відання Водного комітету при РНК УРСР. Це дозволило значно розширити штати та лабораторну базу. У ці роки під керівництвом Є.В.Оппокова сформувався колектив гідрологів (В.М.Мялковський, В.О.Назаров, А.В.Огієвський, О.М.Сотченко та ін.), які були здатні вирішувати складні наукові задачі, які висувалися практикою соціалістичного будівництва в тодішній Україні. Створена при Інституті служба гідрологічних сповіщень (керівник А.В.Огієвський) стала першим вітчизняним науковим центром, де розроблялись методики коротко- і довгострокових гідрологічних прогнозів щодо умов Дніпра. А.В.Огієвський запропонував методику розрахунку весняних паводків, що сприяло безаварійному їх пропуску в зоні Дніпробуду. Це було особливо важливо у випадку з екстремально високим рівнем паводку 1931 року.

У 1934 році було прийнято рішення про передачу Інституту до складу Академії наук УРСР. Перехід в академичну систему вимагав від наукових кадрів нового підходу до розв'язання поставлених науково-дослідних задач. Вже до десятиріччя свого створення (1936 рік) Інститут став авторитетним у СРСР і за кордоном науковим центром зі сформованим загальноновизнаним колективом і розвинутою експериментальною базою. Велике значення для становлення Інституту мала організаційна діяльність академіка Є.В.Оппокова. Її важливу рису відзначив В.М.Засс., Допитаний як свідок у КДБ у ході посмертної реабілітації Є.В.Оппокова (див. нижче), він засвідчив, що Оппоков «своїх заступників і начальників відділів вибирав серед видатних спеціалістів, які могли просунути справу, і їхній роботі не перешкоджав».

Наукові результати співробітників Інституту широко публікувались у фахових виданнях. Практичні рекомендації вчених стали основою для важливих державних рішень у галузі гідрології та меліорації земель України. Результати наукової роботи широко використовувались при підготовці кадрів. Багато співробітників Інституту читали лекції студентам різних вишів Києва. Особливо помітною подією став вихід узагальнюючої монографії професора А.В.Огієвського «Гідрологія суші (загальна й інженерна)» (1936 рік, рос. мовою). Довгий час вона використовувалась як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів СРСР.

З приходом 1937 року в житті Інституту почалися складні часи. У відповідності до рішення Президії Академії наук, на початку року передбачалося провести святкування сорокаріччя творчої діяльності академіка Є.В.Оппокова, однак на той час навколо нього та очолюваного ним Інституту почали збиратися хмари. 15 жовтня 1937 року Є.В.Оппокова було заарештовано за абсурдною підозрою в контрреволюційних монархічних настроях і шпигунській діяльності на користь Німеччини й Польщі. На першому допиті проф. Оппоков повністю заперечував пред'явлені безглузді звинувачення, однак в подальшому під тиском слідчого був вимушений визнати їх, доповнивши іншими вигаданими «провинами». Вже на початку листопада вченого було засуджено до найвищої міри покарання, а 11 листопада 1937 року вирок було виконано.



Євген Володимирович Оппоків народився в 1869 році на Білоцерківщині, в с. Руде Село. Закінчив з золотою медаллю третю Київську гімназію. Після року навчання на фізико-математичному факультеті Київського університету продовжив навчання в Петербурзькому технологічному інституті, який закінчив у 1892 році. У 1890-х роках працював у галузі гідрології в Чернігівській, Полтавській, Курській, Мінській губерніях. На основі проведених досліджень Є.В.Оппоків опублікував ряд важливих узагальнюючих праць, які визначили подальше планування та здійснення робіт, насамперед на Поліссі. Протягом 1913–1918 рр.

Є.В.Оппоків був редактором відділу гідротехніки в Технічній енциклопедії товариства «Просвещение» в Петербурзі.

В 1917 році був обраний професором кафедри гідротехніки Київського політехнічного інституту, а в 1918 році захистив дисертацію на тему «Режим річкового стоку в басейнах Дніпра». Протягом 1922–1926 рр. – керівник кафедри гідрології в Києві, в 1926–1937 рр. – директор Науково-дослідного інституту водного господарства України, створеного на базі кафедри гідрології. У 1929 році обраний академіком ВУАН. Також був дійсним членом академії сільськогосподарських наук – ВАСГНІЛ. у 1937 році заарештований за підозрою в шпигунській діяльності на користь Німеччини та Польщі. Розстріляний 11 листопада 1937 року.

Є.В.Оппоків – автор понад 300 наукових робіт, у яких вирішено багато проблем, пов'язаних з вивченням стоку Дніпра, водопостачанням Донбасу, ефективним використанням води в промисловості та сільському господарстві.

Арешт і розстріл директора суттєво позначилися на долі Інституту. Наприкінці 1937 року було здійснено упереджену перевірку наукової та науково-організаційної діяльності установи, а на адресу її керівників висунуто серйозні обвинувачення. Поряд із формальними зачіпками, їм інкримінували недостатню роботу щодо перебудови діяльності. Зокрема, в акті перевірки констатувалося: «Тематичні плани інституту відрізняються великою кількістю вузьких та дрібних тем, що призвело до відриву від вирішення великих і актуальних задач, які висувалися соціалістичною практикою. Такі проблеми як водопостачання Донбасу, обводнення півдня України, водопостачання колгоспів та МТС тощо відкидалися колишнім керівництвом інституту, що рівносильно шкідництву».

Природно, що після такої перевірки роботу Інституту було фактично паралізовано. Протягом майже двох років після арешту Є.В.Оппокова він залишався без наукового керівника, директором аж до вересня 1939 року був Н.М.Уласович, який до цього виконував обов'язки заступника директора з по адміністративно-господарській частині. До його честі слід зазначити, що Н.М.Уласович не брав участі в кампанії з шельмування Є.В.Оппокова, за що сам отримав осуд в акті перевірки діяльності Інституту. Наприкінці 1939

року на короткий термін директором Інституту був назначений соратник Є.В.Оппокова визначний учений-гідролог А.В.Огієвський. Однак його ім'я також фігурувало в протоколах допитів Є.В.Оппокова у ролі буцімто співника в шпигунській діяльності директора. Незабаром проф. А.В.Огієвський також був арештований і вийшов на волю аж у 1944 році.

Анатолій Володимирович Огієвський народився 31 серпня 1894 року в м. Стародуб на Чернігівщині в дворянській родині. У 1913 році закінчив із золотою медаллю гімназію в Мінську. Цього ж року почав навчання в Психоневрологічному інституті в Петербурзі, однак через рік перейшов до Петербурзького політехнічного інституту. У 1914 році перевівся у Військово-інженерне училище, а через дев'ять місяців у чині прапорщика інженерних військ, був відправлений на фронт. Освіту завершив вже в Київському політехнічному інституті в 1922 році. Навчався в аспірантурі під керівництвом професора Є.В.Оппокова, а після її закінчення працював у різних відомствах. У 1928–1932 рр. завідував службою гідрологічного сповіщення на будівництві ДніпроГЕСу. З 1933 року був завідувачем відділом гідрології Інституту водного господарства та заступником директора інституту з наукової роботи. В 1941–1943 роках був репресований. З 1944 року продовжував роботу в Київському інженерно-меліоративному інституті та в Київській науково-дослідній гідрологічній обсерваторії.



Наукова спадщина професора А.В.Огієвського – значний внесок у розвиток гідрології. Особливе значення мали його роботи щодо створення ефективної методики гідрологічних прогнозів, яка масово застосовувалась при реалізації великих гідротехнічних проєктів на всій території СРСР. У них були сформульовані принципово нові підходи до організації гідрометричних вимірювань. Узагальнені у монографії, результати його досліджень використовувалися при навчанні студентів у багатьох вишах країни.

В 1938 році Інститут водного господарства АН УРСР після суттєвих кадрових змін було перейменовано в Інститут гідрології АН УРСР, що пов'язувалося з певним розширенням тематики дослідницької роботи. До складу реформованого Інституту ввійшли два нових наукових відділи – річкового стоку (керівник проф. А.В.Огієвський) та рікової гідравліки (керівник проф. Г.Й.Сухомел). На додачу, наприкінці 1940 року було створено відділ рікової гідротехніки (керівник проф. М.В.Терпугов).

У 1940 році директором Інституту було призначено Г.Й.Сухомела, на той час члена-кореспондента АН УРСР. У цей період значно розширилися дослідження закономірностей річкового стоку: було вивчено режим стоку верхнього та середнього Дніпра, визначено найголовніші фактори річного й помісячного стоків Дніпра біля Києва (А.В.Огієв-

ський), норми витрат на випаровування з водної поверхні в басейні Дніпра (О.М.Сотченко, В.М.Мялковський), досліджено середній багаторічний стік, коефіцієнти стоку та їх розподіл по території УРСР (В.О.Назаров). Важливими результатами наукової роботи стали створені співробітниками основи теорії неусталеного руху у відкритих руслах, теорія розрахунку руху води з критичними глибинами у відкритих потоках, місцеві втрати гідравлічної енергії (Г.Й.Сухомел). Також було досліджено ефективність різноманітних типів берегозахисних та випрямних споруд, розроблено рекомендації щодо їх будівництва споруд на річках басейну Дніпра з метою зниження заносності русла на перекатах та зменшення розмиву берегів на криволінійних ділянках річки (М.В.Терпугов).



Георгій Йосипович Сухомел – видатний учений у галузі гідравліки та гідромеханіки, доктор технічних наук (1949 рік), професор (1939 рік), академік АН УРСР (1951 рік, член-кореспондент з 1939 року), лауреат Державної премії СРСР в галузі науки і техніки (1951 рік), заслужений діяч науки і техніки УРСР (1957 рік), нагороджений орденами та медалями.

Народився 11 вересня 1888 року на хуторі Голендри (нині с. Миколаївка Козятинського району Вінницької області) в родині волинських чехів. Навчався в місцевій двокласній церковно-парафіяльній школі, в реальному училищі м. Києва. У 1913 р. закінчив Київський політехнічний інститут, де займався на механічному факультеті, отримавши звання інженера-технолога. З 1914 по 1948 рік викладав у цьому ж інституті: з 1927 року – професор, з 1936 року – завідувач кафедри, у 1923–1927 рр. – декан механічного факультету. Одночасно з 1916 року викладав у Київському гідромеліоративному інституті: з 1927 року – професор (викладав на посаді), завідувач кафедри. З 1927 року – науковий співробітник, а у 1940–1958 рр. – директор Інституту гідрології і гідротехніки АН УРСР (нині Інститут гідромеханіки НАН України). У передвоєнні роки заснував у м. Києві першу гідравлічну лабораторію. У 1936 році йому присуджено вчену ступінь кандидата технічних наук без захисту дисертації за рішенням Президії НАН України.

Г.Й.Сухомелом розроблені основи теорії неусталеного руху у відкритих руслах, досліджено питання теорії та розрахунку руху газів у печах, розглянуто питання руху води з критичними глибинами у відкритих потоках, місцевих втрат гідравлічної енергії. Він розробив теорію рівномірного руху рідини з вільною поверхнею у відкритих водотоках, експериментально встановив і теоретично довів можливість двох форм руху води у відкритих руслах і гідротехнічних спорудах, вивчав рух суден у річках і каналах. Результати цих досліджень стали підставою для вироблення рекомендацій щодо безпечного плавання у відкритих фарватерах.

Г.Й.Сухомел створив гідравлічні лабораторії в Київському політехнічному та Київському гідромеліоративному інститутах та комплекс

гідравліко-гідротехнічних лабораторій, призначених для досліджень гідротехнічних споруд і судів в Інституті гідрології і гідротехніки АН УРСР.

Автор 80 робіт і підручників для вищої школи. Під його керівництвом підготовлено 16 кандидатів та докторів наук.

Улітку 1941 року початок німецько-фашистського вторгнення на декілька років перервав діяльність Інституту як самостійної науково-дослідницької установи, частину співробітників якого було мобілізовано на фронт. Лише невелика група науковців та інженерів увійшла до складу Інституту будівельної механіки АН УРСР, евакуйованого до м. Уфа (Башкирська АРСР). Їх було об'єднано у новосформований відділ гідротехнічних споруд, який очолив член-кор. АН УРСР Г.Й.Сухомел.

Результати досліджень, проведених в евакуації співробітниками відділу гідротехнічних споруд, було використано при проектуванні наплавних і понтонних мостів, покращенні судноплавства по річці Нижній Білій, забезпеченні невеликими гідроенергетичними установками промислових об'єктів, розробці рекомендацій з ліквідації прориву дамби та греблі Давлеканівського мілзаводу, боротьби з замором риби у водоймах та розв'язанні інших практичних задач. У 1943 році за наукові роботи, впроваджені в народне господарство у воєнний період, Г.Й.Сухомел отримав почесну грамоту Верховної Ради Башкирської АРСР.

17 червня 1944 року загідно з постановою Ради Народних Комісарів УРСР наш Інститут відновив свою діяльність – уже як Інститут гідрології та гідротехніки АН УРСР. Його директором залишився проф. Г.Й.Сухомел (з 1951 року – академік АН УРСР). Відновлення зруйнованих за роки війни гідротехнічних споруд, будівництва нових водогосподарських і гідроенергетичних об'єктів в Україні потребувало розв'язання складних задач у галузях гідродинаміки, гідрології та гідротехніки. Результати гідрологічних досліджень основних закономірностей процесів поверхневого стоку в річкових басейнах, які проводились під керівництвом професора А.В.Огієвського, узагальнено в роботі «Гідрологічні розрахунки для річок УРСР (за відсутності спостережень)». У ній було визначено гідрологічні характеристики та дано розрахункові гідрологічні нормативи для річок на всій території УРСР, окрім Криму та Закарпатської області. У 1962 році вийшло друге видання цієї монографії з включенням розрахунків для річок цих двох регіонів. За своїм змістом та широтою охоплення гідрологічних проблем ця праця на той час не мала аналогів у світовій науці. Вона зберігає свою прикладну значущість і понині.

До 1948 року в Інституті сформувався новий науковий напрямок – динаміка берегів водосховищ і морів. Під керівництвом проф. Б.А.Пишкіна, який у 1951 році став членом-кореспондентом АН УРСР, було досліджено дії вітрових та суднових хвиль на стійкість закріплених і незакріплених укосів, взаємодію хвиль з гідротехнічними спорудами та берегами, розроблено методику розрахунку кріплення напірного укосу земляної греблі, дано рекомендації щодо розрахунку кріплення укосів каналів на суднову хвилю. Запропонована Б.А.Пишкіним концепція цілеспрямованого створення штучного положого піщаного укосу як нового типу надійної берегозахисної споруди отримала широке поширення при розробці заходів щодо захисту берегів каналів та водосховищ.



Борис Андрійович Пишкін – відомий вчений-гідротехнік, гідролог, доктор технічних наук (1943 рік), професор (1946 рік), член-кореспондент АН України (1951 рік).

Народився 3 вересня 1893 року в Казані. У 1924 році закінчив Московську сільськогосподарську академію імені К.А.Тимірязєва зі спеціальності «гідротехнік». Працював у водогосподарських установах Середньої Азії (1925–1929 рр.), науково-дослідних установах і вузах Закавказзя й Омська (1929–1937 рр.). Завідував кафедрою в Омському сільськогосподарському університеті. У 1937–1941 рр. – професор Київського гідромеліоративного інституту. Учасник Великої Вітчизняної війни, головний метеоролог при штабі генерала Родінцева під час Сталінградської битви. У 1945–1948 рр. працював у секції водогосподарських проблем АН України. У 1962–1967 рр. у Київському державному університеті ім. Т.Г.Шевченка був завідувачем кафедри гідрології суші (нині гідрології та гідроекології) географічного факультету. Водночас завідував відділом в Інституті гідрології і гідротехніки АН України.

Основні його праці стосуються питань динаміки берегів водойм, зокрема теорії вітрових хвиль у прибережній зоні, впливу хвиль на гідротехнічні споруди та береги, розробки методів захисту берегів від розмивання і затоплення, а також циркуляції двофазних потоків у трубопроводах і ріках. Він розробив методи захисту берегів від затоплювання та розмивання, а також захисту водозаборів і портів від замулювання та занесення.

Одним з відомих наукових досягнень Б.А.Пишкіна в галузі берегової гідротехніки було проголошення ідеї штучного піщаного пляжу та публікація у 1949 році першої в світі фізико-математичної моделі штучного піщаного пляжу – берегозахисної споруди нового типу. Інженерний метод розрахунку конструкції штучного піщаного пляжу був впроваджений у практику інженерного захисту берегів водойм від абразії (руйнування корінних тіл берегів водойм під дією хвильового потоку) в Україні та за її межами. Під керівництвом Б.А.Пишкіна проводились лабораторні та натурні дослідження, з метою уточнення значень безрозмірного коефіцієнта й показників ступеня фізичних компонентів у формулі математичної моделі штучного піщаного пляжу.

У 1955–1956 рр. під безпосереднім керівництвом і авторським наглядом Б.А.Пишкіна Укргіпродгоспом розроблено проєкт берегозахисного комплексу м. Нікополя, в якому у вигляді фрагменту запроєктовано штучний піщаний пляж довжиною у 3 км. Це був інженерний проєкт першої у світі берегозахисної споруди нового типу, тіло якої зведено з широко розповсюдженого природного будівельного матеріалу – піску русла Дніпра. Роботи по наміву тіла штучного піщаного пляжу виконувались протягом 1956–1957 рр. засобами гідромеханізації Службою захисних споруд на Каховському водосховищі.

Б.А.Пишкін був членом Берегової секції Океанографічної комісії АН СРСР, Комісії з хвильового впливу на гідротехнічні споруди при Раді з проблем водного господарства АН СРСР. та є автором близько 240 наукових праць, включаючи 20 монографій.

У практиці гідротехнічного та дорожнього будівництва значну кількість водопропускних споруд на каналах та ставках, а також в дорожніх водопропускних створах зводять за схемою водозливу з широким порогом, гідравлічний розрахунок якого в той час потребував удосконалення. Виходячи з цього, в Інституті було розроблено новий теоретичний метод визначення (з урахуванням викривлення струмин) пропускної здібності та форм вільної поверхні води при русі через водопропускні створи, які працюють за такою схемою (Г.Й.Сухомел, В.В.Смислов і ін.). Результати досліджень забезпечили достатню точність гідравлічного розрахунку згаданих споруд. Розроблені в Інституті методи розрахунку водозливних гребель мали значний вплив на технологію будівництва малих гідроелектростанцій у післявоєнні роки.

Важливе практичне значення мало дослідження динамічних процесів у каналах і водопропускних спорудах. Методичні теоретичні розробки суттєво підкріплювалися великим обсягом натурних даних щодо опору руху води у великих земляних каналах. У рамках вивчення динаміки потоку на повороті відкритого русла було запропоновано методи розрахунку поперечної циркуляції в широких руслах з гладким та шорстким дном, способи розрахунку розвитку та затухання циркуляції. Знайдено розподіли поздовжніх складових швидкості на повороті русла й за ним, величини нерозмиваючих швидкостей на заокругленні каналів, загальні закономірності формування русла на криволінійних ділянках річок і каналів (І.Л.Розовський). На основі отриманих результатів було запропоновано нову шкалу коефіцієнтів шорсткості (М.М.Дідковський, І.А.Родіонов). Запропоновані вченими Інституту рекомендації були враховані при розробці нових технічних умов і норм проектування земляних каналів.

Практичні потреби розвитку народного господарства країни в післявоєнні роки стимулювали формування в Інституті нових наукових напрямів і подальший розвиток його експериментальної бази протягом 1950-их рр. Так, інтенсифікація використання водних магістралей України для перевезення вантажів вимагала більш глибокого розуміння закономірностей взаємодії рухомих суден з берегами та дном в умовах обмеженого фарватеру. Узагальнення розрахункових даних та експериментальних спостережень дозволило розробити способи розрахунку динамічної посадки суден, критичних швидкостей і опору при їх русі по мілководним ділянкам річок та морів (Г.Й.Сухомел, В. М. Засс, Л. І. Янковський). Складені на основі таких методик практичні вимоги до режиму руху суден зберігають актуальність до теперішнього часу та широко застосовуються на суднах річкового флоту України.

Розробка нових технологій в гірничодобувній промисловості України та гідротехнічному будівництві стимулювала розвиток в Інституті наукового напрямку, пов'язаного з вивченням характеристик багатофазних (рідина – тверді частинки) потоків і способів керування ними. Очолив роботи по цьому напрямку М.А.Силін. Проблема полягала в тому,

щоб дослідити можливості транспортування на великі відстані твердих частинок з щільністю, яка перевищує щільність рідини. На початковому етапі були вивчені режими роботи землесосних снарядів, визначені параметри руху водоґрунтової суміші в напірних трубопроводах (М.А.Силін, С.Г.Коберник), проведені натурні дослідження гідравлічного опору при напірному гідротранспортуванні вугілля (М.А.Силін, І.О.Асауленко).

Протягом 1956 року було завершено будівництво триповерхового адміністративного корпусу, розпочате ще в 1952 році. Відтепер Інститут отримав постійну прописку в будинку №8/4 по вул. Желябова (нині Марії Капніст).

У 1958 році Інститут очолив кандидат технічних наук М.М.Дідковський – видатний учений-гідротехнік. Його прихід значною мірою сприяв розширенню тематики досліджень та створенню бази для майбутнього перетворення Інституту на Інститут гідромеханіки. У той час розпочався активний розвиток досліджень у галузі гідромеханіки судна, які очолив член кореспондент АН УРСР Г.Є.Павленко (з 1961 року – академік УРСР). Було розроблено теорію та методи побудови спрощених форм суднових поверхонь, які забезпечували високу гідродинамічну якість і були найбільш вигідними з технологічного та конструктивного поглядів.



Михайло Мефодійович Дідковський – фахівець у галузі гідравліки, гідротехніки та гідроенергетики. Народився в 1903 році в с. Вовчків (до 2020 року Поліський район Київської області). У 1929 році закінчив гідротехнічний факультет Київського інженерно-меліоративного інституту. В 1936–1941 рр. – науковий співробітник Інституту гідрології АН УРСР. Учасник Великої Вітчизняної війни, нагороджений орденами та медалями. В 1946–1958 рр. – учений секретар, завідувач лабораторією Інституту гідрології та гідротехніки АН УРСР. У 1958–1965 рр. – директор Інституту гідрології та гідротехніки АН УРСР (з 1963 року – Інституту гідромеханіки). Організаційна діяльність М.М.Дідковського суттєво сприяла розширенню тематики інституту, проведення в ньому досліджень за різними напрямками гідромеханіки, зокрема, теорії турбулентних течій. Це заклало основу для перетворення установи на Інститут гідромеханіки.

Наукову діяльність М.М.Дідковського було спрямовано на розробку наукових основ гідравлічного розрахунку водопропускних, головних і регулюючих споруд на каналах та греблях. Під його керівництвом проводились дослідження з гідравліки та турбулентності потоків у відкритих руслах, вивчались закономірності розвитку гідродинамічних полів від різних джерел і в різних умовах водного середовища. Було проведено натурні дослідження опору руху води у великих земляних каналах, проаналізовано формули для гідравлічного розрахунку каналів. На основі цих результатів запропоновано нову шкалу коефіцієнтів шорсткості, яку було використано при розробці нових технічних умов і норм проєктування земляних каналів.



Георгій Євстафійович Павленко – видатний вчений у галузі гідромеханіки й теорії корабля, доктор технічних наук (1937 рік), професор (1931 рік), академік АН УРСР (1961 рік, член-кореспондент з 1957 рік).

Народився 25 березня 1898 року в с. Леб'язьому (нині Чугувського району Харківської області). У 1915 р. вступив до Петроградського політехнічного інституту (Ленінградський політехнічний інститут) на кораблебудівний факультет, який закінчив у 1924 році. З 1926 по 1930 рік навчався в аспірантурі цього ж інституту, опублікував працю «Променевий метод проєктування суднової поверхні».

У 1928–1944 рр. викладав у Ленінградському кораблебудівному інституті, в якому обіймав посаду доцента (1930–1932 рр.) та професора (1932–1942 рр.) кафедри «Теорії корабля». У 1937 році отримав ступінь доктора технічних наук без захисту дисертації. У 1941–1942 рр. знаходився в блокадному Ленінграді, був головою Ради наукової допомоги обороні міста, займався питаннями, які мали безпосереднє відношення до оборони міста та держави: удосконалення в галузі артилерії, військової оптики, протитанкової оборони, авіаційного обладнання. У 1942–1944 рр. був директором науково-дослідної лабораторії теорії корабля. У 1944–1958 рр. завідував кафедрою в Одеському інституті інженерів морського флоту. У 1958–1962 рр. – завідувач відділу Інституту гідрології й гідротехніки (тепер Інститут гідромеханіки) АН УРСР. Одночасно працював на суднобудівних заводах і в конструкторських бюро.

Автор понад 250 друкованих праць. Основні дослідження Г.Є.Павленка стосуються питань геометрії, статички і опору води рухові корабля, суднових рушіїв, автоматизації судноводіння. Він приймав участь у роботах із забезпечення безпечної експлуатації суден, розв'язав задачі про динамічну остійність судна при шквалі, хитах судна, повороті, динаміку буксирного судна під час ривку, створював нові прилади для дослідів з гідродинаміки, розробив метод визначення вигідних швидкостей руху корабля, теорії глісування та стійкості кораблів на курсі, зробив розрахунок хвильового опору судна. Дослідження з теорії гребного гвинта стали основою нового розділу науки – пропульсової динаміки корабля. Запропонував універсальну діаграму остійності, що замінила метод пантокарів, розробив векторну діаграму з контролю та регулювання завантаженості суден, запропонував та сконструював велику кількість точних вимірювальних приладів для вивчення мореплавних якостей суден.

У 1973 р. ім'ям Г.Є.Павленка названо учбово-виробниче судно Чорноморського морського пароплавства.

Величезний науковий потенціал Інституту був широко затребуваний у різноманітних галузях народного господарства України. На замовлення проєктних і будівельних

організацій вирішувалися питання оптимального компонування гідровузлів, досліджувалися сполучення б'єфів і гасіння надлишкової енергії за водозбірними спорудами, удосконалювалися способи гідрравлічного розрахунку гасників, вивчалася швидкісна структура потоку за водозбірними спорудами, складалися прогнози розмивів русла за спорудами (М.М.Біляшевський, І.Л.Розовський, О.Я.Олійник, М.Г.Пивовар, П.К.Цветков, І.Є.Ліпай, М.В.Малюк, В.О.Базилевич, І.І.Калантиренко). Отримані результати використовувались при проектуванні й будівництві Київської та Канівської ГЕС, гідротехнічних споруд на зрошувальних системах і водогосподарських об'єктах півдня України. Було проведено фільтраційні дослідження для обґрунтування проектів великих гідровузлів на Дніпрі, Південному Бузі та інших річках, хвостосховищ гірничозбагачувальних комбінатів у Дніпропетровській та Львівській областях, житлових масивів на намівних територіях у Києві та Чернігові. Окрім того, розроблялись інженерні методи розрахунку пологих укосів земляних гребель і дамб, берегозахисних споруд різних типів (Б.А.Пішкін, В.Л.Максимчук, В.М.Сидорчук, Є.С.Цайтц, Ю.М.Сокольников). Запропонованими берегозахисними спорудами захищені сотні кілометрів берегів, у тому числі, на дніпровських водосховищах, Каракумському каналі та інших природних і штучних водоймах. Продовжувались дослідження гідрологічних характеристик річок України, розроблялись розрахункові гідрологічні нормативи для них. Важливим досягненням стало укладення каталогу річок України (В.І.Мокляк, Г.І.Швець, П.Ф.Вишневський, Й.А.Железняк, А.Б.Крижанівська, Н.І.Дрозд).



*Адміністративний корпус Інституту
на вул. Марії Капніст (1952–1956 рр.)*

також вивчено структуру потоку та гідрравлічного опору в напірних трубопроводах, визначено критичну швидкість гідротранспорту твердих матеріалів різної крупності (В.М.Карасик). Проведені дослідження дозволили інтенсифікувати роботу гідротранспорту й збільшити концентрацію твердої фази в потоці у п'ять-десять разів у порівнянні з існуючою практикою. Запропоновані пропозиції були успішно підтверджені практикою та використані при проектуванні системи гідротранспорту на Криворізькому гірничозбагачувальному комбінаті. Подальший розвиток цих робіт став науковим підґрунтям створення теорії гідрравлічного контейнерного транспорту (С.І.Кріль, В.П.Берман).

У 1962 році в Інституті було створено лабораторію магістрального гідротранспорту. У ній було експериментально досліджено розподіл середніх швидкостей, консистенцію та крупність частинок по перерізу трубопроводу в двокомпонентних потоках, розроблено рекомендації щодо вимірювання параметрів гідротранспорту сипучих матеріалів, розглянуто питання вибору оптимальних режимів гідротранспортного обладнання (М.А.Силін, С.Г.Коберник, І.О.Пищенко). Було

У середині 1960-их рр. Академія наук УРСР зазнала певної реорганізації, зокрема, були переглянуті основні наукові напрями ряду академічних установ. Природно, що накопичення в нашому Інституті величезного обсягу експериментальних даних й підвищення кваліфікації наукового персоналу, разом з постійним зростанням вимог до якості інженерних рішень, які пропонувалися в різних областях гідрології та гідротехніки, створили підґрунтя для виходу фундаментальних досліджень на новий рівень, а зрештою, трансформації профілю та зміни структури Інституту.

У відповідності до рішення Ради Міністрів УРСР, Постановою Президії АН УРСР від 15 січня 1964 року Інститут гідрології й гідротехніки було перетворено в Інститут гідромеханіки АН УРСР. До його складу увійшли сім наукових відділів: фізичної гідромеханіки (кер. І.К.Нікітін), динаміки відкритих потоків (кер. І.Л.Розовський), гідродинаміки двофазних потоків (кер. М.А.Силін), гідродинаміки великих швидкостей (кер. А.М.Панченков), гідродинаміки хвиль (кер. Б.А.Пишкін), динаміки пружних систем у рідкому середовищі (кер. Л.І.Дятловицький), фільтрації (кер. М.М.Біляшевський). Натомість Українському гідрометеорологічному інституту були передані відділи гідрології (кер. Г.І.Швець), комплексних водогосподарських проблем (кер. Й.А.Железняк), гідрологічних прогнозів (кер. А.Б.Крижанівська), а також Богуславська гідрологічна станція.

Рішення Президії визначило основними напрямками роботи дослідження турбулентності та керування нею, динаміку однофазних і двофазних потоків, взаємодію турбулентного потоку з межами течій у пористих середовищах, вивчення нових способів зниження опору руху тіл, керування процесами тепловіддачі та теплозахисту при обтіканні поверхні стосовно до задач нової техніки, гідротехніки та гідротранспорту. Це була широка програма створення багатопрофільного Інституту, націленого на вирішення найактуальніших проблем гідромеханіки.

Прийняття цієї програми та суттєва фінансова підтримка з боку різних галузей промисловості сприяли швидкому розвитку Інституту. На роботу було запрошено відомих учених, залучено велику групу випускників провідних вишів України. У 1965 році відповідно до постанови Президії АН УРСР на базі відділу гідродинаміки великих швидкостей були створені три нові відділи – аеромеханіки (кер. А.М.Панченков), гідробіоніки та керування примезовим шаром (кер. Л.П.Козлов), гідрореактивного руху (кер. В.М.Івченко). Було також створено відділ технічної гідромеханіки (кер. М.М.Дідковський).

Наступного, 1966-го року директором інституту став видатний учений в галузі гідродинаміки великих швидкостей академік АН УРСР Г.В.Логвинович. Його прихід мав великий вплив на розвиток досліджень, дотичних до гідродинаміки об'єктів, що рухаються в рідині, та підвищення рівня наукових досліджень у вже традиційних для Інституту напрямках гідромеханіки й гідротехніки. Під керівництвом Г.В.Логвиновича сформувались такі нові наукові напрямки як гідрореактивний рух, керування примезовим шаром і гідробіоніка, теорія суперкавітуючих профілів, рух високошвидкісних об'єктів поблизу межі, рух тіл у режимі розвиненої кавітації.



Георгій Володимирович Логвинович – видатний учений у галузі гідромеханіки, доктор наук (1954 рік), професор (1957 рік), академік АН УРСР (1967 рік), лауреат премії ім. М.Є. Жуковського (1965, 1991 рр.), Ленінської премії (1978 рік), Державної премії України в галузі науки і техніки (2002 рік). Нагороджений орденами та медалями СРСР.

Народився 10 лютого 1913 р. в с. Леонтьєво (нині Смоленська область). У 1935 році закінчив Московський державний університет. У 1936–1941 рр. працював інженером на оборонних підприємствах. Учасник Великої Вітчизняної війни. У 1945 році був прикомандирований до Гі-

дродинамічної лабораторії Центрального аерогідродинамічного інституту ім. М.Є.Жуковського (ЦАГІ), де в 1947 році очолив відділ з гідродинаміки авіаційного і морського озброєння. У 1948 році захистив кандидатську, а в 1954 р. – докторську дисертацію, у 1957 році став професором. У 1957–1961 рр. викладав в Московському енергетичному інституті, а з 1970 р. – у Московському фізико-технічному інституті. З 1966 по 1971 рік був директором Інституту гідромеханіки АН УРСР.

Г.В.Логвинович довів ряд основних теорем щодо руху вільних меж у галузі гідродинаміки тіл, які рухаються з великими швидкостями. Вивчав явище розвитку каверн, теоретично та експериментально досліджував явище швидкого занурення тіла в рідину. Розвинув теорію глісування та зривного обтікання тонких тіл. Встановив, що при ударі плоских тіл енергія, яка виноситься акустичною хвилею, не залежить від швидкості звуку й дорівнює різниці енергій системи «тіло–рідина» до та після удару. Працював над створенням профілю підводного крила, розробив загальну теорію підводних крил із нескінченними кавернами. Заклав основу теорії плавання риб і морських тварин. Розробив нові способи моделювання та оптимізації кавітаційних течій. Створена ним в Інституті гідромеханіки школа і дотепер є провідною в галузі вивчення надшвидкісних рухів тіл у рідині та суперкавітаційних течій.

Г.В.Логвинович розробляв ракети для підводних човнів. Зокрема, він був науковим керівником проекту зі створення ракети-торпеди «Шквал».

Систематичне вивчення кавітаційних течій призвело до розвитку теорії просторового руху вільних меж під дією збурення (Г.В.Логвинович). Було створено нові методи моделювання та оптимізації кавітаційних течій (Г.В.Логвинович, Ю.М.Савченко, Ю.Д.Власенко), розроблено теорію й методи розрахунку осесиметричних нестационарних кавітаційних течій при малих числах кавітації (В.М.Буйвол), розвинуто метод розрахунку гідродинамічного захоплення газових бульбашок стінками каверни (Ю.М.Савченко, В.М.Семененко), побудовано математичні моделі течій у тонких осесиметричних кавернах (Г.В.Логвинович, В.В.Серебряков). Важливим науковим результатом став метод ор-

ганізації кавітаційного руху тіла у воді з високими швидкостями, який забезпечив досягнення ним швидкості звуку при русі в режимі розвиненої кавітації (Ю.М.Савченко, Ю.Д.Власенко, В.М.Семененко).

Вивчення структури течії в'язкої рідини в примежовому шарі при великих числах Рельольдса, встановлення впливу на структуру потоку ефектів теплопровідності, плавучості та нестационарності й дотепер залишається одним із перспективних напрямків сучасної гідромеханіки. Для практики вкрай важливо керувати примежовим шаром задля зменшення опору тертя. Слід зазначити, що в цьому напрямку в Інституті отримані вагомі фундаментальні та прикладні результати. Зокрема, було досліджено вплив початкової турбулентності потоку, поздовжнього градієнта тиску, шорсткості поверхні, стисливості рідини та акустичних збурень, відсмоктування примежового шару на процеси переходу ламінарного примежового шару в турбулентний. Експериментально вивчено характеристики нелінійних етапів розвитку турбулентного примежового шару (Л.П.Козлов, В.В.Бабенко, Н.Ф.Юрченко). Теоретично та експериментально встановлено, що еластичні поверхні чинять суттєвий вплив на пульсаційне поле швидкостей та опір тертю у турбулентному примежовому шарі. Це призвело до розробки методів розрахунку течії в примежовому шарі на еластичних поверхнях (В.В.Бабенко, Г.О.Воропаєв, В.І.Коробов). Запропоновано енергетичну модель взаємодії турбулентного примежового шару з поверхнею деформівного в'язкопружного покриття. Обґрунтовано принцип розподіленого демпфування як спосіб керування структурою турбулентного шару для зниження гідродинамічного опору тертя. Розроблено науковий напрямок – сприйнятливість примежового шару до різних збурень. Експериментально досліджено нові методи керування ним, зокрема, за рахунок впливу на когерентні вихрові структури примежового шару, застосування хвилеводної структури обтічної поверхні й різних комбінованих способів (В.В.Бабенко).

Намагання ефективно управляти примежовим шаром, використовуючи пристосувальні функції гідробіонтів для зниження енергетичних втрат при плаванні, призвело до формування такого розділу гідромеханіки, як гідробіоніка. Дослідження в цій галузі були розпочаті з ініціативи академіка Г.В.Логвиновича. Донині наш Інститут залишається одним зі світових лідерів у цій галузі. За результатами гідробіонічних досліджень було створено гідродинамічну теорію плавання водних тварин (Г.В.Логвинович), представлено її експериментальне підтвердження (В.Ю.П'ятецький, В.П.Каян) і показано доцільність використання морськими тваринами нестационарних режимів задля зниження опору.

Кінець 1960-их рр. став періодом остаточного становлення Інституту, як одного із провідних центрів гідродинамічних досліджень у Радянському Союзі. Були встановлені тісні творчі зв'язки з основними науковими центрами, дотичними до гідромеханіки, наша установа була залучена до участі у великих проектах по створенню нової техніки. Водночас було виконано основний обсяг робіт щодо вивчення особливостей плавання дельфінів, запропоновано моделі, які дають якісне пояснення аномально низького опору при їх русі у воді. Значний розвиток отримали дослідження в області гідрофізики, зокрема, були створені основи теорії розвитку збурень у стратифікованому середовищі.

Суттєвих змін зазнала експериментальна база. В Інституті сформувався висококваліфікований колектив інженерів, які були здатні забезпечити виготовлення необхідних моделей будь-якої складності та успішне проведення експериментальних досліджень. Основні риси тодішньої структури Інституту ще й дотепер визначають його організаційний профіль.

Починаючи з 1971 року, Г.В.Логвинович повністю зосередився на роботі у Відділі гідродинаміки московського ЦАГІ. В Інституті ж гідромеханіки на той час була створена сприятлива творча атмосфера для розвитку всіх започаткованих наукових напрямів. Інститут став провідною організацією з вивчення турбулентних течій, течій з вільними межами, структури течій у примежовому шарі, динаміки стратифікованих середовищ, фізичної гідродинаміки. Значний розвиток отримали дослідження, які виконувалися з метою розв'язання гідротехнічних проблем. Спільна робота вчених з різних спеціальностей та з різними підходами до вирішення складних наукових проблем в одному творчому колективі сприяла взаємному збагаченню наукових напрямів, подальшому підвищенню рівня фундаментальних досліджень.

З 1972 року по 1980 рік Інститут гідромеханіки очолював член-кореспондент АН УРСР О.Я.Олійник. Під його керівництвом тривав подальший розвиток Інституту, суттєво зросли можливості розв'язання комплексних прикладних задач в інтересах народного господарства та оборони країни. При Інституті було створено Спеціальне проектно-конструкторське бюро з дослідним виробництвом, чийм завданням стало підвищення ефективності практичного використання наукових розробок. Важливими віхами стали будівництво нового висотного корпусу (див. четверту сторінку обкладинки) та створення експериментального полігону в селі Кийлів. За підтримки зацікавлених організацій промисловості був розроблений проект унікальної лабораторії для вивчення швидкісних рухів тіл у воді, фактичне створення якої вимагало декількох років напруженої роботи.



Олександр Якович Олійник – видатний учений в галузі гідродинаміки ґрунтових вод, гідравліки, меліорації та водної екології. доктор технічних наук (1971 рік), професор (1975 рік), член-кореспондент НАН України (1973 рік), лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (1981 р.) та премії ім. О.М. Динника (1990 р.), нагороджений Почесною грамотою Президії Верховної Ради України (1979 р.).

Народився в с. Вишгород Києво-Святошинського району Київської області 25 листопада 1929 року. Після закінчення в 1953 році Київського гідромеліоративного інституту, а в 1956 році аспірантури при цьому інституті працював до 1964 року молодшим науковим співробітником Інституту гідромеханіки АН УРСР. З 1964 по 1972 рік був старшим науковим співробітником Інституту математики АН УРСР. У 1972 році повернувся до Інституту гідромеханіки АН УРСР на посаду

заступника директора з наукової роботи. У 1958 році захистив кандидатську, а в 1971 році – докторську дисертацію. У 1973 році був обраний член-кореспондентом АН УРСР. У 1972 році став директором інституту й працював на цій посаді до 1980 року. Аж до початку 2010-их рр. очолював відділ прикладної гідродинаміки Інституту гідромеханіки НАН України.

О.Я.Олійником отримано важливі результати щодо теорії та методів розрахунку різних дренажних систем у складних гідрогеологічних умовах, захисту земель від затоплення і підтоплення ґрунтовими водами, волого- і солепереносу в ґрунтах, знезалізнення підземних вод фільтруванням, біологічного очищення стічних вод на різних біореакторах, у гідравліці гідротехнічних споруд. З його ім'ям пов'язані важливі досягнення у вивченні різних проблем гідродинаміки рухомих об'єктів, турбулентних течій, складних потоків, міграції забруднюючих речовин у пористому середовищі, очистці поверхневих і стічних вод від забруднень різного походження.

Ним були розроблені методи математичного моделювання процесів переносу забруднення в підземних потоках і нестационарної фільтрації, розроблені технології створення різних конструкцій дренажних систем у складних гідрологічних умовах. В останні роки життя наукові інтереси О.Я.Олійника були сконцентровані на проблемах гідромеханіки, пов'язаних зі створенням технологій боротьби з підтопленням земель, захистом земельних ресурсів від забруднення шкідливими речовинами, а також на розробці оптимальних меліорацій на основі керування процесами в системі «вода-ґрунт-рослина».

Результати наукових досліджень О.Я.Олійника відображені у понад 200 наукових публікаціях. Його внесок у розвиток гідромеханіки відзначено Почесною грамотою Президії Верховної Ради УРСР (1979 рік), Державною премією УРСР в області науки і техніки (1981 рік) і премією НАН України ім. О.М.Динника Президії АН УРСР (1990 рік).

У 1981 році директором Інституту став член-кореспондент АН УРСР О.Д.Федоровський. У цей час у рамках Академії наук УРСР формувалось відділення океанології, яке було покликане забезпечити значне розширення робіт в області вивчення та використання ресурсів Світового океану. Роботи Інституту в багатьох розділах гідромеханіки створили фундамент для розв'язання цієї задачі. При цьому особливу увагу було приділено дослідженням в області динаміки стратифікованих середовищ, еволюції збурень у них (В.І.Нікішов, В.С.Мадерич, О.Г.Стеценко). О.Д.Федоровський мав великий досвід вирішення складних комплексних прикладних проблем щодо вивчення фізичних процесів у Світовому океані і створення нових засобів експериментальної техніки. Завдяки цьому Інститут швидко зайняв провідне місце в СРСР зі створення складних експериментальних гідрофізичних комплексів і проведення широких натурних експериментальних досліджень. Тут отримали суттєвий розвиток оптичні методи дослідження структури складних турбулентних течій, а також новий науковий напрям, пов'язаний з розв'язанням задач гідроакустики. У цей період в Інституті гідромеханіки було побудовано, оснащено та введено в експлуатацію лабораторний комплекс і спеціальну споруду з басейном, на базі

яких проводились численні модельні експерименти. Окрім того, великий обсяг натурних експериментальних досліджень, які фінансувались промисловістю, дозволив суттєво зміцнити Спеціальне конструкторське бюро інституту. Їхні результати стали основою для розробки в СКТБ нових гідрофізичних систем для військово-морського флоту.



Олександр Дмитрович Федоровський – гідрофізик, член-кореспондент АН УРСР з 1982 року. Народився в 1931 році в Ленінграді. У 1956 році ракінчив Ленінградський інститут точної механіки й оптики. У 1957–1980 рр. працював на заводі «Арсенал» у Києві, з 1975 року був головним конструктором. У 1980–1981 роках - замісник директора, у 1981–1987 роках – директор Інституту гідромеханіки АН УРСР. В 1987–1992 рр. – заступник директора Морського гідрофізичного інституту НАН України (м. Севастополь), директор спеціального конструкторсько-технологічного бюро. З 1993 року – завідувач відділу системного аналізу Центру аерокосмічних досліджень Землі Ін-

ституту геологічних наук НАН України.

О.Д.Федоровський отримав гідрооптичні та гідроакустичні характеристики тонкої структури гідрофізичних полів у стратифікованій рідині, провів дослідження процесів на межі вода–атмосфера, розробив відповідну гідрофізичну апаратуру. Відділ, яким він керував, зробив значний внесок у гідродинаміку складних турбулентних течій у стратифікованих рідинах, динаміку двофазних стратифікованих середовищ, гідрооптику, а також оптимізацію систем технічного водозабезпечення теплових та атомних електростанцій і захист водойм від забруднення. Дані, отримані під його керівництвом за допомогою заснованих на оптичних ефектах експериментальних методів дослідження процесів виродження турбулентності, дозволили вирішити ряд важливих практичних задач гідрофізики.

Результати наукової діяльності О.Д.Федоровського знайшли визнання як в Україні, так і за кордоном. Він неодноразово виступав з доповідями на засіданнях Наукової ради з гідрофізики і Наукової ради з гідродинаміки АН СРСР, науково-технічної ради НАН України з проблем Військово-Морських сил України, брав участь у міжнародних конференціях.

О.Д.Федоровський – автор 195 друкованих праць, у тому числі 5 монографій, довідника, 130 статей і 60 патентів та авторських свідоцтв. Лауреат Державної премії України в області науки і техніки (2005 рік), Заслужений діяч науки і техніки України (2007), має державні нагороди.

У 1987 році посаду директора обійняв професор В.Т.Грінченко (нині – академік НАН України). На той час Інститут уже сформувався як великий науковий колектив, добре відомий високим рівнем фундаментальних досліджень і здатністю розв'язувати

комплексні прикладні проблеми. Це стало запорукою тісних творчих зв'язків із багатьма провідними конструкторськими бюро тодішнього Радянського Союзу. Перебудова господарської та політичної структури країни наприкінці 1980-их рр. позначилась і на роботі наукових установ. Наш Інститут зі своїм кадровим та науковим потенціалом був готовий відповісти на нові виклики загальнодержавного масштабу. Одним із них стала проблема освоєння нафтових та газових родовищ на морському шельфі. З гордістю можемо зазначити, що пропозиції Інституту гідромеханіки щодо створенню системи контролю стану спеціальних платформ були визнані найкращими.

Віктор Тимофійович Грінченко – видатний учений у галузі механіки та акустики, доктор фізико-математичних наук, професор, академік НАН України (1995 рік, член-кореспондент 1988 рік). Народився 4 жовтня 1937 р. в м. Полтаві. У 1954 році після закінчення середньої школи в м. Полтаві вступив на механіко-математичний факультет Київського державного університету ім. Т.Г.Шевченка, який закінчив з відзнакою у 1959 році і почав трудову діяльність в Інституті механіки НАН України. В цьому Інституті під керівництвом академіка А.Д.Коваленка захистив кандидатську дисертацію (1964 рік), зміст якої був пов'язаний з розробками в інтересах ракетної техніки. У його докторській дисертації (1973 рік) сформувався базові положення методології досліджень, яка стала основою подальшої плідної власної наукової роботи та діяльності з формування наукової школи в галузі акустики.



В.Т.Грінченко в 1975–1980 рр. працював завідувачем відділу термодружності Інституту механіки НАН України, в 1980–1981 рр. – професором кафедри акустики та звукотехніки Київського політехнічного інституту. З 1981 року він був заступником директора, а в 1987–2020 рр. – директором Інституту гідромеханіки НАН України. З 2021 року займає посаду радника при дирекції Інституту.

У своїх наукових роботах В.Т.Грінченко виявив фундаментальні закономірності деформування просторово розвинених пружних тіл і формування спектрів їхніх власних частот і форм коливань, зробив значний внесок у розвиток такого новітнього напрямку механіки як електропружність. У 1980-ті рр. його роботи були пов'язані з вивченням особливостей генерації звукових полів турбулентними потоками пульсацій тиску на поверхнях тіл, що обтікаються рідиною з великими швидкостями. Результати цих досліджень знайшли практичне застосування при створенні об'єктів низькочастотної гідроакустичної техніки. Починаючи з 1990-их рр. під керівництвом В.Т.Грінченка в Інституті гідромеханіки НАН України одержано важливі результати щодо особливостей генерації та поширення звуків дихання, вивчено акустичні характеристики респіраторної системи людини. Також значну увагу він приділив дослідженню взаємодії звукових

хвиль із турбулентними течіями та закономірностей генерації звуку турбулентним примежовим шаром.

В.Т.Грінченко – член Національного комітету України з теоретичної і прикладної механіки, Американської спілки акустиків (ASA), Міжнародного інституту електронної та електричної інженерії (IEEE), директорату Міжнародного інституту звуку та вібрації.

Результати наукових досліджень В.Т.Грінченка відзначені премією НАН України імені О.М.Динника (1984 рік), Державною премією УРСР в галузі науки і техніки (1988 рік), премією імені М.К.Янгеля (1992 рік). В.Т.Грінченко отримав звання «Заслужений діяч науки і техніки України» (1998 рік), нагороджений орденом III ступеня «За заслуги» (2008 рік), орденом князя Ярослава Мудрого V ступеня (2018 рік).

Академік В.Т.Грінченко започаткував нові наукові напрямки, орієнтовані на розв'язання важливих прикладних задач гідроакустики. На той час в Інституті вже провадились дослідження, спрямовані на розробку методів визначення інтегральних гідродинамічних характеристик гідроакустичних систем і особливостей поля пульсацій тиску, породженого турбулентною течією в примежовому шарі на обтічній поверхні. Відтепер цю тематику було значно розширено. Так, вивчення характеру динамічної взаємодії між пружним елементом і зовнішнім потоком, яка визначається структурою поля пристінкових пульсацій тиску, дозволило розробити методи та засоби експериментальних вимірювань силових і кінематичних характеристик течії на обтічній поверхні (А.П.Макаренков, Г.П.Виноградний). На основі аналізу кореляційних характеристик пульсаційних полів було сформульовано рекомендації щодо вдосконалення буксированих гідроакустичних засобів (А.П.Макаренков, В.А.Воскобійник, Г.П.Виноградний). Дослідження закономірностей розсіювання звуку на пульсаціях швидкості й температури (В.Т.Грінченко, О.Г.Рудницький) дозволили розв'язати деякі обернені задачі визначення характеристик турбулентності по розсіяному звуковому полю.

Значний обсяг досліджень було виконано при вивченні розсіювання звуку на пружних оболонках і впливу рідини на робочі параметри випромінювальних пружних систем. Було встановлено характерні особливості дисперсії рідинно-пружних хвиль та розподілу енергії у хвилях, які поширюються у складних хвелеводних структурах (В.Т.Грінченко, Г.Л.Комісарова).

Дослідження дифракції звуку на ґратах із пружних оболонок стало науковою основою для створення спеціальних прозорих для потоку та непрозорих для звуку екранів (В.Т.Грінченко, І.В.Вовк). На основі аналізу закономірностей впливу рідини на взаємодію випромінювачів у багатокомпонентних системах (В.Т.Грінченко, І.В.Вовк, В.Г.Басовський) були запропоновані методи керування властивостями дальнього та ближнього полів таких випромінювачів. Вивчення взаємодії п'єзоелектричних елементів розподілених випромінювальних антен по електричному полю (В.Т.Грінченко, І.В.Вовк) дозволило сформулювати критерії їхньої ефективної безаварійної роботи. Уведення в систему додаткових пасивних пружних елементів, зв'язаних з випромінювачем через акустичне середовище, дозволило запропонувати перспективні конфігурації малих у порівнянні з

довжиною хвилі гідроакустичних систем з нетрадиційними частотними й спрямованими характеристиками (І.В.Вовк, В.Н.Олійник).

Дослідження гравітаційних хвиль, спрямоване на опис взаємодії хвиль з гідротехнічними спорудами, було розпочато в Інституті ще в 1960-ті рр. під керівництвом члена-кореспондента АН УРСР Б.А.Пишкіна. Протягом 1980-их рр. вивчення закономірностей генерації, поширення й трансформації хвиль різної природи в рідині отримало новий імпульс для розвитку. Про вагомість напрацювань у цьому напрямку говорить розробка математичних моделей рефракції хвиль при довільному рельєфі дна, моделі еволюції нелінійних хвиль і транспорту наносів. Отримані результати було впроваджено при проектуванні берегозахисних споруд і морських платформ для видобутку нафти й газу, прогнозуванні протікання процесів хвильової гідродинаміки шельфу та прибережної зони. (І.Т.Селезов, Р.І.Волинський, М.Й.Железняк).

Ще одним напрямком дослідження взаємодії хвиль з пружними конструкціями стала розробка методів оцінки наслідків сейсмічних впливів на гідротехнічні споруди (В.М.Сеймов, Б.М.Островерх), які широко використовувалися у багатьох регіонах колишнього СРСР під час будівництва гідроелектростанцій.

На початку 1990-их рр. швидкий розвиток політичних процесів, який призвів до розпаду Радянського Союзу, суттєво вплинув на долю Інституту. Перш за все, втратили актуальність роботи в інтересах підвищення обороноздатності, які до цього займали чільне місце серед наших тематик. Окрім того, переважну частку прикладних розробок було орієнтовано на проблематику, пов'язану з різними регіонами СРСР. Його дезінтеграція призвела до практично повної втрати замовлень на проведення договірних робіт від клієнтів з колишніх союзних республік і всередині України. У свою чергу, це обумовило скорочення чисельності співробітників Спеціального конструкторсько-технологічного бюро і самого Інституту.

Попри кризові явища, накопичений Інститутом науковий потенціал дозволив йому залишитися провідним центром досліджень в Україні в області гідромеханіки та реорганізувати свою роботу таким чином, щоб і в нових умовах суттєво впливати на вирішення проблем суднобудування, вітроенергетики, меліорації земель та гідротехнічного будівництва, а також на створення нових технологій у гірничо-металургійному комплексі, екології, енергозбереженні, медицині. При збереженні традиційних для установи напрямків наукових досліджень були започатковані нові – медична акустика, дослідження хаосу в детермінованих системах, гідротермодинамічне моделювання енергетичних процесів. Здатність до адаптації, постійна готовність до змін і пошук нових наукових контактів стали визначальними рисами пострадянського періоду життя Інституту.

Інститут гідромеханіки став піонером досліджень у галузі респіраторної акустики на теренах України та Центральної Європи. Зокрема йдеться про вивчення гідроаеродинамічної природи шумів дихання і особливостей їх поширення в грудній клітці людини. Нами було розроблено засоби та методики реєстрації звуків дихання (А.П.Макаренков, Г.П.Виноградний, В.Г., І.В.Вовк, В.Н.Олійник, В.Г.Басовський), створено унікальну цифрову базу звукових даних з прив'язкою до різноманітних патологій бронхолегеневої системи (В.Т.Грінченко, А.П.Макаренков, О.Г.Рудницький, А.А.Макаренкова, І.В.Вовк),

розроблено ефективні методи обробки шумів дихання та створено їхні акустичні «портрети» (В.Т.Грінченко, І.В.Вовк, В.Н.Олійник, А.П.Макаренков, А.А.Макаренкова). Наочним результатом цих розробок стало створення комп'ютерного чотириканального фоноспірографічного комплексу «КоРА-03М1», призначеного для реєстрації, обробки й візуалізації звуків дихання з можливістю їх багатократного прослуховування. Аналіз об'єктивних характеристик зареєстрованих звуків дихання дозволив виявити ряд характерних ознак, властивих конкретним видам бронхолегеневих захворювань, і спільно зі спеціалістами-медиками конвертувати ці знання в розробку оригінальних діагностичних методик. Комплекс пройшов державні клінічні випробування й на нього було отримано медичний сертифікат. Роботи над створенням новітнього діагностичного обладнання в інтересах медицини тривають і нині.

Нелінійні проблеми гідромеханіки в багатьох випадках пов'язані з режимом хаотизації. Одним із проявів детермінованого хаосу в гідродинаміці є так звана лагранжева турбулентність. При її дослідженні на прикладі плоских та осесиметричних течій у замкнених об'ємах в'язкої рідини в Інституті було встановлено ряд особливостей хаотичних явищ, які спостерігаються в детермінованих системах. На основі цих результатів були запропоновані методи інтенсифікації перемішування рідин за рахунок хаотичної адвекції, зокрема, для течій у мікроканалах (В.В.Мелешко, Т.С.Краснопольська, О.А.Гуржій, О.С.Галактіонов).

На межі термодинаміки і гідромеханіки був започаткований ще один новий напрямок досліджень – моделювання гідротермічних процесів. Як результат були сформульовані принципово нові науково-технологічні підходи до розвитку інноваційних стратегій конструювання стійких геотермальних систем. Розроблено та вдосконалено методологічне, математичне, алгоритмічне та програмне забезпечення для обґрунтування структури, параметрів і режимів роботи систем теплозабезпечення та охолодження енергоефективних будівель на основі теплонасосних установок з урахуванням нестационарних процесів в методів ексергетичного аналізу. Розроблено й реалізовано новий підхід до кількісного оцінювання термодинамічних втрат, їх вартості, екологічності, інвестиційних затрат та антропогенного впливу (Є.І.Никифорович).

Характерною особливістю наукових досліджень в Інституті завжди була динамічна реакція на нові тенденції розвитку науки. Так, у зв'язку зі стрімким розвитком обчислювальної техніки почалося формування нового розділу досліджень – чисельної гідромеханіки. Загалом комп'ютерне моделювання стало ефективним сучасним методом розв'язання актуальних задач механіки суцільних середовищ.

У відповідь на цей виклик в Інституті на базі прямого чисельного розв'язання рівнянь Нав'є–Стокса було створено методи, які дозволили провести кількісний аналіз течії на значних часових інтервалах. Серед наших досягнень у цій галузі слід відзначити моделювання турбулентності в примезових шарах на структурованих обтічних поверхнях (Г.О.Воропаєв, Є.О.Шквар, Н.В.Розумнюк); стійкості двофазних суперкавітаційних течій (В.М.Семененко, О.І.Наумова); надзвукових струменів у нестационарних потоках (Г.О.Воропаєв, Я.В.Загуменний, О.О.Сірош); процесів генерації звуку потоками (В.Т.Грінченко, І.В.Вовк, В.С.Малюга, В.Г.Басовський); обтікання берегозахисних спо-

руд і мостових опор (В.О.Горбань, І.М.Горбань). Кожен із виділених напрямів вимагав вирішення ряду фундаментальних проблем, що охоплювало не лише розробку чисельних методів розв'язання поставлених граничних задач з використанням потужних кластерних комп'ютерів і технології паралельних обчислень, але й побудову адекватних математичних моделей, які б дозволяли кількісно оцінити енергетичні та просторові характеристики полів.

Починаючи з 2021 року, Інститут очолює член-кореспондент НАН України Г.О.Воропаєв. Заступаючи на посаду директора, Геннадій Олександрович ставив перед собою першочергову мету, зберігаючи в Інституті високий рівень фундаментальних досліджень вихрового руху в газах та рідинах, суттєво підняти рівень впровадження їх результатів у авіа- та суднобудуванні. Але цей час став, без перебільшення, найскладнішим у роботі Інституту за останні сім десятиліть. Дійсно, хронічне багаторічне недофінансування фундаментальної науки посилювалося пандемією COVID-19. У цей період через неможливість здійснювати експериментальні дослідження відбулося закриття багатьох договірних тем.

Геннадій Олександрович Воропаєв – відомий учений-гідромеханік, член-кореспондент НАН України з 2015 року. Народився в 1947 році в с. Калаїс Тамбовської області. У 1971 році закінчив Одеський державний університет ім. І.І.Мечникова, а в 1974 році – аспірантуру Інституту гідромеханіки НАН України, де й залишився працювати. З 2000 року очолює відділ гідробіоніки та керування примежовим шаром, у 2015–2021 рр. був заступником директора з наукової роботи. У 2021 році його обрано директором Інституту гідромеханіки НАН України.



Наукова діяльність Г.О.Воропаєва пов'язана з вивченням фундаментальних властивостей турбулентного примежового шару. Він виявив і дослідив нові механічні ефекти, важливі для розуміння особливостей взаємодії турбулентного руху рідини з деформівною поверхнею. Г.О.Воропаєв розробив модифікацію моделі турбулентного перенесення напружень Рейнольдса для визначення параметрів турбулентних передвідривних примежових шарів. До кола його наукових інтересів входять дослідження взаємодії нестационарних надзвукових та дозвукових течій в обмежених об'ємах, результати яких дозволяють розробляти імпульсні надзвукові ежектори. Також Г.О.Воропаєв займається вивченням особливостей нестационарних течій на поверхнях з неоднорідною геометрією, пружними та рухомими елементами, процесів виникнення й розвитку вихрових збурень, які впливають на структуру потоку та силові характеристики обтічних поверхонь.

Лауреат премії ім. О.К.Антонова НАН України (2019) за серію праць «Теоретичне та науково-практичне забезпечення покращення аеродинамічних характеристик крил і літальних апаратів при створенні перспективної авіаційної техніки».

У лютому 2022 року з початком повномасштабної російсько-української війни стало питання про можливість роботи Інституту в умовах воєнного стану. Протягом кількох місяців повноцінну наукову роботу було паралізовано через небезпеку, пов'язану з регулярними обстрілами Києва, який до початку квітня перебував у напівоточенні. Наш інститут не залишився осторонь гуманітарних проблем міста та за потреби надавав притулок у своєму укритті як працівникам Інституту, так і мешканцям прилеглих будинків. Частина співробітників евакуювалася до західних областей України та за кордон. Незважаючи на це, наша установа продовжувала роботу в дистанційному режимі. Навіть у такій ситуації Інституту вдалося зберегти науковий колектив, а за кілька місяців практично всі працівники повернулися на свої робочі місця.



В.С.Малюга в лавах ЗСУ



*І.Б.Кудибин під час боїв
за Кліщіївку*

Не можна оминати й по-справжньому героїчну сторінку нашого сьогодення. З початком повномасштабної рашистської агресії ряд Інституту співробітників за покликом серця добровільно приєдналися до Сил оборони України у складі новостворених загонів ТРО та підрозділів ЗСУ (О.М.Козенко, Т.П.Кисельов, І.Б.Кудибин, В.С.Малюга, В.І.Оруджов, В.М.Руденко). Ми впевнені, що майбутні літописці напишуть їхню історію більш повно, а сьогодні зробимо акцент на двох із цих доль.

Володимир Сергійович Малюга, доктор фізикоматематичних наук, старший науковий співробітник, член Національного комітету України з теоретичної і прикладної механіки. Палкий патріот і людина честі, лейтенант запасу В.С.Малюга у перші ж дні вторгнення домігся прийняття на військову службу в лавах ЗСУ. Він гідно виконував свій військовий обов'язок, у тому числі й лінії бойового зіткнення з ворогом. На початку квітня 2024 року В.С.Малюга зник безвісти, захищаючи передовий опорний пункт неподалік від н.п. Роздолівка на північ від м. Соледар (Донецька область). Усі ми до останнього будемо вірити, що він живий і ми ще зустрінемо нашого колегу й побратима.

Ігор Богданович Кудибин, провідний інженер, активний учасник Євромайдану, якому протягом 2014–2015 рр. вже судилося прослужити в АТО на Донбасі на посаді командира взводу. Офіцер резерву, він знову без вагань став на захист України. На долю

Ігоря випала украй важка й небезпечна бойова робота – він неодноразово брав участь у штурмових діях, клапоть за клаптем відбиваючи нашу землю у ворога. На цій світлині він зображений зразу після одного з таких боїв біля села Кліщіївка (Бахмутський район Донецької області). І.Б.Кудибин зазнав кількох важких поранень і бойових травм, а в 2024 році звільнений з військової служби за станом здоров'я.

У нових воєнних умовах життя країни більшість тематик Інституту було переорієнтовано на оборонний напрям, а також майбутнє повоєнне відновлення України. Працівники інституту виступають у ролі наукових консультантів, проводять експертні оцінки науково-дослідних і науково-технічних проектів з розробки й експлуатації нових видів військової техніки та озброєння, гуманітарного розмінування, захисту критичної інфраструктури від ворожого повітряного, наземного та підводного озброєння.

Протягом 2024–2025 рр. Інститут гідромеханіки тричі ставав жертвою ворожих ракетно-дронових ударів по Києву – зазнавали пошкоджень вікна, дахи та фасади будівель. Але, незважаючи ні на що, Інститут залишається провідним центром досліджень в Україні в різних галузях механіки суцільних середовищ, кадровий потенціал та експериментальна база якого дозволяють проводити дослідження і отримувати нові наукові результати світового класу. Усі наші працівники є досвідченими професіоналами, які постійно підвищують свій професійний рівень суголосно з новітніми науковими тенденціями та відкривають нові напрямки досліджень.

Характеризуючи діяльність Інституту, слід окремо наголосити на її міжнародних аспектах. Природно, що основний напрямок зовнішньоекономічної діяльності Інституту – це науково-дослідні роботи. За останні три з половиною десятиліття окремі наші співробітники та цілі творчі колективи регулярно залучались до виконання робіт на замовлення партнерів із США, Швеції, Німеччини, Нідерландів, Китаю. Ряд спільних дослідницьких проектів з участю Інституту гідромеханіки НАН України фінансувався фондами УНТЦ, CRDF, FP-7, Horizon-2020 тощо. Результати виконаних робіт представлялись світовій науковій спільноті на багатьох конференціях, семінарах, симпозіумах, публікувались в авторитетних виданнях, які



Засідання колоквиуму Євромех (Київ, 1990 рік)



*Учасники конференції ERCOFTAC
(Пуща Водиця, 2010 рік)*

очолюють рейтинги міжнародних наукометричних баз. Науковці Інституту є членами відомих міжнародних і всеукраїнських наукових спільнот і асоціацій, зокрема, НТР МРС, AICETU, ERCOFTAC, EUROMECH, IEEE, ASA, SEG, ASTFE. У 2023 році

науковцями Інституту гідромеханіки НАН України створено Пілотний центр Європейської спільноти дослідження течій, турбулентності й горіння ERCOFTAC від України. Це дає змогу працівникам Інституту отримувати фінансову допомогу для участі в наукових заходах, організованих ERCOFTAC.

Інститут гідромеханіки НАН України також бере активну участь в організації всеукраїнських і міжнародних наукових форумів. Яскравими прикладами такої діяльності стали проведення Колоквіуму Євромех 271 «Дифракція хвиль на перешкодах і неоднорідностях у рідині» (1990 рік), Міжнародної конференції «Хаос-4» (1992 рік), панельного семінару AGARD R-827 «Високошвидкісний рух тіл у воді» (1997 рік) тощо. Важливою для згуртування вітчизняних фахівців у галузі акустики стала серія симпозіумів «КОНСОНАНС», які проводилися в Інституті щодвароки з 2003 по 2017. Нині Інститут гідромеханіки регулярно проводить міжнародну науково-практичну конференцію «Комп'ютерна гідромеханіка», яка входить до списку офіційних заходів ERCOFTAC.

Інститут гідромеханіки НАН України завжди розглядав науково-видавничу діяльність як невід'ємну складову творчого процесу, спрямовану на популяризацію нових наукових результатів. Ми самостійно та в кооперації «Науковою думкою», іншими видавничими домами опублікували десятки наукових монографій, присвячених різним аспектам гідромеханіки, гідрології та гідротехніки. Багато з цих книжок, без перебільшення, входять до золотого фонду вітчизняної науки.



*Незмінний відповідальний секретар журналу
«Прикладна гідромеханіка» Л.В.Селезова*

статус журналів – «Акустичний вісник» (1998–2015) і «Прикладна гідромеханіка» (1999–2016). Увесь період свого існування ці два журнали входили до офіційного списку фахових видань України та здобули визнання наукової спільноти. У 2018 році Інститут започаткував видання їх наступника – журналу «Гідродинаміка і акустика», який зберігає високий науковий рівень публікацій у непростих умовах сьогодення.

Наукові співробітники Інституту входять до редколегій знаних міжнародних наукових журналів, зокрема, американського *International Journal of Fluid Mechanics*

Ще одним важливим фактором є регулярний випуск Інститутом наукових періодичних видань. Усе починалося з уже згаданих «Вістей Науково-дослідного інституту водного господарства України». Наукові збірники «Гідромеханіка» та «Біоніка», які виходили протягом кількох десятиліть, зіграли помітну роль у становленні вітчизняної наукової традиції в царині фундаментальної та прикладної механіки рідини газу та плазми. У відповідності до вимог часу, наприкінці 1990-их рр. видавничий процес було реорганізовано та започатковано нові періодичні видання, які мали вже

Research (В.Т.Грінченко, В.Н.Олійник) і польського *Transactions of Aerospace Research* (Є.О.Шквар). Наші фахівці на регулярній основі залучаються до рецензування статей в авторитетних закордонних періодичних виданнях.

Згідно з чинними вимогами до процесу навчання в аспірантурі, Інститут має ліцензію на провадження освітньої діяльності на третьому рівні вищої освіти за спеціальністю 113 «Прикладна математика». Це є запорукою підготовки та виховання нових поколінь наукових кадрів для нашої установи.

Слід також відзначити наявність в Інституті унікальної експериментальної бази «Експериментальний комплекс для гідродинамічних досліджень Інституту гідромеханіки НАН України», який відповідно до розпорядження Кабінету Міністрів України від 22.10.2008 р. №1345 включений до Державного реєстру наукових об'єктів, що становлять національне надбання.

Підсумовуючи сказане, констатуємо, що Інститут гідромеханіки НАН України й нині залишається провідним в Україні центром досліджень у різних галузях механіки суцільних середовищ, відіграючи помітну роль у міжнародному науковому співтоваристві. Тому, святкуючи соту річницю з дня заснування Інституту ми не лише озираємось на славне минуле, а й окреслюємо творчу перспективу на багато десятиріч уперед. Віримо, що наші головні здобутки ще попереду.

ВІДДІЛ ГІДРОБІОНІКИ ТА КЕРУВАННЯ ПРИМЕЖОВИМ ШАРОМ

Відділ гідробіоніки та керування примежовим шаром має більш, ніж 60-річну історію. Він був створений у 1965 році на базі відділу гідромеханіки судна, який очолював відомий учений-гідромеханік академік АН УРСР Г.Є.Павленко (1898–1970). Створення відділу та його тематику обумовили як інтенсивний розвиток спеціалізованих прикладних досліджень на користь військово-морського флоту, так і необхідність фундаментального вивчення природи турбулентності примежових шарів і можливості керування нею. Зокрема, дослідження такого роду спираються на вивчення біонічних процесів.



*Член-кореспондент НАН України
Г.О.Воропаєв разом з першим віцепрезидентом
НАН України академіком НАН України
В.Л.Богдановим (2026 рік)*

Завідувач відділу Геннадій Олександрович Воропаєв з 1974 року працює в Інституті гідромеханіки НАН України. Поройшов шлях від молодшого наукового співробітника до завідувача відділу й директора. У 1978 році став кандидатом, а в 1993 – доктором фізико-математичних наук. У 2004 році отримав атестат професора.

Автор понад 150 наукових праць, Г.О.Воропаєв відомий у світових наукових колах як один із провідних фахівців у галузі турбулентного примежового шару та обчислювальної гідродинаміки.

У 1960-ті роки в Європі почали розвиватися різні напрямки біоніки. Розвиток цього напрямку в Україні активно підтримував академік АН УРСР В.М.Глушков, на той час віцепрезидент АН УРСР. Прозорливість академіка В.М.Глушкова полягає в передбаченні необхідності паралельного розвитку кібернетики та біоніки. Саме за його ініціативою в 1965 році було організовано відділ гідробіоніки та керування примежовим шаром (ГБ та КПШ). В.М.Глушков багато років був головою наукової ради з проблеми «Біоніка» при Президії Академії наук УРСР, а також ініціатором створення спецкурсів з біоніки на механіко-математичному та біологічному факультетах Київського державного університету ім. Т.Г.Шевченка. У наш час біонічним дослідженням також приділяється велика увага в усьому світі, проте основний напрямок розвитку цієї галузі змістився в область робототехніки та штучного інтелекту.

Із 1965 по 1988 рік відділ очолював професор Л.П.Козлов (1927-1988).

Леонід Пилиппович Козлов, 1927 року народження, закінчив Ленінградський кораблебудівний інститут і протягом кількох років працював у Центральному науково-дослідному інституті ім. акад. О.М.Крилова у Ленінграді. Там же захистив кандидатську дисертацію з експериментального моделювання випробування суден у дослідному басейні. В Інституті гідромеханіки АН УРСР Л.П.Козлов працював з 1964 року. У 1971 році він захистив докторську дисертацію, в якій розробив теорію оптимального відсмоктування примежового шару. У 1974 році Л.П.Козлов отримав атестат професора. Лауреат Державної премії СРСР у галузі науки та техніки, академічних премій імені видатних учених О.М.Крилова та О.М.Динника.

Професор Л.П.Козлов був відомим ученим у галузі гідродинаміки судна, визнаним фахівцем з теорії примежового шару. У його 11 монографіях представлені результати вирішення численних проблем у цьому напрямку, які викликали великий інтерес у середині країни та за кордоном. Його теоретичні роботи випередили свій час – лише 10 потому років було виконано натурні експериментальні дослідження відсмоктування примежового шару, які підтвердили теоретичні розрахунки Л.П.Козлова.



Л.П.Козлов приділяв велику увагу розвитку сучасних методів вимірювання характеристик примежового шару. Для цього у 1968 році у відділі було сформовано групу фахівців-електротехніків, очолювану М.О.Гнітецьким. Було закуплено термоанемометричну апаратуру DISA та іншу сучасну вимірювальну техніку, що дозволило проводити експериментальні дослідження на світовому рівні.

З 1971 року у відділі створено групу фахівців з лазерної анемометрії (В.П.Іванов, В.О.Блохін). У 1985 році проф. Л.П.Козлов зі співавторами написав довідник з лазерної анемометрії, який було перекладено та видано у США в 1987 році.

У 1987 році до відділу було приєднано лабораторію гідродинаміки гідрофізичних систем (завідувач В.Г.Белінський). На додачу, в рамках відділу було організовано лабораторію гідродинаміки відривних течій (завідувач А.І.Циганюк). У 1988 році тут відділі було утворено лабораторію фізичних методів дослідження примежевого шару (завідувач В.В.Бабенко), а в 1994 році – лабораторію моделювання турбулентних течій (завідувач Г.О.Воропаєв).

У науковому плані відділ зростав за рахунок підготовки аспірантів. Так, на момент створення у відділі було лише три кандидати наук, але вже до 1988 року тут налічувалося два доктори та одинадцять кандидатів наук.

На початковому етапі основна спрямованість теоретичних та експериментальних робіт відділу полягала у вивченні ламінарних течій, а також методів керування структурою потоку для підтримки ламінарної форми течії. У рамках цих напрямів виконали кандидатські дисертаційні роботи М. Аріс, В.В.Бабенко, А.І.Циганюк, В.С.Челишков, О.Д.Нікішова, Н.Ф.Юрченко, В.П.Іванов. На початку 1970-их рр. Л.П.Козлов поставив завдання вивчення методів керування саме турбулентними потоками. У рамках цього напрямку виконали дисертаційні роботи В.М.Шакало, Г.О.Воропаєв, В.І.Коробов, М.В.Канарський, В.І.Попков, Ю.О.Птуха.

Становлення відділу проходило під ревним поглядом класика теорії примежевого шару Л.Г.Лойцянского, який безпосередньо рецензував статті співробітників відділу. Його поради та зауваження були корисні та стимулювали активний творчий процес. Теоретичні дослідження та фізичні експерименти, проведені у відділі в той період, були спрямовані на вивчення процесів зародження та еволюції збурень, формування інтегральних параметрів потоку під дією зовнішніх та власних збурень у ньому.

Відразу після організації відділу ГБ та КПШ у 1965 році Л.П.Козловим було сформовано науковий напрямок – біогідродинаміку, – в завдання якого входило вивчення законів руху та пристосувальних властивостей швидкохідних риб і водних тварин. Починаючи з 1968 року, вже в рамках академічної наукової програми спільно з Інститутом зоології АН УРСР були проведені дослідження взаємозв'язку форм тіла, будови рушійного комплексу та шкірного покриву зі швидкістю та тривалістю плавання гідробіонтів. Було організовано кілька морських експедицій на Чорне море та в Атлантичний океан з метою вивчення морфології водних тварин і риб, кінематики їх руху, розроблено та адаптовано прилади й установки для натурного дослідження гідробіонтів. Поряд із послідовними серіями експериментальних робіт розвивалася теорія плавання риб та водних тварин, в основу якої було покладено ідеї академіка М.М.Лаврентьєва та Дж.Лайтхілла. Академік Г.В.Логвинович, який був на той час директором інституту, активно підтримував цей цикл робіт не лише адміністративно, а й науково, написавши фундаментальну роботу з теорії плавання водних тварин.

З 1988 по 2000 рік керував відділом професор, доктор технічних наук В.В.Бабенко.

Віктор Віталійович Бабенко, 1938 року народження. У 1963 році закінчив Московський авіаційний інститут. Після закінчення вищого навчального закладу впродовж 1963–1965 років працював в конструкторському

авіаційному бюро ім. О.К.Антонова. З 1965 дотепер В.В.Бабенко працює в Інституті гідромеханіки НАН України і пройшов шлях від аспіранта до завідуючого відділом гідробіоніки та керування примежовим шаром (з 1988 по 2000 рік включно).

В 1970 році він захистив дисертацію на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук, а в 1986 році став доктором технічних наук за спеціальністю 01.02.05 – механіка рідини, газу та плазми. У 1990 році рішенням Вищої атестаційної комісії В.В.Бабенку присвоєно вчене звання професора. З січня 2016 року працює на посаді провідного наукового співробітника відділу інформаційних систем в гідроаеромеханіці та екології.

В.В.Бабенко – міжнародно визнаний фахівець у галузі гідробіоніки та теорії примежового шару. Його наукові праці включають одне наукове відкриття, 8 монографій, понад 300 публікацій у журналах, 70 винаходів і патентів.

За значний внесок у розвиток фундаментальних досліджень в галузі гідромеханіки В.В.Бабенко нагороджений преміями НАН України імені О.М.Динника (1993 рік) та імені О.К.Антонова (2014 рік).



Протягом останньої чверті століття тематика робіт відділу значно розширилася, зберігаючи при цьому спадковість. Зокрема, донині продовжуються інтенсивні дослідження щодо керування вихровою структурою примежових шарів у в'язкій однорідній нестисливій рідині. Успішно розв'язано низку складних задач з нестационарної надзвукової газової динаміки. Зокрема, отримані в цьому напрямку результати дозволили розробити імпульсні надзвукові ежектори з коефіцієнтом аспірації більше 4.

На даний час у відділі працюють 14 співробітників, серед яких три доктори та сім кандидатів наук.

Наукові напрямки діяльності відділу

З часів заснування відділу ГБ і КПШ всі фундаментальні дослідження його співробітників акцентувались на пізнанні особливостей структури течії в примежовому шарі, який формується на поверхні обтічних тіл при різних режимах і швидкостях руху. Центральним у цій царині є питання про зв'язок зазначеної структури течії з інтегральними характеристиками тіл, що рухаються в різних середовищах – силою опору та підйомною силою. Тут при розв'язанні практично всіх задач органічно поєднуються теоретичні й експериментальні методи досліджень. При цьому проблематика як фундаментальних, так і прикладних досліджень завжди виходила з актуальності сучасних питань, які стоять перед світовою наукою. Так, ще у 1960-их рр. М.Крамер опублікував результати експериментальної роботи, яка дозволила висунути сміливу гіпотезу про здатність гідробіон-

тів змінювати структуру примежового шару на своїй поверхні. Ця здатність забезпечує стійкість ламінарного примежового шару або затягування переходу при великих числах Рейнольдса.

Відділ ГБ КПШ зі своїми результатами щодо дослідження механізму формування збурень у примежовому шарі за різних способів впливу та керування процесом переходу став провідною науковою організацією в СРСР з цієї проблематики. Інтерес закордонних дослідницьких центрів до наших робіт, який зберігся й донині, говорить про актуальність і значущість сучасної наукової діяльності відділу.

Наприкінці 1970-их рр. вагомі результати гідробіонічних досліджень та високий авторитет завідувача дозволили нашому відділу стати головною організацією в СРСР зі створення коливного рушія для підводного човна. Зрештою було розроблено схему рушія, реалізовану в напівнатурному об'єкті автономної моделі підводного човна «Пікша», який у 1987 році пройшов ходові випробування. У 1988–1991 рр. відділ гідробіоніки та керування примежовим шаром був головною організацією в СРСР з проблеми зниження гідродинамічного опору тертя. З часу отримання Україною незалежності наш колектив зберіг лідируючі позиції щодо науково-практичного забезпечення ряду аспектів розвитку вітчизняного судно- та авіабудування.



Співробітники відділу ГБ КПШ (зліва направо): (верхній ряд) В.О.Оришичев, к.т.н. с.н.с. В.І.Коробов, к.т.н. А.В.Семеняко, д.ф.-м.н. ст. докл. Я.В.Загуменний, PhD В.В.Філонов; (центральний ряд) к.ф.-м.н. Н.Ф.Димитрієва, чл.-кор. НАН України Г.О.Воропаєв, к.т.н. О.О.Баскова, Ю.О.Парамонов, (нижній ряд) О.О.Сірош, О.М.Дворянська, к.ф.-м.н. Н.В.Розумнюк

Теоретичні роботи відділу

Історично теоретичні роботи відділу почалися з апробації методів інтегрування ламінарних примежових шарів за різних граничних умов. У роботах Л.П.Козлова та очолюваного ним колективу [1–3, 5] отримано аналітичні й чисельні розв'язки різних задач, отримані при розв'язанні повних рівнянь Нав'є–Стокса та їх асимптотичних наближень. Розроблено спосіб урахування початкової турбулентності відносно точки переходу в задачах гідродинамічної стійкості [2].

Аналіз експериментальних даних показав, що ламінаризація примежового шару шляхом відсмоктування рідини можлива, виходячи з умови рівності місцевого числа Рейнольдса його критичному значенню в точці переходу. Отримано основні залежності, які дозволяють оцінити можливий вплив початкової турбулентності та шорсткості поверхні на оптимальний розподіл швидкості відсмоктування [2]. Показано, що реалізація оптимального відсмоктування з урахуванням основних факторів, які визначають перехід, дозволяє отримати додатковий ефект зниження аерогідродинамічного опору в порівнянні з однорідним режимом відсмоктування. Наприклад, при числі Рейнольдса 10^7 цей ефект сягнув близько (30 ... 40)%. Отримані розв'язки дозволили виробити ідеологію оптимального відсмоктування для збереження ламінарної форми течії. Сформульовані в той період лінійні задачі стійкості ламінарного примежового шару в класичній постановці Орра–Зоммерфельда для визначення залежності критичних чисел Рейнольдса від параметрів відсмоктування були успішно розв'язані співробітниками відділу (В.Скрипачов, В.С.Челишков, О.Д.Нікішова). Вивчено можливість використання відсмоктування рідини для зменшення або повної ліквідації вторинних течій у просторовому примежовому шарі [2]. Теоретично досліджено тривимірний примежовий шар, визначено гідродинамічний опір пластини з ковзанням та за наявності відсмоктування [3]. Визначено характеристики ламінарного примежового шару та опір тертя еліпсоїдів обертання за наявності розподіленого відсмоктування (Л.П.Козлов, А.І.Циганюк). Розраховано ламінарний примежовий шар на теплоізолюваній поверхні при великих дозвукових швидкостях газу та наявності відсмоктування в широкому діапазоні чисел Маха та Прандтля. Досліджено течію в'язкого стисливого газу в районі щілини при інтенсивному відсмоктуванні ламінарного примежового шару.

Л.П.Козловим запропоновано напівемпіричну теорію переходу ламінарного примежового шару в турбулентний під впливом початкової турбулентності потоку та шорсткості поверхні тіла [1]. Показано, що результати розрахунків за отриманими теоретичними залежностями задовільно відповідають експериментальним даним. При врахуванні відсмоктування розглянуто спільний вплив основних факторів, які визначають перехід ламінарного примежового шару нестисливої рідини в турбулентний, на критичне число Рейнольдса в точці переходу. Ці дослідження узагальнені для випадку стисливого газу [1].

Розроблено метод урахування довжини перехідної області при розрахунку характеристик плоского та осесиметричного примежових шарів з невеликим поздовжнім градієнтом тиску в нестисливій та стисливій речовині. Вивчено вплив протяжності перехідної області на складові в'язкісного опору. Результати дослідження впливу перехідної області

на гідродинамічні характеристики обтікання тіл узагальнено в монографії [5].

Чисельними методами О.Д.Нікішовою [5, 23] досліджено нелінійний етап переходу ламінарної течії в турбулентну в примежовому шарі на поздовжньо-увігнутій поверхні. Показано, що нелінійний розвиток вихорів Тейлора–Гертлера характеризується уповільненням їх зростання й перерозподілом енергії збурень, періодичною за розмахом зміною товщини примежового шару, виникненням у зовнішній його частині областей з суттєвим зсувом швидкості, значними варіаціями коефіцієнта тертя при поступовому його переході від ламінарного до турбулентного значення, укрупненням довжини хвилі вихорів та появою «двоповерхових» вихрових структур. Теоретично й експериментально досліджено умови втрати стійкості ламінарної течії па криволінійній траєкторії вигнутої поверхні, що рухається [23].

На підставі виконаних досліджень та систематизації відомих результатів було запропоновано систематизацію етапів переходу від ламінарного режиму течії в примежовому шарі до турбулентного [4].

Наприкінці 1970-их рр. у відділі сформувався напрямок досліджень з моделювання турбулентних складних течій, основу якого становлять розвиток диференціальних моделей турбулентності та чисельних схем (Г.О.Воропаєв, Ю.О.Птуха). Було розроблено модель взаємодії турбулентного потоку з поверхнею в'язкопружного шару, що деформується. Спершу це було зроблено на підставі k - ε -моделі турбулентності в кандидатській дисертації Г.О.Воропаєва «Дослідження впливу аналога зовнішнього покриття китоподібних на турбулентний примежовий шар» та більш пізній дисертаційній роботі В.І.Попкова «Взаємодія турбулентного примежового шару з в'язкопружним покриттям труби». Для моделювання складних турбулентних течій адаптовано модель перенесення напружень Рейнольдса, що дозволило враховувати анізотропію нормальних напружень Рейнольдса й відмовитись від постулювання коефіцієнта турбулентної в'язкості [5].

Згодом на цій основі було розроблено модель взаємодії турбулентного потоку з деформівною поверхнею в'язкопружного шару. Основним моментом даного підходу є задання потокових граничних умов для енергії турбулентності – вони визначають обмін енергією між турбулентним шаром та покриттям, на поверхні якого формується примежовий шар. При цьому модифікація моделі перенесення напружень Рейнольдса дозволила виконувати розрахунки пристінних турбулентних потоків і при малих локальних числах Рейнольдса з виконанням умов прилипання для напружень Рейнольдса й асимптотичної поведінки швидкості дисипації у в'язкому підшарі, коли переважає кінематична вязкість. Виконані чисельні дослідження дозволили обґрунтувати гіпотезу розподіленого демпфування як способу зниження турбулентного опору тертя та розробити методику вибору параметрів в'язкопружного покриття для зниження опору при відповідному числі Рейнольдса. Отримання цього результату, захищеного патентом США [24], зумовило перенесення акценту на пошук методів керування турбулентним примежовим шаром для зниження опору тертя й запобігання відриву.

У роботах Г.О.Воропаєва, В.І.Попкова, Я.В.Загуменного були розв'язані задачі пульсаційної взаємодії різних покриттів зі збуреним примежовим шаром та задача енергетичної взаємодії турбулентного примежового шару з енергетично ємним покриттям. Роз-

глядалися покриття з однорідного ізотропного матеріалу, шаруваті, з регулярною структурою та з анізотропних матеріалів. Показано, що ізотропні матеріали покриття здатні змінювати енергетичний баланс пристінної області примежового турбулентного шару за рахунок демпфування. Це відбувається за рахунок зниження частки генерації турбулентної енергії та зміщення максимуму пульсаційної енергії турбулентного примежового шару від стінки, що автоматично збільшує локальну товщину в'язкого підшару. Це дозволило було теоретично обґрунтувати припущення про те, що за допомогою демпфування пульсаційної енергії можна зберегти енергію основного потоку. Показано, що на поглинаючих покриттях в пристінній області істотно збільшується ступінь анізотропії компонент тензора Рейнольдса, що призводить до зниження опору тертя.

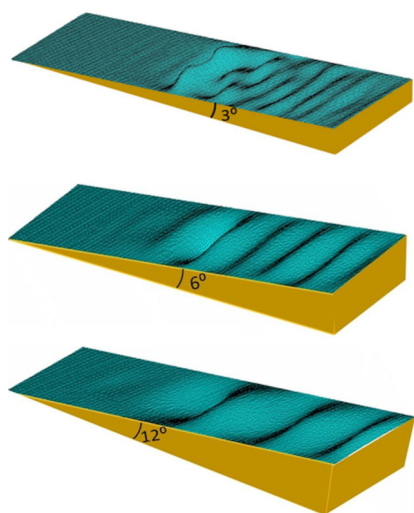
Ідеї керування турбулентним примежовим шаром за допомогою полімерних добавок (Н.Ф.Димитрієва) чи в'язкопружних покриттів (Я.В. Загуменний) отримали подальший розвиток у теоретичних дисертаційних роботах співробітників відділу.

На початку 1990-их рр. у різних наукових центрах було визнано, що природу втрати стійкості в градієнтних течіях при великих числах Рейнольдса змінити не можна, вдається лише трохи її сповільнити. Зазначення твердження знаходить підтвердження в сучасних роботах співробітників відділу (Я.В.Загуменний, О.О.Баскова). Цей висновок значно охолоджує інтерес до зазначеного напрямку досліджень зниження опору реальних об'єктів. Разом з тим, необхідність у фундаментальних дослідженнях нелінійної стадії переходу та формування вихрової структури в градієнтному турбулентному потоці зберігається й досі.

Співробітниками відділу розроблено методики аналізу методів керування структурою течій та інтегральними характеристиками обтічних тіл на основі новостворених алгоритмів чисельного розв'язання зв'язаних задач обтікання тіл, які можуть здійснювати вимушені нестационарні рухи в потоці рідини або пасивно деформуватися під дією його збурень. Згадана методика стала основою докторської дисертації Я.В.Загуменного, була захищеною у 2020 році. Результати чисельного моделювання локальної взаємодії збурень турбулентного потоку з в'язкопружним покриттям змінної товщини показали здатність останнього поглинати енергію турбулентних пульсацій примежового шару. Також було показано можливість генерації спрямованого довгохвильового поля на поверхні покриття у відповідь на пульсації тиску потоку, що сприяє збудженню власних збурень примежового шару, зсуву спектру пристінної турбулентності в низькочастотну область та генерації рушійної складової тяги. Встановлено, що локальне джерело збурення на обтічній поверхні у формі біжучої хвилі з заданою амплітудою, частотою та фазовою швидкістю при певній сукупності керуючих параметрів може збуджувати власні збурення примежового шару, сприяючи якнайдовшому підтриманню вниз за потоком детермінованої вихрової структури з ефектом затягування переходу пристінної течії в розвинений турбулентний режим.

Поряд з теоретичним вивченням розвитку власних збурень примежового шару, у відділі ставились завдання щодо експериментального дослідження впливу на примежовий шар збурень різної структури та скінченної амплітуди. Так виникли роботи з керування структурою примежового шару при руйнуванні великих вихорів на його зовнішній

межі (LEBU) або створення структурних малих поздовжніх вихорів у пристінній області примежового шару (риблети). Зрештою, природним узагальненням цих двох методик стало створення детермінованих поздовжніх вихрових структур для керування власною вихровою структурою течії поблизу поверхні. Враховуючи багатопараметричність проблеми, цілком зрозумілою є велика кількість робіт, в яких вивчається вплив генерованих збурень на інтегральні характеристики примежового шару. Проте ініціювати в примежовому шарі трансверсальні вихрові утворення, подібні до природних вихрових структур, на нелінійному етапі переходу недоцільно, оскільки вони самі ініціюють подальше руйнування монотонного профілю швидкості з утворенням хаотичного поздовжнього розподілу вихорів.



*Поширення поверхневої хвилі
по клиновидному в'язкопружному
покриттю*

Виходячи з цього, було зроблено висновок про доцільність генерування саме детермінованих поздовжніх вихрових структур. Цьому напрямку досліджень присвячено велику кількість експериментальних робіт співробітників відділу під керівництвом В.В.Бабенка в минулому та Г.О.Воропаєва в теперішній час, за безпосередньої участі професора Є.О.Шквара, котрий проводив дослідження за допомогою сучасної апаратури та методики вимірювань просторової структури потоків Particle Image Velocimetry (PIV).

Сучасний розвиток експериментальної техніки та технологій вимірювань дозволив вивчати тонку тривимірну структуру пристінних потоків. Виявлення когерентних вихрових структур різних масштабів на нелінійних етапах розвитку власних збурень примежового шару стимулювало розвиток чисельних досліджень градієнтних течій при великих числах Рейнольдса у результаті розв'язання нестационарних тривимірних рівнянь Нав'є–Стокса та з застосуванням моделей турбулентності LES (DES) і їх модифікацій.

З розвитком обчислювальної техніки за останні тридцять років суттєво розширилися можливості чисельного моделювання складних нестационарних потоків, яке стало основним апаратом вивчення формування вихрових структур у пристінних течіях на структурованих поверхнях. В роботах співробітників відділу (Н.В.Розумнюк, О.О.Сірош, Я.В.Загуменний, О.О.Баскова) досліджено взаємозв'язок структури генерованої вихрової структури з геометрією обтічної структурованої поверхні, визначено масштаби вихрової структури та параметри її стійкості в залежності від числа Рейнольдса.

З розвитком обчислювальної техніки за останні тридцять років суттєво розширилися можливості чисельного моделювання складних нестационарних потоків, яке стало основним апаратом вивчення формування вихрових структур у пристінних течіях на структурованих поверхнях. В роботах співробітників відділу (Н.В.Розумнюк, О.О.Сірош, Я.В.Загуменний, О.О.Баскова) досліджено взаємозв'язок структури генерованої вихрової структури з геометрією обтічної структурованої поверхні, визначено масштаби вихрової структури та параметри її стійкості в залежності від числа Рейнольдса.

На підставі чисельних розв'язків нестационарних тривимірних рівнянь Нав'є–Стокса, які дозволяють проводити дослідження процесів виникнення детермінованих збурень потоку довільної інтенсивності, отримано низку фундаментальних тверджень

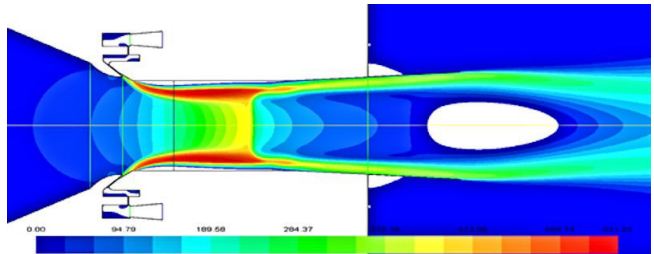
щодо процесів формування вихрової структури в пристінних областях течій. Зокрема, доведено існування лінійної стадії втрати стійкості течії в трубі при формуванні профілю Пуазейля, знайдено взаємозв'язок форми, масштабів і інтенсивності генерованих вихрових структур з параметрами неоднорідності обтічної поверхні, показані вплив нестационарності руху обтічної поверхні на формування вихрової структури в примежовому шарі та вибуховий характер втрати стійкості трансверсальної вихрової структури.

У дослідженнях співробітників відділу були визначені умови приєднання відривної течії, формування детермінованої структури сліду. Вивчено виникнення пропульсивної сили на коливних крилових профілях, що здійснюють вимушені обертові та/або поперечні коливальні рухи в потоці в'язкої нестисливої рідини в широкому діапазоні вимушених коливань відповідно до реальних режимів плавання гідробіонтів – від низькочастотного руху при імпульсному розгоні до високочастотних низькоамплітудних коливань тіла для підтримання швидкісного режиму руху (Я.В.Загуменний). Виявлено, що додатковий гнучкий хвостовик крилового профілю, який здійснює активні коливання відповідно до заданого закону руху або пасивно деформується під дією вихрових збурень потоку, може при певних умовах підсилювати пропульсивний ефект крила та зменшувати інтенсивність генерованого вихрового сліду. Отримані результати сприяють поглибленому розумінню процесів ламінарно-турбулентного переходу в примежових шарах. Вони мають широкий спектр практичних застосувань для зниження опору обтічних поверхонь і створення пропульсивної тяги коливними крилоподібними рушіями на підводних або повітряних апаратах і транспортних засобах.

Відповідаючи на запити часу, коло задач, які вирішують співробітники відділу, суттєво розширилося. Так, було розв'язано низку задач надзвукової динаміки в обмежених об'ємах. На підставі проведеного чисельного моделювання задач надзвукової газової динаміки вдалося обґрунтувати застосування надзвукового тангенціального сопла й визначити його параметри для імпульсного надзвукового ежектора з необхідними характеристиками (коефіцієнт ежекції більше чотирьох), призначеного для застосування в системах безпеки транспортних засобів.



Формування вихрового сліду при коливному русі крила



Характерне поле швидкості в осесиметричній камері змішування при формуванні ударної хвилі

Експериментальні установки та методи дослідження примежового шару

Під час завідування відділом професор Л.П.Козлов запропонував низку нових ідей і сформулював завдання експериментального дослідження процесів переходу ламінарної форми течії у примежовому шарі до турбулентної. З того часу й дотепер усі експериментальні дослідження у відділі ГБ та КППШ спрямовуються на вивчення характеристик пристінних течій, гідробіоніки, а також прикладних аспектів гідромеханіки.



Гідродинамічний стенд для дослідження пристінних течій: дослідники В.В.Бабенко, В.І.Коробов

У 1974 році стенд було істотно модернізовано В.І.Коробовим. Стінки його робочої ділянки прозорі, забезпечується швидкість потоку до 0,8 м/с. На стенді були виконані дослідження гідродинамічної стійкості примежового шару на жорстких та еластичних стінках, керування потоком шляхом відсмоктування пристінної течії та інші. За допомогою телур методу досліджено розвиток збурень потоку на початкових етапах переходу при низькому ступені турбулентності набігаючого потоку. Особливу увагу приділено реєстрації та аналізу профілів швидкості $U(y, z)$ як способу документування тривимірності збурень. Виявлено, що при $\varepsilon \approx 0.05\%$ втрата стійкості супроводжується тривимірними ефектами. Отримано хорошу відповідність зміни профілів швидкості у трансверсальному напрямку з даними Шубауера, Клебанова та Вортмана, що відповідає початку нелінійного етапу переходу.

Розроблено методики вимірювання поля усереднених та пульсаційних складових швидкості за допомогою термоанемометрів, у тому числі, фірми DISA Electronic (М.О.Гнітецький, В.М.Шакало, Л.П.Козлов) [5], лазерно-доплерівськими вимірювачами швидкостей (LDSM) (В.П.Іванов, В.О.Блохін) [6, 12], докладно досліджено просторове поле швидкостей у примежовому шарі. Це дозволило однозначно характеризувати кожен етап переходу парою профілів – середньої та пульсаційної швидкості, повторюючи класичний експеримент Шубауера та Скремстеда. Вперше збудовано так звані «граничні нейтральні криві», що охоплюють область усіх коливань, зафіксованих за допомо-

Для проведення досліджень тонкої структури примежового шару та вимірювання силових характеристик, які виникають при буксируванні моделей у гідроканалі та коливанні крил, у відділі створені спеціальні установки. У 1966 році В.В.Бабенко розробив гідродинамічний стенд малої турбулентності [4] і застосував удосконалений телур метод Вортмана для візуалізації примежового

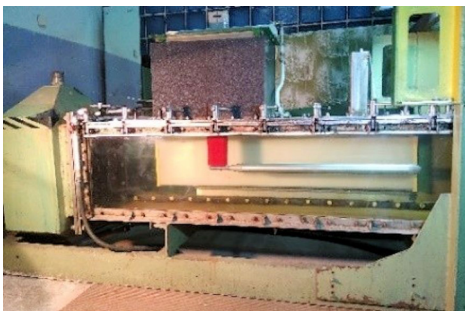
гою телур-методу в примежовому шарі. Нейтральні криві, побудовані в нетрадиційних координатах «хвильове число – фазова швидкість», дозволили отримати емпіричні залежності для збурень, що розвиваються із частотою нейтрального коливання.

Виконано також спеціальні модельні дослідження стійкості примежового шару на криволінійних поверхнях (В.В.Бабенко, Н.Ф.Юрченко). Нелінійна стійкість примежового шару вивчалася на основі аналізу розвитку системи поздовжніх вихорів Бенні–Ліня, які збуджуються ґраткою вихроутворювачів (способом зосередженого впливу) або найбільш обтічною поверхнею за рахунок періодичної зміни її властивостей у трансверсальному напрямку (спосіб розподіленого впливу). Основним результатом цих досліджень стали криві діаграми стійкості Гертлера [9], експериментально отримані вперше.

Також освоєно методику візуалізації вихрових течій за допомогою різнокольорових струменів рідини (С.О.Довгий, В.П.Мусієнко). Впроваджено метод хімічних покриттів і метод пофарбованих струменів для визначення протяжності ламінарних ділянок у примежовому шарі моделей (Л.П.Козлов, А.Ф.Можанська). Запропоновано систему вихроутворювачів для штучного формування когерентних структур у турбулентному примежовому шарі (В.В.Бабенко) [8].

Для вивчення кінематики плавання риб було розроблено та виготовлено гідродинамічну трубу (В.П.Каян), яка дозволяла проводити дослідження в експедиційних умовах як на березі водойм, так і на борту дослідницьких суден у морі (В.Ю.П'ятецький). Пізніше в цій трубі здійснювалася візуалізація обтікання та вимірювання інтегральних гідродинамічних характеристик багатьох моделей з кавітацією та різними технологіями керування примежовим шаром (В.І.Коробов, В.В.Мороз). У гідродинамічній трубі також проводилися експерименти з нестационарної гідродинаміки. Зокрема, досліджувались картини візуалізації потоку навколо крила (В.Н.Хатунцев) і в заглибленнях (А.В.Воскобійник), а також миттєві значення гідродинамічних характеристик крила, що коливається. (В.І.Коробов).

В.Г.Белінським, В.І.Коробовим та В.В.Морозом розроблено ряд тензодинамометрів для вимірювання гідродинамічних сил, що діють як на моделі в цілому, так і на окремі їх зони при буксируванні у гідродинамічному каналі. Запропонована методика досліджен-



*Гідродинамічна труба (ГДТ). Робоча ділянка 400 × 400 × 1700 мм.
Стінки прозорі. Швидкість до 2 м/с*



*Моделі для досліджень різних методів керування примежовим шаром
(у тому числі комбіноване КППШ – демпфуюче покриття з вприском полімерів)
при буксируванні в гідроканалі при швидкості до 25 м/с*

ня формування примежового шару потоками з в'язко-пружними стінками у широкому діапазоні чисел Рейнольдса передбачає проведення випробувань на стендах різних типів.

Експериментальні дослідження інтегральних гідродинамічних характеристик об'єктів з реалізацією різних методів керування примежовим шаром (відсмоктування, застосування полімерних добавок, демпфуючих покриттів, а також комбінованих засобів КППШ) здійснювалися на великомасштабних моделях при їх буксируванні в дослідних басейнах. (А.І.Циганюк, М.О.Гнітецький, В.І.Коробов, М.В.Канарський).

Для проведення серії досліджень гідродинамічного тертя на вставках з еластичною стінкою, які монтувалися на крилі й поздовжньо обтічному циліндрі, В.І.Коробовим розроблені призначені для буксирувальних випробувань експериментальні установки ЕУ-1 ЕУ-2, що містять вбудовані однокомпонентні тензометричні динамометри [7].

А.І.Циганюком була створена установка для дослідження впливу відсмоктування на характеристики примежового шару та гідродинамічний опір на поздовжньо обтічному циліндрі [5]. Основна особливість цієї установки – вдала конструкція проникної обшивки та системи відсмоктування примежового шару.

О.Д.Нікішова розробила експериментальну установку типу «коаксіальні циліндри, що обертаються», для вивчення закономірностей формування вихорів Тейлора [5].

Дослідження прикладних аспектів примежового шару

За час існування відділу в ньому виконано широкий спектр фізичних досліджень при-межового шару з різними граничними умовами. Їхні результати не лише мають беззаперечну наукову новизну, а й можуть бути застосовані при вирішенні прикладних проблем. Наші співробітники розробили понад 70 нових технологій, багато з яких вже реалізовані в різних галузях промисловості. Нижче наведені деякі результати наукових досліджень, які можуть бути покладені в основу новітніх розробок.

У 1960-их рр. створено вихрову теорію гребного гвинта з маточкою при довільно-

му розподілі циркуляції швидкості вздовж лопаті. Показано, що врахування додаткових швидкостей, викликаних впливом маточки, при профілюванні гребного гвинта не викликає значної зміни упору і моменту, але істотно впливає на місцеві гідродинамічні явища, які спостерігаються біля кореня лопаті.

З урахуванням в'язкісних ефектів професором Л.П.Козловим було сформульовано узагальнений постулат Жуковського–Чаплігіна у такому вигляді [18]: «При неусталеному русі зміна циркуляції швидкості навколо профілю крила в часі дорівнює різниці перенесення потоку вектора завихреностей швидкості за одиницю часу, який сходиться з верхньої та нижньої поверхонь у гідродинамічний слід». Узагальнений постулат Жуковського–Чаплігіна дозволяє врахувати в'язкісні ефекти при формуванні підйомної сили крила, включаючи явище відриву примежового шару.

У відділі виконані дослідження струминних течій, які поширюються вздовж поверхні з поздовжньою кривизною (ефект Коанда), що дозволило розробити ефективні схеми ежекторів і застосувати їх у різних змішувачах (Р.Б.Луцкевич, А.І.Циганюк, Л.П.Козлов).

В експериментальних дослідженнях поздовжнього обтікання циліндра в затопленому струмені з додаванням полімерних розчинів різної концентрації (В.П.Іванов, В.О.Блохін, В.В.Бабенко і Л.П.Козлов [12]) показано зміну профілю пристінкової поздовжньої швидкості від струминної до форми примежового шару, запропоновано пояснення механізму зниження опору тертя.

В.В.Бабенком та В.І.Коробовим виконані експериментальні дослідження зниження опору тертя в залежності від концентрації та витрати розчину полімеру, що інjektується в примежовий шар через декілька щілин уздовж потоку. Застосовувався розчин полімеру WSR-301, а також різні комбінації штучних полімерів, синтезованих І.А.Усковим та Л.А.Момот у Київському державному університеті ім. Т.Г.Шевченка.

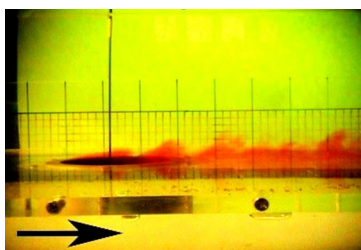
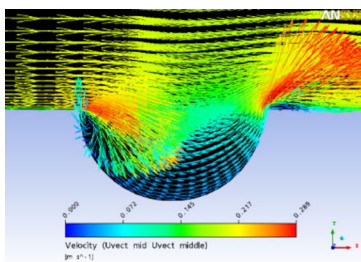
Розроблено декілька ефективних змішувачів для приготування розчину полімеру заданої концентрації та інжектор для його вприску до примежового шару через кілька щілин з попередньою підготовкою конформації молекул полімерів (В.В.Бабенко, В.І.Коробов, В.В.Мороз). Ці інновації оформлені у вигляді двох патентів США [13, 14].

Вперше вивчено фізичну картину формування водного потоку при поздовжньому обтіканні циліндра, коли в його носовій частині суттєво знижувалася температура, порівняно з температурою навколишнього середовища. Розглянуто задачу формування градієнта щільності впоперек примежового шару (В.В.Бабенко, В.І.Коробов).

В.В.Бабенко, В.І.Коробов також виконали дослідження в примежовому шарі при інжекції газових бульбашок. Вимірювання були зроблені, коли бульбашки подавалися до примежового шару через поперечну щілину або у вигляді дискретної пелени. В останньому випадку при пропусканні струму через поздовжні дротики в примежовий шар інjektувалися вертикальні шари водневих бульбашок, які формували систему поздовжніх вихорів.

Багаторічні науково-дослідні роботи з чисельного та фізичного моделювання особливостей генерації вихорів та їх взаємодії з примежовим шаром, які проводились у відділі, дали можливість визначити механізм і природу формування, еволюції та взаємодії

вихорів з обтічною поверхнею та оцінити ефективність використання таких поверхонь з метою зменшення їх опору та збільшення тепломасопереносу. Особливо важливі такі дослідження для авіаційної галузі. Зокрема, відомий метод використання вихороутворювачів на крилах з метою усунення відриву на передній кромці та задній частині крила при великих кутах атаки. Технології керування великими когерентними вихровими структурами (КВС) застосовувалися також у підводній техніці.



Формування вихрової течії і викид вихорів назовні зі сферичної лунки та пари овальних лунок: чисельне та фізичне моделювання

В.П.Мусієнком під керівництвом В.В.Бабенка було розроблено методику формування в примезовому шарі когерентних вихрових структур при обтіканні лунок різної форми [34]. Дослідники виконали цикл експериментів з визначення фізичної картини тривимірних течій у лунках різної конфігурації та їх комбінаціях.

Чисельне та фізичне моделювання в гідродинамічному лотку показало, що, в залежності від особливостей лункових поверхонь і режимів течії усередині них, формуються вихрові структури, які взаємодіють з обтічною поверхнею лунок та викидаються назовні в примезовий шар, впливаючи на його структуру (Г.О.Воропаєв, Н.В.Розумнюк, А.В.Воскобійник, В.А.Воскобійник, О.А.Воскобойник, [21, 28–33].

В інтегральному експерименті у гідродинамічній трубі підтверджені висновки попередніх досліджень. Формування на поверхні поздовжньо обтічного циліндра декількох поясів з «косими» попарно розміщеними овальними лунками дозволило на певних режимах потоку, що обтікає модель, отримати значне зниження гідродинамічного опору [7]. Здатність асиметричних овальних лунок створювати вихрові структури з інтенсивною вторинною течією певного масштабу зумовлює їх перевагу перед сферичними заглибленнями та забезпечує їх цільову працездатність. Отримані результати керування когерентними вихровими структурами можуть використовуватись для збільшення ступеню змішування у вихрових камерах, підвищення якості роботи двигунів внутрішнього згоряння та МГД-генераторів, у різних процесах хімічних технологій, для інтенсифікації процесів теплопередачі тощо.

На основі результатів виконаних гідробіонічних досліджень водних тварин, що швидко плавають, розроблено низку нових методів зниження опору (В.В.Бабенко). У розвиток ідеї М.Крамера про взаємодію обтічного потоку з демпфуючою поверхнею у

відділі було поставлено та проведено цикл експериментальних досліджень. На підставі результатів вивчення структури зовнішніх покриттів швидкоплавних водних тварин В.В.Бабенком сконструйовано та виготовлено різні моделі еластичних покриттів [8]. На них виконано широкий клас фізичних досліджень природного перехідного примежового шару на всіх стадіях його розвитку [5, 7]. Виявлено властивість еластичних пластин стимулювати формування системи стійких поздовжніх вихорів на початкових етапах переходу. При цьому протяжність зони втрати стійкості на еластичних пластинах збільшувалась, принаймні, в чотири рази. Запропоновано гіпотезу щодо механізму взаємодії потоку з еластичною поверхнею. Отримано емпіричні залежності хвильового числа та фазової швидкості від числа Рейнольдса. Оцінено величини швидкостей наростання плоских збурень на еластичних пластинах.

Під керівництвом В.В.Бабенка виконані експериментальні дослідження кінематичних характеристик турбулентного примежового шару при обтіканні різних видів еластичних пластин водним і повітряним потоками [7]. Отримано миттєві профілі швидкості, на підставі яких побудовані усереднені та пульсаційні профілі швидкості, визначені спектральні та кореляційні характеристики турбулентного примежового шару. Це дозволило оцінити зміну породження та дисипації турбулентної енергії в примежовому шарі на в'язкопружному покритті.

Поруч з реєстрацією характеристик потоку вимірювалися коливання обтічної поверхні шляхом аналізу сигналу світлового променя, відбитого від поверхні пластини. Пульсації тиску фіксувалися із допомогою спеціально виготовлених датчиків тиску. Вимірювання опору тертя на еластичних пластинах і поздовжньо обтічних циліндрах підтвердило правомірність методу та продемонструвало можливість суттєвого зменшення опору тертя. Таким чином, було показано шляхи підвищення ефективності застосування еластичних покриттів.

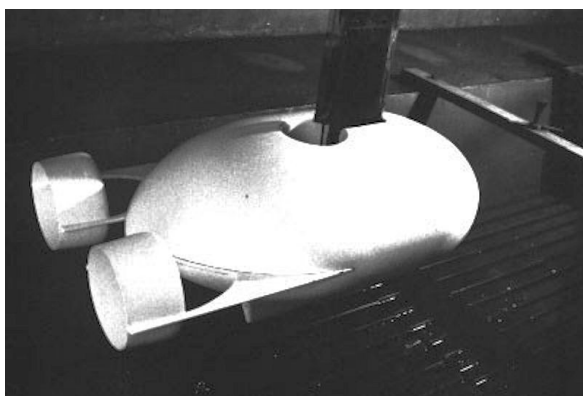
Це дало підставу В.І.Коробову запропонувати, а згодом, і експериментально дослідити комбінований метод керування примежовим шаром, який полягає в одночасному використанні двох (або більше) способів впливу на пристінну течію [7, 10]. Вплив на характеристики примежового шару шляхом упорскування розчину полімеру та еластичної поверхні було вивчено шляхом вимірювання інтегральних гідродинамічних характеристик подовжньо обтічних циліндрів при їх буксируванні в гідроканалі. Виявлено селективний характер впливу еластичної стінки на інтегральні характеристики примежового шару, який корелює з її динамічними в'язкопружними властивостями. При комплексному впливі отримано підвищення гідродинамічної ефективності, порівняно з застосуванням окремих факторів, – спостерігається адитивність ефектів.

У розвиток робіт з моделювання в'язкої взаємодії у двофазних середовищах Г.О.Воропаєвим у параболічному наближенні розв'язано задачу про в'язке залучення повітря в природній та вентильованих кавернах [37], що дозволяє визначати втрату повітря каверною в залежності від чисел Рейнольдса та Фруда. Результати цієї моделі підтверджені в експериментальних дослідженнях з вентильованою каверною В.І.Коробовим та подальших чисельних дослідженнях Н.Ф.Димитрієвою та аспірантом С.О.Ковалем [34].

Виконано великий цикл як чисельного моделювання (Г.О.Воропаєв, Н.В.Розум-

нюк, Я.В.Загуменний, О.О.Сірош), так і експериментальних досліджень (В.І.Коробов, Ю.О.Парамонов) нестационарної газодинаміки вільних і напівобмежених надзвукових струменів. Визначено параметри, що забезпечують підвищення ефективності газових ежекторних систем, які працюють в імпульсному режимі [38].

В лабораторії В.Г.Белінського (див. розділ «Швидкісний гідродинамічний басейн») проведено експериментальні дослідження динаміки автономних і буксированих підводних апаратів та їхніх елементів.



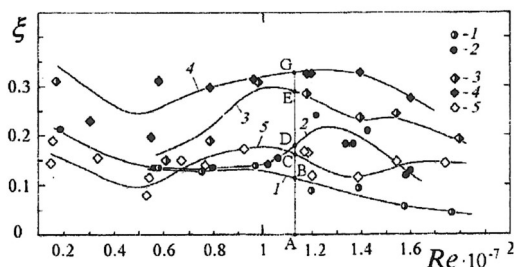
Форма корпусу автономного підводного апарата

В.В.Морозом розроблено математичну модель динаміки керованого буксированого підводного апарата з поворотним крилом для оцінки його динамічних якостей. Виконано відповідні модельні та натурні експериментальні дослідження. Фізичні експериментальні дослідження моделі глісуючої поверхні дозволили істотно зменшити індуктивний опір методами впливу на коге-

рентні вихрові структури. Розроблено нові принципи проектування поверхонь, що глісують [17].

Запропоновані методи керування вихровими структурами та модифікація форми носових обводів профілю стерна дозволили на (10 ... 15)% збільшити ефективність стернового комплексу та, відповідно, маневреність траулера.

Досліджено перехідні режими руху моделей сучасних суден та вироблено рекомендації щодо принципів проектування перспективних кораблів з метою підвищення їх мо-



Коефіцієнт зниження опору $\xi(Re)$ за числами Рейнольдса: при інжекції полімерних добавок в примезовий шар на жорсткій (1,2) та еластичній поверхнях (3,4); 5 – без полімерних добавок ($C_q = 0$) на еластичній поверхні. Питома витрата ПЕО зменшувалася зі зростанням швидкості потоку, причому $C_{q(1,3)}$ менше $C_{q(2,4)}$

рехідних якостей (В.В.Мороз). Розроблено методику порівняльних експериментальних досліджень моделей сучасних суден. Випробування моделі судна різних масштабів у великому інтервалі швидкостей, досягнення яких забезпечують наявні в Інституті гідромеханіки НАН України басейн та швидкісний гідродинамічний стенд, дозволило отримати гідродинамічні характеристики в широкому діапазоні чисел Фруда.

Гідробіонічні аспекти експериментальних досліджень не-стаціонарного руху деформованих тіл у водному середовищі

При формуванні тематики гідробіонічних досліджень у відділі основну увагу було зосереджено на проблемі пристосувальних функцій гідробіонтів для зниження енергетичних втрат при плаванні – зниженні гідродинамічного опору та ефективному створенні тяги. Для цього було поставлено завдання з натурного вивчення морфологічної будови водних тварин, кінематики та енергетики їх плавання. Поряд з цим велика увага приділялась математичному та експериментальному моделюванню руху різних видів гідробіонтів.

Основна особливість проведення експериментів з живими організмами полягає в тому, що експериментатору, крім вирішення звичайних технічних завдань, доводиться додатково враховувати весь комплекс рефлексів досліджуваних об'єктів. Виконані в дослідному басейні буксирування деяких видів прісноводних риб та дельфінів показали необхідність створення спеціалізованих експериментальних установок для роботи з гідробіонтами. Співробітниками відділу (Л.П.Козлов, В.Ю.П'ятецький, А.П.Макаренков, В.П.Каян, В.І.Коробов, В.Н.Хатунцев) були створені такі установки для роботи з живими об'єктами як в лабораторних, так і в натурних умовах на полігоні. Першою з них стала біогідродинамічна труба для дослідження кінематики плавання та енергетики риб (1966 рік) [19]. Надалі (1969–1975 рр.) розроблено та виготовлено ще декілька варіантів установок такого типу. У 1970 році створено кільцеву установку типу «риб'яче колесо» [19]. В рамках даної тематики співробітниками відділу було розроблено серію стендів для вивчення особливостей створення упору, який виникає при різних законах руху об'єктів у водному потоці.

Починаючи з 1968 року, в морській акваторії Карадаського відділення Інституту біології південних морів АН УРСР і в гідробіонічному каналі, був змонтований на березі моря в Севастополі, проводилися дослідження кінематики плавання дельфінів і морських тварин у природних умовах (В.Ю.П'ятецький, Л.П.Козлов, В.М.Шакало, В.П.Каян) [19].

Співробітниками відділу спільно з Інститутом морфології АН СРСР досліджувалась морфологія шкіри китоподібних. Уперше В.В.Бабенко відзначив специфічну будову шкіри та виміряв пружні й дисипативні характеристики шкіри китоподібних на живих дельфінах. У результаті біогідродинамічних досліджень взаємодії шкірного покриття гідробіонтів з полем збурених швидкостей і тиску води у примежовому шарі В.В.Бабен-

ком розроблено біонічні принципи зниження гідродинамічного опору [8]. Визначено закономірності моделювання в гідробіоніці.

У натурних умовах морської акваторії В.М.Шакало за допомогою розробленої ним дистанційної термоанемометричної апаратури виміряв пульсаційні характеристики швидкостей у примежовому шарі дельфінів у залежності від величини прискорення [19]. Виявлено суттєве, у порівнянні з випадком обтікання твердого тіла аналогічної форми, зниження рівня пульсацій швидкостей у міру збільшення числа Рейнольдса. Це нове гідродинамічне явище, відкрите в природі, підтверджує й дозволяє пояснити отримане в дослідях М.Крамера зниження гідродинамічного опору на технічних моделях, обладнаних еластичною обшивкою. Запропоновано одну з можливих математичних моделей цього гідродинамічного феномену [5].

На моделі пластини з Х-компонуванням у гідродинамічній трубі (ГДТ) виконано продування за наявності риблет та еластичного покриття, яке заповнює западини між оребренням (В.І.Коробов). Така конструкція відображає побудову верхньої частини шкірного покриву дельфінів. Покриття, яке демпфує збурення потоку, виконане з тонкого шару еластичного матеріалу та має внутрішні поздовжні ребра жорсткості («перевернуті риблети»). Воно виявилось більш ефективним у ширшому діапазоні швидкостей з точки зору зменшення гідродинамічного опору тертя, ніж звичайні риблети [36]. Можна вважати, що у китоподібних тварин реалізується комбінований механізм впливу піддатливого шару. Середня частина шкірного покриву по товщині працює як «чисто» покриття, що демпфірує, а його тонкий верхній шар – як «перевернуті риблети».

Ґрунтуючись на гідробіонічних прототипах (меч-риба, риба-вітрило), які на коротких дистанціях здатні розвивати швидкість до 35 м/с, І.В.Леоненко та Л.П.Козлов запропонували модифікувати носові обводи технічних об'єктів. Вони виконали експери-

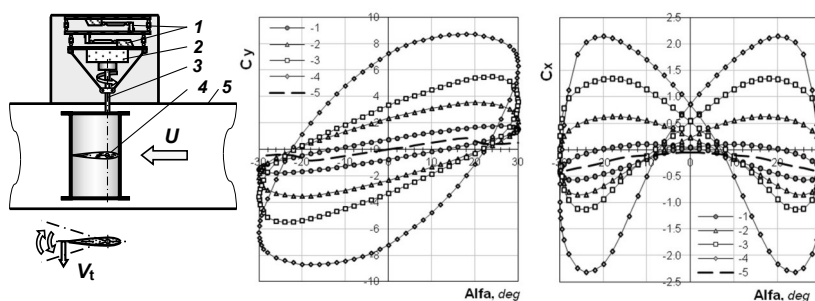


Схема розміщення крила, що коливається, в РД ГДТ (5): 1 – тензодинамометри X і Y ; 2 – механізм коливально-обертового руху; 3 – вісь підвісу крила (4).

Величини коефіцієнтів поздовжньої C_x (b) та поперечної C_y (a) гідродинамічної сили в межах одного періоду коливань залежно від миттєвого значення кута тангажу α при різних частотах коливання крила в потоці ($U = 0,31$ м/с, $\beta = \pm 30^\circ$):

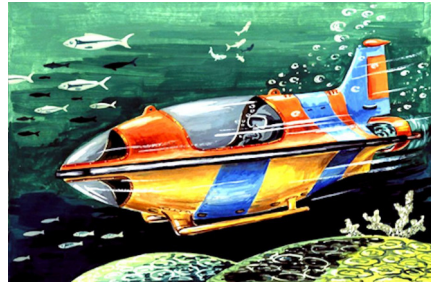
$$1 - V_t/U = 0,43; 2 - 0,88; 3 - 1,29; 4 - 1,79; 5 - 0$$

ментальні дослідження опору погано обтічних тіл з мечоподібними наконечниками.

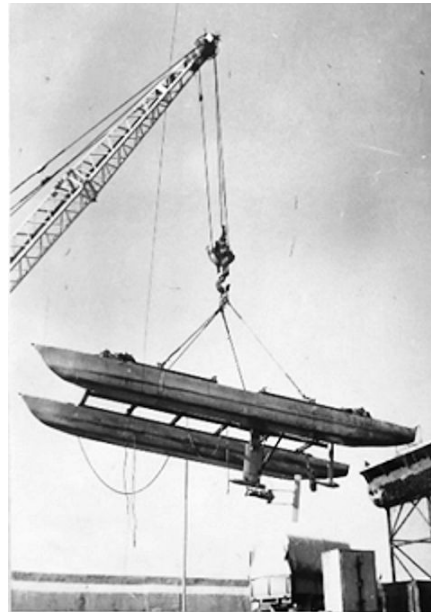
Г.О.Воропаєв розробив методику визначення гідродинамічних характеристик тіл складної форми при турбулентному режимі обтікання з урахуванням кривизни ліній струму та градієнта тиску. Показано вплив градієнта тиску, обумовленого кривизною стінки, на структуру примежевої турбулентності. При цьому виявлено зниження опору тертя на (10 ... 15) відсотків [5, 15].

В.В.Бабенком та В.І.Коробовим досліджено інтегральні гідродинамічні характеристики поздовжньо обтічних циліндрів з мечоподібними наконечниками різного масштабу при інжекції в примежовий шар води та водних розчинів полімерів різної концентрації [7]. Поєднання мечоподібної форми носових обводів, використання еластичних покриттів та подачі в примежовий шар розчинів полімерів дозволяє стійко знижувати опір тертя до 60% у широкому діапазоні чисел Рейнольдса.

В рамках даної тематики у відділі також виконано численні лабораторні та натурні дослідження різних видів нетрадиційних гідробіонічних рушіїв. У циклі вивчення плавцевого рушія експериментально досліджено гідродинамічне навантаження, яке діє на крило з подовженням 1,5, що коливається в потоці на частотах від 0,2 Гц до 2,5 Гц, при зміні швидкості потоку робочої частини гідродинамічної труби в діапазоні від 0,2 м/с до 1,2 м/с (В.І.Коробов) [36, 38]. Динамічне навантаження на крило залежить від числа Струхаля і зі зростанням частоти коливань може значно перевищувати параметри стаціонарної продувки за кутами атаки. В рамках даної тематики у відділі також виконано численні лабораторні та натурні дослідження різних видів нетрадиційних гідробіонічних рушіїв. У циклі вивчення плавцевого рушія експериментально досліджено гідродинамічне навантаження, яке діє на крило з подовженням 1,5, що коливається в потоці на частотах від 0,2 Гц до 2,5 Гц, при зміні швидкості потоку робочої частини гідродинамічної труби в діапазоні від 0,2 м/с до 1,2 м/с (В.І.Коробов) [36, 38]. Динамічне навантаження на крило залежить від числа Струха-



Форма корпусу підводного апарата



Катамаран з нетрадиційними рушіями: на колонках з динамометрами підвішені експериментальні зразки гвинтів та криловий рушій

ля і зі зростанням частоти коливань може значно перевищувати параметри стаціонарної продукції за кутами атаки.

Експериментально показано (В.П.Каян, В.М.Глушко) [19], що при великій відносній ході ($\lambda_p > 2$) коливне крило з деформівним профілем постійно створює позитивний гідродинамічний упор. Такий ефект не спостерігається для жорсткого коливного крила. Це явище зафіксоване у всьому діапазоні відносної ходи.

В 1972 році В.В.Бабенком була запропонована конструкція малого підводного апарату, в якій реалізовано багато гідробіонічних принципів. Зокрема, форма корпусу та стабілізаторів була подібна до аналогічних форм швидкоплавних тварин. У якості рушіїв використовувались коливний плавниковий рушій або гідрореактивні рушії (за аналогією з кальмаром).

Напівнатурні випробування гідродинамічних, гідро- та віброакустичних характеристик деяких типів нетрадиційних рушіїв проводилися в експедиційному режимі на акваторії морського полігону за допомогою спеціального стенду (В.Ю.П'ятецький, В.О.Блохін, В.І.Коробов), а також на автономному підводному апараті (В.Г.Белінський, В.В.Мороз, Б.С.Конс).

Відкриття та винаходи

Держкомітет СРСР у справах винаходів та відкриттів зареєстрував за №265 Державному реєстрі відкриття «Властивість шкіри китоподібних активно регулювати гідродинамічний опір плаванню за допомогою керування локальною взаємодією шкірного покриву обтічним потоком» (серед авторів В.В.Бабенко та Л.П.Козлов). В.В.Бабенко та Г.О.Воропаєв отримали по два патенти США та країн Євросоюзу. Співробітники відділу отримали понад 100 авторських свідоцтв на винаходи.

Науково-організаційна діяльність відділу

При науковому керівництві академіка НАН України Г.В.Логвиновича видавався науковий збірник «Біоніка» – з 1967 по 1998 рік було видано 28 випусків. Заступниками відповідального редактора були Л.П.Козлов, В.В.Бабенко. Координаційну раду з біоніки в СРСР протягом кількох років очолював Л.П.Козлов.

В.В.Бабенко став одним з організаторів та активних учасників розробки національних програм з суднобудування та авіабудування в незалежній Україні. У 1993–1995 роках він був одним із ініціаторів організації багаторічної спільної науково-дослідної програми Інституту гідромеханіки НАН України та американської компанії Cortana Corporation, яка представляє інтереси національного комітету США DARPA.

Г.О.Воропаєв здійснює керівництво науково-технічною Радою по розвитку Морських роботизованих систем при Судпромі України, є членом президії Національного комітету України з теоретичної і прикладної механіки.

Слід відзначити багаторічну роботу співробітників відділу в спеціалізованих радах Інституту гідромеханіки НАН України та університетів України з захисту кандидатських і докторських дисертацій (Л.П.Козлов, В.В.Бабенко, Г.О.Воропаєв), а також організації і проведення міжнародних конференцій.

З моменту створення відділу закінчили аспірантуру та були підготовлені понад 30 кандидатів наук, захищені 5 докторських дисертацій. Тут вирощені висококваліфіковані підготовлені наукові та інженерні кадри, які нині працюють практично у всіх дослідницьких підрозділах нашого інституту. Серед тих, хто працював у відділі в різні періоди його діяльності, Ю.М.Савченко став членом-кореспондентом НАН України, а С.О.Довгий – академіком НАН України.

Бібліографія

- [1] Козлов Л. Ф. *Теоретические исследования пограничного слоя*. Киев : Наукова думка, 1982. 296 с.
- [2] Козлов Л. Ф. *Ламинарный пограничный слой при наличии отсосывания*. Киев : Наукова думка, 1968. 195 с.
- [3] Козлов Л. Ф., Птуха Ю. А. О некоторых точных решениях нестационарных уравнений вязкой жидкости при отсосывании. *Инженерно-физический журнал*. 1981. Т. 41, № 2. С. 63–74.
- [4] Козлов Л. Ф., Бабенко В. В. *Экспериментальные исследования пограничного слоя*. Киев : Наукова думка, 1978. 184 с.
- [5] *Формирование турбулентности в сдвиговых течениях* / Козлов Л. Ф., Цыганюк А. И., Бабенко В. В. и Никишова О. Д. Киев : Наукова думка, 1985. 284 с.
- [6] *Лазерная анемометрия, дистанционная спектроскопия и интерферометрия* / Ключков В. П., Козлов Л. Ф., Потыкевич И. В. и Соскин М. С. Киев : Наукова думка, 1985. 760 с.
- [7] Бабенко В. В., Канарский М. В., Коробов В. И. *Пограничный слой на эластичных пластинах*. Киев : Наукова думка, 1993. 264 с.
- [8] Бабенко В. В. Гидробионические принципы снижения сопротивления. *Прикладна гідромеханіка*. 2000. Т. 2(74), № 2. С. 3–17.
- [9] Бабенко В. В., Юрченко Н. Ф. К взаимодействию потока с эластичной поверхностью. *Механика турбулентных потоков*. Москва : Наука, 1980. С. 292–301.
- [10] Бабенко В. В., Коробов В. И. Об одном механизме взаимодействия эластичной стенки с потоком. *Инженерно-физический журнал*. 1983. Т. 44, № 5. С. 730–733.

- [11] Бабенко В. В., Юрченко Н. Ф., Канарский М. В. Спектральный анализ реакции пограничного слоя на трехмерные возмущения. *Инженерно-физический журнал*. 1984. Т. 46, № 1. С. 140–141.
- [12] Экспериментальное исследование взаимодействия пограничного слоя с инжектируемой полуограниченной струей / Бабенко В. В., Козлов Л. Ф., Иванов В. И. и Коробов В. И. *Гидромеханика*. 1983. № 47. С. 28–34.
- [13] Babenko V. V. *Method for reducing dissipation rate of fluid ejected into boundary layer*. Patent USA, no. US6138704.
- [14] Babenko V. V. *Method and apparatus for mixing high molecular weight materials with liquids*. Patent USA, no. US6200014.
- [15] Воропаев Г. А., Козлов Л. Ф., Леоненко И. В. Потенциальное обтекание осесимметричных тел сложной формы. *Бионика*. 1982. № 16. С. 41–44.
- [16] Kozlov L. F. Comparison of theoretical and experimental data on wave resistance of a 'thin' ship. *Fluid Mechanics Soviet Research*. 1977. Vol. 6, no. 6. P. 98–101.
- [17] Мороз В. В. Экспериментальное исследование динамики подводной буксируемой системы. *Бионика*. 1998. № 23. С. 1–12.
- [18] Козлов Л. Ф. Вихревая теория гребного винта со ступицей. *Бионика*. 1989. № 27-28. С. 115–120.
- [19] Козлов Л. Ф. *Теоретическая биогиродинамика*. Киев : Вища школа, 1983. 239 с.
- [20] Воропаев Г. А., Луговой И. Н. Взаимодействие вихрей слабой интенсивности с проникаемой шероховатостью дисперсной структуры. *Гидромеханика*. 1988. № 58. С. 20–24.
- [21] Воропаев Г. А., Розумнюк Н. В. Чисельне моделювання взаємодії одиночного вихору з пластиною. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія фізико-математичні науки*. 1998. № 1.
- [22] Воропаев Г. А., Птуха Ю. А. *Ламинарный пограничный слой при наличии отсасывания*. Киев : Наукова думка, 1991. 165 с.
- [23] Никишова О. Д. Устойчивость течения вблизи криволинейной движущейся поверхности к трехмерным возмущениям. *Прикладна гідромеханіка*. 2000. Т. 2(74), № 2. С. 64–75.
- [24] Voropaev G. A., May C. *Design of viscoelastic coatings to reduce turbulent friction drag*. Patent USA, no. 01927412.5-2422-US0140322.

- [25] Воропаєв Г. О., Загуменний Я. В. Формування спрямованих хвильових полів на поверхні деформівного шару при імпульсному навантаженні. *Прикладна механіка*. 2024. Т. 60, № 5. С. 78–86.
- [26] Voropaev G. A., Zagumennyi I. V. Wave and vortex structure of transitional boundary layer over deformable surface. *Physica Scripta*. 2010. Vol. 142. P. 014010.
- [27] Voropaev G. A., Zagumennyi I. V. Boundary layer perturbations generated by locally deformable surface. *International Journal of Fluid Mechanics Research*. 2019. Vol. 46, no. 4. P. 325–335.
- [28] Vortical flow features in a hemispherical cavity on a flat plate / Voropaev G. A., Voskoboinick V. A., Rozumnyuk N. V., and Voskoboinick A. V. *Papers of the Sixth International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena, TSFP-6*. Seoul, Korea. 2009. P. 563–568.
- [29] Voskoboinick V., Kornev N., Turnow J. Study of near wall coherent flow structures on dimpled surfaces using unsteady pressure measurements. *Flow, Turbulence and Combustion*. 2013. Vol. 90, no. 4. P. 709–722.
- [30] Воскобійник В. А., Воскобійник А. В., Воскобійник О. А. Генерація вихорів парою овальних лунок на обтічній плоскій поверхні. *Прикладна гідромеханіка*. 2015. Vol. 17(89), no. 3. P. 10–17.
- [31] Influence of the deep spherical dimple on the pressure field under the turbulent boundary layer / Voskoboinick V. A., Turick V. N., Voskoboinyk O. A., Voskoboinick A. V., and Tereshchenko I. A. *Advances in Computer Science for Engineering and Education*. Cham : Springer International Publishing, 2018. P. 23–32.
- [32] Турик В. М., Воскобійник В. А., Воскобійник А. В. Вихровий рух всередині поперечно обтічної траншеї. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2018. № 2 (83). С. 64–71.
- [33] Space and time characteristics of the velocity and pressure fields of the fluid flow inside a hemispherical dimple generator of vortices / Voskoboinik V. A., Voskoboinik A. A., Turik V. N., and Voskoboinik A. V. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2020. Vol. 93, no. 5. P. 1205–1220.
- [34] Моделювання газоподібної каверни в потоці рідини / Коваль С. О., Воропаєв Г. О., Коробов В. І. і Димитрієва Н. Ф. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. 2023. № 1. С. 128–134.
- [35] Коробов В. И., Загуменний Я. В., Парамонов Ю. А. Течение в эжекторной системе с полуограниченной высокоскоростной струей. *Прикладна гідромеханіка*. 2007. Т. 9(81), № 1.

- [36] Korobov V. Hydrodynamics of oscillating wing on the pitch angle. *Proceedings of the National Aviation University*. 2017. Vol. 71, no. 2. P. 70–75.
- [37] Воропаев Г. А. Вязкое вовлечение газа в вентилируемой каверне заданной формы. *Прикладна гідромеханіка*. 2013. Т. 15(87), № 1. С. 10–23.
- [38] Воропаев Г. А., Зайнер-Гундерсен Д., Коробов В. И. Гидродинамические характеристики колеблющегося крыла. *Прикладна гідромеханіка*. 2013. Т. 15(87), № 3. С. 3–9.

ВІДДІЛ ВИХРОВИХ РУХІВ

Відділ вихрових рухів було створено 1990 року на базі колективів відділів фізичної гідромеханіки та гідродинамічної акустики, утворених у 1980–1982 рр. Ініціатором створення відділу та його першим очільником був д.ф.-м.н. проф. В.В.Мелешко. З 1994 р. й практично до своїх останніх днів відділом успішно керував д.ф.-м.н. О.Г.Стеценко. З 2022 року чинна завідувачка відділу – д.ф.-м.н. проф. Т.С.Краснопольська.

Відділ вихрових рухів є невід’ємною ланкою організаційної структури науково-дослідної діяльності Інституту гідромеханіки НАН України. Головне його завдання – здійснення фундаментальних та прикладних досліджень з метою одержання нових наукових знань, сприяння науково-технічного прогресу та соціально-економічного розвитку суспільства в галузі гідромеханіки за напрямком, затвердженим постановою Президії НАН України від 14.09.2016 №180 – гідромеханіка об’єктів, що рухаються, та турбулентних течій.

В’ячеслав Володимирович Мелешко народився 7 жовтня 1951 року. У 1973 році закінчив з відзнакою механіко-математичний факультет Київського державного університету імені Т.Г.Шевченка. У 1976 році захистив кандидатську дисертацію «Усталені коливання п’єзокерамічних тіл скінченних розмірів» (за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла) в Інституті механіки ім. С.П.Тимошенка АН УРСР.

У 1984 року В.В.Мелешко захистив докторську дисертацію «Закономірності усталених хвильових процесів у скінченних пружних тілах і хвилеводах» (за спеціальністю 01.04.06 – акустика) на фізичному факультеті Московського державного університету імені М.В.Ломоносова (науковий консультант В.Т.Грінченко). Його офіційними опонентами були всесвітньо відомі в цій галузі вчені – І.І.Ворович, М.В.Федорюк, Л.К.Зарембо.

В.В.Мелешко – гідний представник школи механіки, створеної



членом-кореспондентом НАН України А.Ф.Улітком і академіком НАН України В.Т.Грінченком. Починаючи з 1982 року, він плідно працював у Інституті гідромеханіки НАН України, де й очолив 1990 року новостворений відділ вихрових рухів. З 2002 року й до моменту своєї трагічної загибелі проф. В.В.Мелешко керував кафедрою теоретичної та прикладної механіки механіко-математичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Він яскраво та натхненно читав свої лекційні курси «Теоретична механіка», «Детерміновані та хаотичні коливання», «Колівання та хвилі в пружних системах», «Бігармонічні проблеми механіки», «Історія механіки» у Київському національному університеті ім. Тараса Шевченка; “Hydrodynamics of Stirring and Mixing” в Ейндховенському технологічному університеті та університеті Твенте (Нідерланди); “Advanced Dynamics” в Іллінойському університеті (Урбана-Шампейн, США), де пропрацював викладачем два роки; “Introduction to Vortex Dynamics” в Інституті фізики атмосфери (ФРН).

Викладацьку й навчально-методичну роботу В.В.Мелешко творчо поєднував з науковими пошуками, написавши понад 160 наукових праць. Під його керівництвом захищено одинадцять кандидатських і одна докторська дисертація. Близько 90 статей В.В.Мелешка опубліковано у престижних західних журналах: *Advances in Applied Mechanics*, *Applied Mechanics Reviews*, *Journal of the Acoustical Society of America*, *Journal of Elasticity*, *Journal of Fluid Mechanics*, *Physics of Fluids*, *Physics Letters A*, *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. Деякі з них написані спільно з відомими вченими – В.Т. Грінченком, А.Ф.Улітком, Г.Я.Ф. ван Хейстом, Х.Арефом, Х.І.Х.Меєром, Г.В.М.Петерсом, П.Н.Шанкаром, П.Ньютоном, Дж.Р.Барбером.

Проф. В.В.Мелешко брав активну участь у роботі численних наукових конференцій, симпозіумів і з'їздів у нашій країні та за її межами. Зокрема, серед них можна відзначити 19-ий (Киото, Японія), 20-ий (Чикаго, США), 21-ий (Варшава, Польща) та 22-ий (Аделаїда, Австралія) Міжнародні конгреси з теоретичної та прикладної механіки (ICTAM).

Його наукові роботи відрізняються глибоким знанням історії розробки кожного наукового питання. Він повернув людству багато вже забутих наукових праць не лише вітчизняних, а й всесвітньо відомих учених. Закордонні колеги завжди дивувались, як майстерно він знаходить принципово важливі наукові праці минулого, живучи в Україні.

Про високий авторитет цього вченого говорить той факт, що вихрова секція на XXIII Міжнародному конгресі з теоретичної та прикладної механіки ICTAM-2012 (Пекін, КНР) було присвячено пам'яті двох видатних дослідників і близьких друзів – американського професора Хасана Арефа та українського професора В'ячеслава Володимировича Мелешка.

2013 року за цикл наукових праць «Закономірності хвильових процесів у суцільному середовищі» В.В.Мелешку було присуджено Державну премію України. Цього ж року В.В.Мелешко був удостоєний Премії імені О.М.Динника Національної академії наук України за цикл праць «Закономірності хвильових процесів в акустичних, пружних та поро-пружних обмежених середовищах».

На публікації В.В.Мелешка налічується близько 1200 посилань в іноземних та вітчизняних наукових статтях. Його індекс Хірша на сьогодні дорівнює 23 і є найвищим серед усіх співробітників Інституту гідромеханіки НАН України. Хоча В'ячеслав Володимирович уже 14 років як пішов від нас, опубліковані ним праці продовжує читати й цитувати вся міжнародна спільнота.

Олександр Григорович Стеценко народився в 1940 році. У 1962 році він закінчив механіко-математичний факультет Київського державного університету ім. Т.Г.Шевченка. З 1967 р. – кандидат, а з 1994 р. – доктором фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.05 –механіка рідини, газу та плазми. В Інституті гідромеханіки НАН України працював з 1966 року на посадах старшого інженера, молодшого наукового співробітника, старшого наукового співробітника, провідного наукового співробітника й завідувача відділом.

За час роботи в Інституті О.Г.Стеценко проявив себе як висококваліфікований спеціаліст в області гідромеханіки примежового шару, стратифікованих середовищ, хвильових процесів, вихрових рухів. Він постійно був залучений до виконання бюджетної та госпдоговірної тематик Інституту як виконавець окремих розділів, а згодом, відповідальний виконавець і науковий керівник науково-дослідних тем. У різні роки брав безпосередню участь у науково-дослідних роботах в акваторіях Чорного, Середземного та Баренцевого морів. Неодноразово виконував роботи в рамках міжнародних проєктів.



За період своєї наукової діяльності О.Г.Стеценко опублікував 79 наукових робіт. Під його керівництвом захищено дві кандидатські дисертації. Наукові результати О.Г.Стеценка характеризуються високим рівнем математичної культури, застосуванням сучасних методів досліджень, чітким фізичним змістом постановок відповідних задач та одержаних результатів при вирішенні поставлених наукових проблем.

Тетяна Сігізмундівна Краснопольська, 1951 року народження. Закінчила Київський державний університет ім. Т.Г. Шевченка з відзнакою (1973 рік). Має науковий ступінь доктора фізико-математичних наук і вчене звання професора. В Інституті гідромеханіки працює з 2002 року. З 9 лютого 2022 року очолює науково-дослідний відділ вихрових рухів.



Т.С.Краснопольська – українська вчена-механік, широко відома в наукових колах в Україні та за кордоном. Вона зробила значний внесок у формування й розвиток нового розділу сучасної механіки – теорії хаотичних режимів у динамічних системах. Саме в її роботах було відкрито та доведено існування хаотичних режимів у різноманітних системах з обмеженим збудженням, де проявляється ефект Зоммерфельда–Кононенка. Т.С.Краснопольською розвинуті й застосовані методи нелінійної динаміки при розв’язанні широкого кола задач взаємодії рідини з елементами кон-

струкцій. У таких гідродинамічних системах знайшли своє місце сучасні ідеї та концепції детермінованого хаосу та лагранжевої турбулентності. Нею отримані важливі результати в актуальній для сьогодення галузі акустики серцево-судинних систем. Під керівництвом Т.С.Краснопольської захищено три кандидатські дисертації.

Т.С.Краснопольська – відома постать у міжнародному товаристві гідромеханіків, має індекс Хірша 16. Нею опубліковано 230 наукових робіт, у тому числі, чотири монографії. Багато з цих наукових праць включено до наукометричних баз Scopus і Web of Science. Т.С.Краснопольська неодноразово виступала на семінарах з найважливіших напрямків сучасної механіки у провідних університетах США (Гарвардський і Стенфордський університети, Іллінойському університеті в Урбані-Шампейн тощо), Норвегії, Нідерландів, Німеччини, Франції, Італії та Бразилії. Також вона виступала на міжнародних з’їздах і конференціях – п’яти Міжнародних конгресах з теоретичної та прикладної механіки (ICTAM) шести European Fluid Mechanics Conference. Т.С.Краснопольська – член Національного комітету з теоретичної і прикладної механіки України. Вона нагороджена Почесною грамотою Президії НАН України.

Наукові напрямки діяльності відділу

Останнім часом спостерігається стрімкий прогрес у розумінні фізичних явищ, зумовлених взаємодією вихрових структур. Експериментальне відкриття когерентних структур типу великомасштабних вихрових утворень у вільних зсувних течіях, у слідах за перешкодами, в зоні течій на поверхні розділу середовищ у примезових шарах змусило значною мірою змінити оцінку можливостей класичної теорії турбулентності й звернутися до детермінованих моделей перенесення. Без чіткого ставлення до природи вихрового руху не можна досягнути повної ясності в розумінні процесів відриву потоку, опору руху, тепломасопереносу, генерації шуму. Водночас стратифікація реальних водних середовищ вносить суттєві, а найчастіше, й вирішальні корективи в характер вихрових рухів та взаємодії вихрових структур.

Відділ вихрових рухів займається дослідженням двох типів вихрових рухів. Перший з них пов'язаний з динамікою процесів та явищ, обумовлених взаємодією великомасштабних вихрових структур при перемішуванні рідин у фізичних системах та технологіях, при внесенні збурень у розподіл різних пасивних скалярних полів у області руху рідини, при випромінюванні вихровими структурами звукових полів. Другий тип вихрових рухів пов'язаний з динамікою процесів, зумовлених турбулентністю, внутрішніми хвилями, локалізованими збуреннями в стратифікованих середовищах, особливістю течій у прилежових шарах на криволінійних поверхнях.

Наукові дослідження відділу спрямовані на математичне моделювання й розробку аналітичних, аналітично-чисельних і чисельних методів визначення й дослідження основних закономірностей адвекції рідин локалізованими та розподіленими вихровими структурами, розробку методів і критеріїв визначення областей інтенсивної хаотичної взаємодії рідини з елементами конструкцій. Ще одним напрямком досліджень є вивчення появи хрестоподібних хвиль у прямокутних каналах і циліндричних структурах.

У відділі проводяться як теоретичні, так і експериментальні дослідження. Теоретичні дослідження виконувались групою співробітників, до якої війшли п'ять докт.ів наук (докт. фіз.-мат. наук, проф. В.В.Мелешко, докт. фіз.-мат. наук, проф. Т.С.Краснопольська, докт. фіз.-мат. наук О.Г.Стеценко, докт. фіз.-мат. наук В.І.Нікішов, докт. фіз.-мат. наук В.С.Мадерич), сім кандидатів наук (ст. наук. співр., канд. фіз.-мат. наук О.А.Гуржій, ст. наук. співр., канд. фіз.-мат. наук Є.Д.Печук, наук. співр., канд. фіз.-мат. наук П.В.Лук'янов, наук. співр., канд. фіз.-мат. наук В.С.Малюга, наук. співр., канд. фіз.-мат. наук О.О.Откаленко, наук. співр., канд. фіз.-мат. наук О.С.Галактіонов наук. співр., канд. фіз.-мат. наук Т.П.Коновалюк, наук. співр., к.ф.-м.н. В.М.Ільченко). Експериментальні дослідження проводила група співробітників, до складу якої входили наук. співр., канд. техн. наук В.В.Олексюк, головний енергетик О.І.Кулик, інженер 1 категорії О.М.Гетьман, інженер 2 категорії В.М.Ільченко інженер 2 категорії Л.В.Ісхакова.

У 2015 році до складу відділу вихрових рухів увійшла група з розробки та створення пристроїв і систем для забезпечення науково-експериментальних досліджень за тематикою інституту (керівник ст. наук. співр., к.т.н. В.Ю. Філімонов, пров. інженер-електротехнік О.О.Кот, пров. інженер з автоматизації Ю.Д.Горський, пров. інженер-конструктор Д.В.Ярош). Наукова група В.Ю.Філімонова була створена з працівників наукового відділу з розробки апаратури дистанційних вимірювань (відділ 2) СКТБ Інституту гідромеханіки (1982–2010 рр.) У 2010 році вона увійшла до складу відділу гіродинамічної акустики, а з 2015 року працює у відділі вихрових рухів.

Наукова група ст. наук. співр., к.т.н. В.Ю.Філімонова з 2010 по 2025 рік розробила та створила ряд зразків дослідного обладнання для забезпечення виконання експериментальних досліджень по тематиці Інституту гідромеханіки НАН України, серед яких система дослідження ґрунту на зсув методом кручення і з вібрацією, система реєстрації параметрів поверхневого хвилювання, система керування рухом візка дослідного басейну, пульт керування системою досліджень аварійної посадки, прилади підсилення та реєстрації сигналів тензодатчиків, дослідні зразки електронних фонендоскопів, система реєстрації теплових параметрів.

Експериментальне обладнання відділу

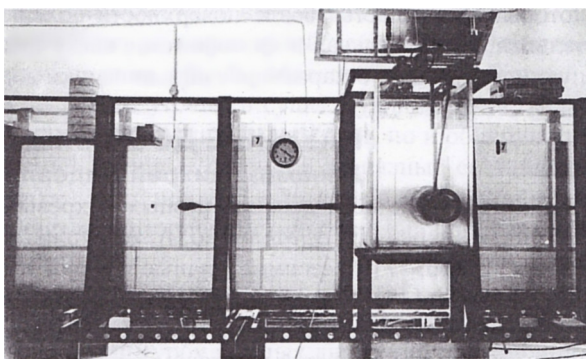
Лабораторна база відділу забезпечує ефективне виконання експериментальних досліджень динаміки стратифікованих середовищ і динаміки зародження та еволюції вихрових збурень у пристінних примежових шарах. Вона включає такі стаціонарні установки як великий дослідний лоток, малий дослідний басейн, ряд спеціалізованих установок, створених для вивчення конкретних проблем, та комплекс вимірювальної апаратури.

Великий лоток для дослідження гідродинаміки стратифікованих середовищ

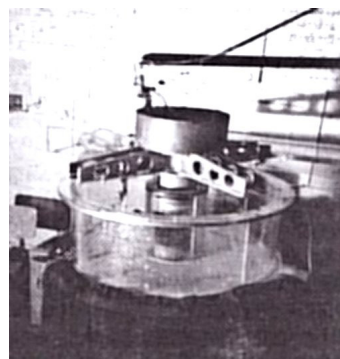
Ця установка призначена для дослідження колапсу перемішаних областей та пов'язаних з цим процесів, а також вивчення динаміки внутрішніх хвиль. У центрі лотка розміром $675 \times 40 \times 125$ см знаходиться пристрій для створення перемішаних областей. Стратифікація сольового характеру створюється за допомогою наливного поплавця. У лотку є також хвилепродуктор для генерації внутрішніх хвиль і хвилегасник. Лоток оснащено освітлювальною, вимірювальною та фотофіксувальною апаратурою.

Малий басейн для дослідження вихорів Тейлора–Гертлера

Для вивчення процесів втрати стійкості та народження турбулентності в пристінних примежових шарах на криволінійних поверхнях створено спеціальний малий круговий басейн. Установка являє собою два співвісні циліндри скінченної довжини, діаметри яких становлять 70 і 24 см відповідно, а висота – 25 см. На осі циліндрів знаходиться штанга, яка може обертатися. До неї кріпиться робоча пластина, яка занурюється в заповнений водою простір між циліндрами. Дно та зовнішня циліндрична оболонка прозорі, що дає можливість візуалізувати протікання процесів у примежовому шарі, який виникає на робочій пластині при її русі по круговій траєкторії.



Проведення у великому лотку експерименту з дослідження динаміки солітонів на межі стрибка густини двошарового середовища



Зовнішній вигляд малого кругового басейну

Установка для моделювання водообміну через протоки

Установка створена для дослідження водообміну через вузькі протоки з двошаровою структурою стратифікації. Це – лоток розміру $200 \times 17 \times 40$ см, розділений на два басейни, які з'єднуються між собою вузьким прямокутним каналом. Двошаровий водообмін забезпечується нагріванням води меншого басейну довжиною 33 см електричним нагрівачем, розміщеним біля дна, і охолодженням великого басейну охолоджувачем з проточною водопровідною водою, розміщеним біля його поверхні. Електронно-вимірювальна, освітлювальна та фотофіксувальна апаратура дозволяють отримувати повну інформацію про характер водообмінних процесів.

Система дослідження ґрунту на зсув методом кручення та з вібрацією

Система в автоматичному режимі забезпечує реєстрацію зусиль зсуву при фільтрації рідини крізь зразок ґрунту двома датчиками в заданому часовому інтервалі при вибраній швидкості кручення зразка ґрунту і заданій частоті вібрації. Система забезпечує підтримання заданого зусилля стиску ґрунту, реєстрацію стискаючого зусилля та усадки ґрунту. Відображення інформації про значення зусиль в кожному з двох каналів відображається на екрані монітора комп'ютера як у цифровій формі, так і у вигляді осцилограм.

Індикація вимірюваного зусилля разом із заданням діапазону його вимірювань, швидкості кручення, параметрів вібрації (у вигляді прискорень по одній координаті) та автоматичне збереження даних щосекундної вибірки вимірювальних значень зусиль за три доби забезпечуються за допомогою розробленої у відділі програми *Grunt 2.01*.

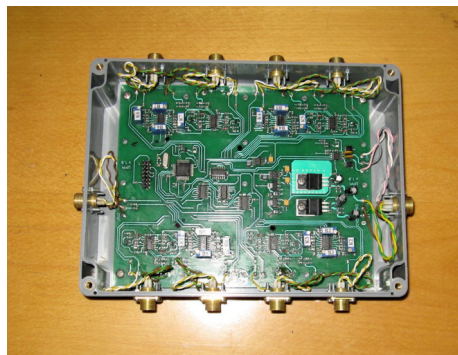
Нині система дослідження ґрунту на зсув методом кручення активно використовується у відділі гідродинаміки гідротехнічних споруд при проведенні робіт щодо наукового обґрунтування протизсувних і ґрунтозахисних заходів. Тому її зображення розміщено в розділі, присвяченому історії цього підрозділу нашого інституту.

Система реєстрації поверхневого хвилювання

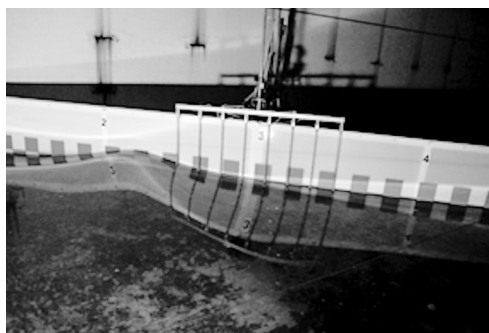
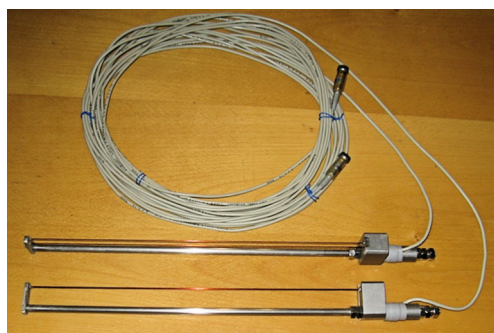
Для технічного забезпечення наукових досліджень в експериментальних басейнах Інституту гідромеханіки НАН України була розроблена система реєстрації параметрів поверхневого хвилювання з періодом понад 0,3 с і висотою від 1 до 400 мм та роздільною здатністю 12 біт. Система дозволяє визначати висоту, напрям і швидкість поширення хвиль, відображати на екрані монітора результати у вигляді графіка, зберігати дані, розраховувати висоту хвиль.

Датчики хвилювання можуть встановлюватись на віддаленні до 15 м від приладу перетворення й передачі інформації УППИ, з'єданого з приладом приймання та вводу інформації УПВИ кабельною лінією зв'язку ЛС максимальною довжиною до 1000 м. Конструктивне виконання УППИ і УПВИ по захисту від потрапляння пилу та вологи відповідає рівню IP65.

Усього створено три системи реєстрації параметрів хвиль СРПВ для роботи в дослідних басейнах, водних відкритих полігонах і каналах.



Прилад перетворення й передачі інформації УППИ



Загальний вигляд датчиків хвилювання та реєстрація параметрів хвилі в басейні за допомогою лінійної СПРВ

Наукові досягнення відділу вихорових рухів

Комплексні дослідження різних вихрових течій – двовимірних точкових вихорів (В.Т.Грінченко, В.В.Мелешко, О.А.Гуржій, М.Ю.Константинов, Т.П.Коновалюк, Т.С.Краснопольська [3, 4, 12–15, 25, 28, 29, 36, 37, 41, 49]), осесиметричних течій поля завихреності й вихрових структур з розподіленими параметрами (Т.П.Коновалюк [29, 40]) – дозволили уявити цілісну картину особливостей та закономірностей у динаміці великомасштабних вихрових структур, виконати адекватне реальним природним течіям чисельне моделювання. Вивчено основні закономірності процесу перемішування пасивних домішок у полі швидкості, наведеному системою різних великомасштабних вихрових структур. Запропоновано новий чисельний метод кускової сплайн-інтерполяції [3] та алгоритм побудови локальних карт розтягування (В.В.Мелешко, Т.С.Краснопольська [25, 37, 41, 49]), які суттєво спрощують чисельний аналіз процесу перемішування пасивних домішок у двовимірному полі швидкості з різними просторовими та часовими масштабами. Проаналізовано валідність використання моделі ідеальної стисливої рідини для опису процесу взаємодії реальних вихрових структур. Знайдено два нових типи

взаємодії двох осесиметричних кілець у безмежній стисливій рідині – стаціонарний рух, який спостерігається при русі вихорів у одній площині, та періодична взаємодія кілець, які мають завихреності протилежних знаків.

З позиції моделювання реальних течій системами вихорів у ідеальній стисливій рідині вивчено основні закономірності хаотичного та регулярного рухів (В.В.Мелешко, О.А.Гуржій, Т.С.Краснопольська [3, 12–15, 17, 25, 37, 41, 49]). Встановлено, що найбільша інтенсивність перемішування спостерігається у межах хаотичної області, тоді як області регулярних рухів існують «острови», які перешкоджають процесам перемішування.

Течії Стокса та теорія перемішування

На основі дослідження стаціонарних розв'язків рівнянь Стокса проведено аналіз процесу перемішування пасивних рідких обсягів у обмежених тривимірних течіях, індукованих рухом стінок (В.В.Мелешко, О.С.Галактіонов, В.С.Малюга, Т.С.Краснопольська [15, 17–22, 25–27, 37, 41, 49]). Отримано низку цікавих результатів у рамках проблеми хаотичної адвекції лагранжових частинок пасивної домішки у двомірних полях швидкості (В.В.Мелешко, Т.С.Краснопольська [25, 37, 41, 49]). Зокрема, показано, що пляма пасивної домішки в таких областях поширюється по всьому об'єму лише в течії із ізольованими періодичними гіперболічними точками. Виконані у цьому напрямі дослідження дали можливість не лише отримати аналітичні рішення для дво- та тривимірних течій зі складною геометрією, а й описати дрібномасштабні особливості, наявні в кутових точках. Також досліджено кінематику перемішування рідини в кінцевому циліндрі з трьома твердими кільцевими коаксіально розташованими дисками.

Звукоутворення при взаємодії вихрових структур

Виконані дослідження характеристик звукових полів, генерованих відносно простими вихровими структурами (В.В.Мелешко, О.А.Гуржій, Т.П.Коновалюк [29, 40]), дозволили не тільки уточнити існуючі уявлення про ефективність випромінювання звуку вихровими структурами, але й виявити гідродинамічні параметри течій, які відповідають за різні складові спектра гідродинамічного шуму.

Динаміка турбулентності у стійко стратифікованому середовищі

Вивчено процеси генерації та еволюції турбулентних рухів стратифікованих середовищ (В.С.Мадерич, В.І.Нікішов, О.Г.Стеценко [10]). Виконано дослідження стійкості руху зсувних стратифікованих течій за наявності взаємодії між модами внутрішніх хвиль з енергіями різних знаків (О.Г.Стеценко, М.І.Деркач [5, 10]). Розглянуто механізми втрати стійкості руху двошаровими потоками скінченної глибини за умов слабконегоризонтального дна або горизонтальної слабконеоднорідної стратифікації (О.Г.Стеценко). Розроблено класифікацію стадій еволюції розвитку перемішаних областей у стійко стратифікованих середовищах для турбулентного та інтрузійного етапів руху (В.С.Мадерич, В.І.Нікішов, index Нікішов В.І. [10]). Виконано експериментальні дослідження динаміки

двовимірних перемішаних областей (В.С.Мадерич, О.І.Кулик [11]). Побудовано статистичну гідродинамічну модель перемежованої турбулентності в стійко стратифікованому середовищі.

При вивченні перемішаних областей виділено нову – в'язкодифузійну – стадію їх еволюції, розроблено її фізико-математичну модель і вивчено закономірності розвитку (В.С.Мадерич, В.І.Нікішов [10, 11, 38]). Побудовано також фізико-математичну модель виродження випадкового ансамблю інтрузійних плям. Встановлено основні закономірності еволюції спектрів збурень швидкості та плавучості такого ансамблю. Вивчено особливості еволюції шаруватих структур, які формуються в стратифікованому середовищі на фінальній стадії згасання турбулентності (О.С.Галактіонов, В.С.Мадерич, В.І.Нікішов [26]). На основі одержаних таким чином результатів досліджено особливості процесу рестратифікації на фінальній стадії виродження турбулентності у замкнутих областях стійко стратифікованого середовища (В.С.Мадерич, П.В.Лук'янов [9]).

Вивчено особливості еволюції перемішаних областей на в'язкодифузійній стадії, якщо вони перебувають у полі лінійних монохроматичних внутрішніх хвиль (О.Г.Стеценко, В.С.Мадерич, П.В.Лук'янов [9, 10]). Проведено аналіз типів рухів (мод) та побудовано їх класифікаційні діаграми для в'язкої теплопровідної та електропровідної рідини з урахуванням відцентрових та електромагнітних ефектів (В.І.Нікішов [17]). Знайдено асимптотики для різних типів рухів та виділено найбільш довгоживучі з них.

На основі лабораторних досліджень розроблено модель тепломасообміну через чорноморські протоки. Вивчено динаміку водообміну через стратифіковану протоку з ненульовим баротропним перенесенням для трьох типів проток – короткої, проміжної та довгої (В.С.Мадерич, О.І.Кулик, В.В.Олексюк).

Генерація внутрішніх хвиль локалізованими збуреннями

Досліджено поля внутрішніх хвиль, які утворюються при нестационарних рухах локалізованих збурень. Вивчено особливості еволюції таких полів в умовах наявності слабкої горизонтальної неоднорідності стратифікації чи негоризонтальності дна стратифікованого шару (О.Г.Стеценко [24]). Розглянуто взаємодію фонових внутрішніх хвиль з локалізованими перемішаними областями (плямами) в стратифікованих середовищах. Для випадків, коли горизонтальний розмір перемішаних областей можна порівняти з довжинами таких внутрішніх хвиль, досліджено пов'язане з цим утворення поля розсіяних внутрішніх хвиль (О.Г.Стеценко, П.В.Лук'янов). Показано, що в залежності від параметрів задачі інтенсивність цього поля може бути як малою, так і відносно значущою, порівняно з інтенсивністю внутрішніх хвиль, що набігають.

Динаміка вихорів Тейлора–Гертлера

Проведено цикл досліджень стійкості течії у примежовому шарі на криволінійних поверхнях (О.Д.Нікішова, О.О.Откаленко [18, 50]). Виявлено суттєвий вплив поперечної кривизни на параметри нестійкості. На основі чисельного розв'язання рівнянь Нав'є–Стокса виконано моделювання течій, які виникають між обертовими коаксіаль-

ними циліндрами після раптової зупинки зовнішнього циліндра. Виявлено, що в утвореному примежовому шарі на стінці виникають системи вихорів Гертлера, які поступово трансформуються у вихори Тейлора. Також досліджено особливості процесу перенесення пасивних домішок у таких системах. Вивчено основні закономірності процесу перемішування пасивної домішки в турбулентному примежовому шарі.

Динаміка збурень у зсувних течіях

Виконано математичне моделювання розвитку течій у нестійкому стратифікованому середовищі. Експериментально й теоретично визначено просторово-часові характеристики течії в примежовому шарі середовища з горизонтально-неоднорідним розподілом температури ((О.Д.Нікішова, О.О.Откаленко, В.В.Олексюк [18, 50])).

Експериментально досліджено еволюцію вихрових кілець у стратифікованому зсувному потоці (В.І.Нікішов, В.В.Олексюк). Виявлено утворення та поширення вздовж ядра кільця збурень типу відокремленої хвилі.

Розроблено методику розрахунку зображень слабких оптичних неоднорідностей, отриманих за допомогою тіньових приладів. Виконано аналіз особливостей тіньових зображень, який дозволяє інтерпретувати результати натурних досліджень (В.І.Нікішов, В.М.Льченко). Вивчено особливості поведінки спектра турбулентних флуктуацій оптичного показника морської води в області малих масштабів, виведено напівемпіричні формули для опису цього спектра. Виконані дослідження гідродинаміки еволюції та взаємодії вихрових структур однорідних і стратифікованих середовищах відкривають нові можливості впровадження отриманих результатів у сучасні технічні та наукові розробки.

Гідродинаміка руху суден в обмеженому фарватері та вихрових рухів у стратифікованих середовищах

Головні напрямки і результати наукової діяльності за останній період життя О.Г.Стценка [19–24] стосуються гідродинаміки стаціонарного та нестаціонарного рухів тіл, динаміки руху вихорів та еволюції вихрових структур у стратифікованих по густині середовищах, а також включають нові чисельно-аналітичні моделі гідродинаміки руху суден у каналах з різною геометрією поперечного перерізу, процесів генерації та поширення поверхневих хвиль, обумовлених рухом суден в обмеженому фарватері (каналі), та визначення гідродинамічних характеристик судна.

Ці дослідження виконувались співробітниками відділу в рамках відомчих держбюджетних тем, перерахованих нижче.

Закономірності генерації гідродинамічних полів, викликаних дією вітру та рухомими суднами, та їхня взаємодія з гідротехнічними спорудами та берегами

Головним напрямком наукової роботи була розробка математичних моделей і методів чисельного моделювання лінійних і нелінійних корабельних хвиль, викликаних ру-

хом суден різної форми в умовах складного фарватеру [10, 19, 19–24].

Розв'язано задачу про поле корабельних (баричних) хвиль за областю поверхневого тиску, яка рухається в каналі прямокутного поперечного перерізу, в процесі її виходу на стаціонарний режим руху. Детально проаналізовано структуру хвильового поля та особливості його виходу на стаціонарний режим.

Досліджено лінійну стаціонарну задачу про знаходження поля корабельних (баричних) хвиль за областю поверхневого тиску та вплив на неї трапецієвидності поперечного перерізу каналу. Визначено особливості формування поля корабельних (баричних) хвиль за областю поверхневого тиску, що стаціонарно рухається в каналі трапецієвидного поперечного перерізу.

Розроблено нову чисельно-аналітичну модель розрахунку гідродинаміки руху тонкого судна в каналі прямокутного поперечного перерізу.

Розв'язано задачу про знаходження потенціалу швидкості стаціонарного руху системи двох одиничних джерел у каналі прямокутного поперечного перерізу.

Розроблено чисельну модель, яка описує динаміку компактного вихору в районі шельфової зони в умовах наявності неоднорідного нестаціонарного вітру на вільній поверхні.

Генерація та взаємодія поверхневих гравітаційних хвиль з берегами та штучними хвилеломами

Наукова робота проводилась у напрямку розробки математичних моделей та методів чисельного моделювання лінійних корабельних хвиль, викликаних нестаціонарним рухом суден різної форми в умовах обмеженого фарватеру. Було сформульовано відповідну початково-крайову лінійну гідродинамічну задачу для каналу з прямокутною формою поперечного перерізу. Розглядалися рухи суден із симетричними обводами в напрямку поздовжньої осі каналу зі змінною в часі швидкістю в режимі безвідривного обтікання їхніх корпусів [10, 17, 19, 19–24].

Для розв'язання відповідної задачі використано розроблений в рамках даної роботи новий підхід з використанням потенціалу швидкості нестаціонарного руху системи двох джерел, розміщених симетрично відносно вертикальної площини симетрії, яка проходить через поздовжню вісь каналу. На його основі розроблено загальний чисельно-аналітичний алгоритм реалізації фізико-математичної моделі нестаціонарного руху судна в каналі. З її використанням розв'язані відповідні лінійні задачі гідродинаміки нестаціонарного руху судна зі змінною в часі швидкістю в каналі такого типу.

Для коректного забезпечення виконання граничної умови на вільній поверхні та дні, як і у відомих стаціонарних постановках для глибоких морів, вводилася додаткова система відображених джерел – вони використовувалась для імітації руху «дубльованого» тіла, утвореного змоченою поверхнею судна та такою ж поверхнею, дзеркально відображеною відносно вільної поверхні. Для виконання розрахунків гідродинамічних характеристик судна використовувався широко вживаний панельний метод. У рамках цієї моделі побудовано поля поверхневих збурень, генерованих нестаціонарним рухом зі стану

спокою тонкого судна.

Розв'язано лінійну задачу про знаходження потенціалу швидкості від нестационарного руху в каналі з прямокутною формою поперечного перерізу системи двох однакових джерел змінної інтенсивності, розміщених симетрично відносно вертикальної площини симетрії каналу.

Розроблено нову чисельно-аналітичну модель гідродинаміки нестационарного руху судна з симетричними обводами вздовж осі каналу з прямокутною формою поперечного перерізу. У рамках цієї моделі розроблено алгоритм розрахунку гідродинамічних характеристик судна довільної форми з симетричними обводами при його нестационарному русі в каналі з прямокутною формою поперечного перерізу.

Дана комплексна тема виконувалась у відповідності до цільової програми фундаментальних досліджень Відділення механіки НАН України «Розвиток фундаментальних досліджень в галузі механіки суцільного середовища та механіки машин» (2017–2021 рр.).

Хаотична динаміка рідини при взаємодії з елементами конструкцій, мікрорідини та вихрові течії

Під керівництвом В.В.Мелешка досліджено взаємодію когерентних вихрових структур – точкових вихорів та вихрових плям на площині та вихрових кілець – в однорідній нев'язкій рідині. Для точкових вихорів методами гамільтонової механіки знайдені нові аналітичні розв'язки для регулярної взаємодії трьох та чотирьох точкових вихорів.

Методами нелінійної динаміки – з побудовою перерізів Пуанкаре та визначенням показників Ляпунова – вивчено хаотичну поведінку системи точкових вихорів на необмеженій площині. Встановлено та пояснено існування великих зон регулярної поведінки вихорів в хаотичному «морі», пов'язане з наявністю періодичних еліптичних точок у перерізах Пуанкаре [39–49].

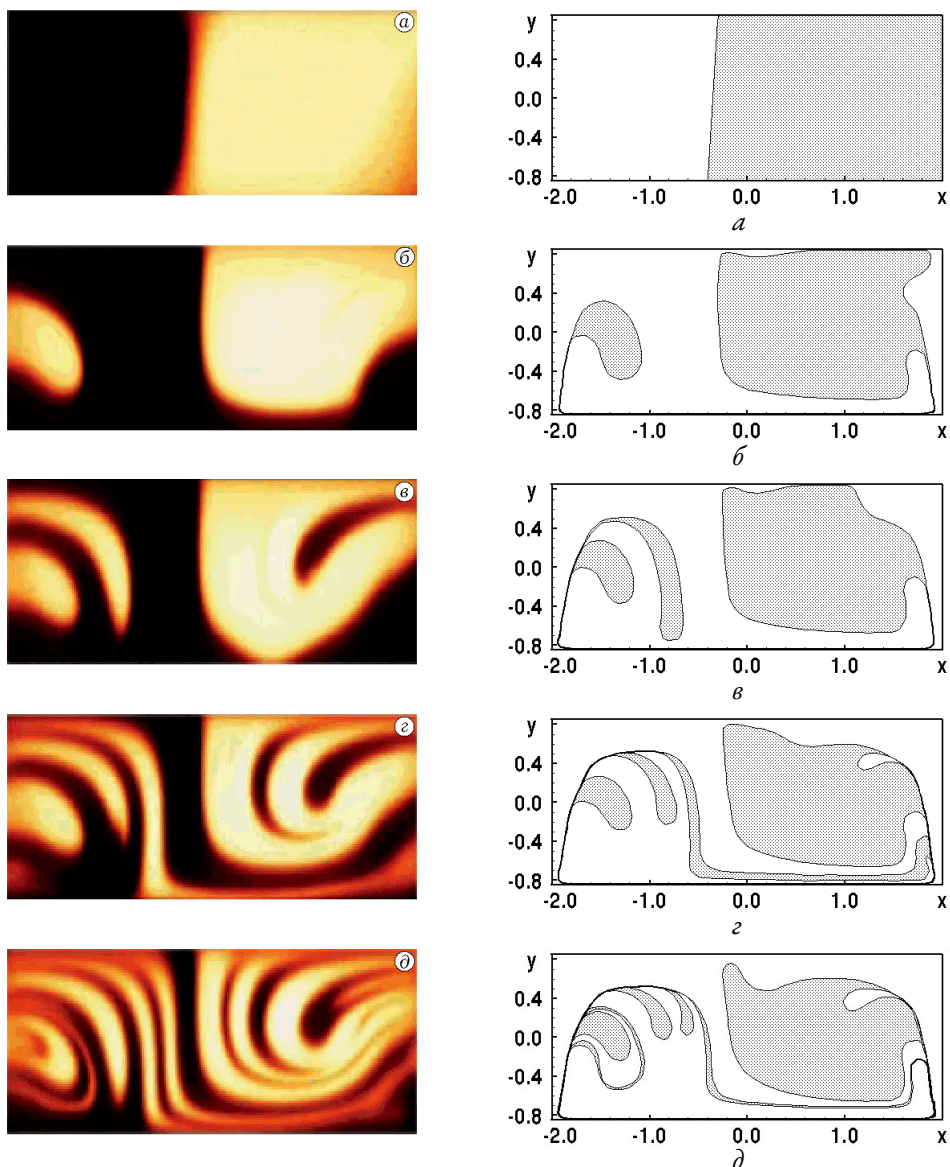
Розглянуто принципово нову проблему існування рівномірно-обертальних конфігурацій, витоки якої сходять до класичних робіт В.Томсона (лорда Кельвіна) та А.Майєра, надрукованих у 1878 році. Розроблено новий метод пошуку несиметричних конфігурацій однакових точкових вихорів – розв'язків нелінійної системи алгебраїчних рівнянь на площині. Представлено каталог симетричних і несиметричних конфігурацій точкових вихорів однакової інтенсивності, розміщених на площині. Він виявився значно повнішим за відомий Лос-Аламоський каталог 1968 року й дав змогу ідентифікувати експериментально отримані конфігурації вихорів у надплинному гелії [12–15, 51].

Проведено чисельний аналіз стійкості отриманих розв'язків систем нелінійних диференціальних рівнянь при малих лінійних збуреннях таким чином, що два інваріанти руху систем залишились незмінними. Побудовано траєкторії руху систем точкових вихорів без початкового збурення та з початковим лінійним збуренням. Аналогічне дослідження вперше виконано й для симетричних та несиметричних конфігурацій точкових вихорів однакової інтенсивності, розміщених на сфері.

Узагальнено класичні піонерські роботи С.О.Чаплигіна (1899, 1902 рр.) щодо когерентних вихрових плям, які були описані значно раніше ніж відомі на Заході «вихорі

Кіда» та «диполь Лемба–Бетчелора». Уперше в світі показано принципову можливість заміни вихорового диполя парою точкових вихорів без втрати основних елементів взаємодії таких структур [46].

Всебічно вивчено класичну задачу Гельмгольца про взаємодію двох коаксіальних вихрових кілець в безмежному просторі (1858 рік). Окрім відомого явища «чехарди» однакових кілець, встановлено три нові режими взаємодії кілець. Ці дослідження були ви-



*Змішування рідин у прямокутному мікроканалі:
експеримент і результати моделювання*

конані спільно з провідними нідерландськими дослідниками та випередили аналогічні результати Райлі–Вайдмана [48, 51].

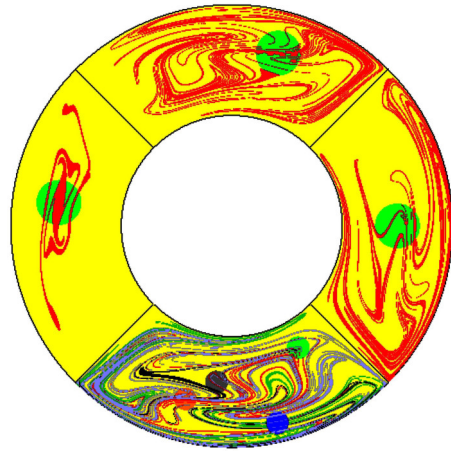
Перемішування різного роду пасивних домішок – «плям» іншої за кольором рідини чи дрібних частинок, які не впливають на основний рух, – у течіях рідини є складним природним явищем. Воно включає в себе два найважливіші процеси: деформування плями у заданому полі швидкості, та розмив її меж молекулярною дифузією. Проблема змішування зводиться до аналізу деформації виділених областей рідини в заданому полі швидкості. Така задача в науковій літературі отримала назву хаотичної адвекції. Вона тісно пов'язана з лагранжевим підходом до опису руху в гідромеханіці й полягає у вивченні траєкторій системи лагранжових рідких частинок в ейлеровому полі швидкості. При вивченні явища адвекції застосовуються різні методи та критерії динамічного хаосу. Більшість із них пов'язані з аналізом хаотичних траєкторій окремих рідких частинок, але адвекція рідини пов'язана з рухом виділених об'ємів рідини. Розробка нових методів і алгоритмів ідентифікації областей течії з інтенсивним режимом адвекції є сьогодні одним з пріоритетних напрямів розвитку цього напрямку [16, 39–49].

У роботах співробітників відділу вихрових рухів Інституту гідромеханіки НАН України всебічно вивчено проблему хаотичної адвекції в полі швидкості двовимірних та осесиметричних локалізованих і розподілених вихорових когерентних структур. Запропоновано та розвинуто методи моніторингу й інтерполяції виділених контурів, адаптованих до хаотичних режимів адвекції, які супроводжуються інтенсивним розтягуванням та утворенням складок межі виділеної рідини.

У роботах співробітників відділу вихрових рухів Інституту гідромеханіки НАН України всебічно вивчено проблему хаотичної адвекції в полі швидкості двовимірних та осесиметричних локалізованих і розподілених вихорових когерентних структур. Запропоновано та розвинуто методи моніторингу й інтерполяції виділених контурів, адаптованих до хаотичних режимів адвекції, які супроводжуються інтенсивним розтягуванням та утворенням складок межі виділеної рідини.

У цих роботах уперше в світі запропоновано єдину методологію для оцінки якості змішування рідини вихровими когерентними структурами. На цій основі та на базі аналітичного розв'язку типової задачі про течію дуже в'язкої рідини в наближенні Стокса в роботах, виконаних разом з провідними нідерландськими вченими, було всебічно проаналізовано якість змішування та запропоновано критерії оптимізації цього процесу [25, 37, 41, 49].

На кольоровому малюнку представлено результати перемішування різних кругових плям. Тут також позначені початкові положення малих плям домішки. Якщо в центрі маленької плями знаходиться еліптична точка (як на лівому малюнку), то перемішування слабке. При наявності гіперболічної точки перемішування буде інтенсивним (див. інші фрагменти). Більш детально цю теорію розроблено в держбюджетній темі «Оптимізація процесів перемішування в мікроканалах», завершеній у 2013 році, та «Хаотична динаміка вихрових течій», завершеній у 2016 році.



*Результати змішування
в чвертькругових каналах*

Вихорові структури, що взаємодіють

Співробітниками відділу вихрових рухів доліждувалась тема зв'язків між характеристиками когерентних вихрових структур, що взаємодіють, та зв'язків між великомасштабними вихровими рухами (В.В.Мелешко, Т.П.Коновалюк [29, 40]).

Метою цих досліджень було встановлення основних закономірностей та виявлення якісних та кількісних зв'язків між динамічними та хвильовими характеристиками когерентних вихрових структур, що взаємодіють між собою, а також встановлення зв'язків між великомасштабними вихровими рухами та внутрішньою динамікою вихорів Кірхгофа, з одного боку, та характеристиками генерованих у процесі взаємодії вихорів хвильових полів, з іншого.

Доцільність та актуальність цієї тематики визначається широким застосуванням різноманітних елементів конструкцій, які генерують вихрові структури рухаючись у рідині. Дослідження породжених течіями хвиль і шумів становлять самостійний науковий інтерес, оскільки дозволяють зрозуміти сутність фізичних процесів, які виникають при перетворенні енергії переносу речовини (рідина) в енергію переносу стану (хвиля).

Шум, згенерований течією, є значною проблемою в багатьох інженерних застосуваннях. Як відомо, він породжується гідродинамічними силами, що виникають в рухомій рідині. Поява акустичної аналогії Дж.Лайтхілла (1952, 1954 pp.), простимульована бурхливим розвитком реактивної авіації, стала одним з основних поштовхів до подальшого розвитку теорії гідродинамічного шуму. Основні твердження теорії Лайтхілла отримали розвиток у працях багатьох учених.

Меландер, Забускі та Стишек запропонували описувати вихрову взаємодію за допомогою моментної моделі, відомої як MZS. У ній вихрова пляма постійної завихреності в ідеальній рідині цілком визначається еволюцією свого центру завихреності та моментів інерції площі поперечного перерізу. В MZS-моделі першого порядку вихорі описуються вихровими точками, в MZS-моделі другого порядку – вихорами Кірхгофа.

Модель другого порядку описує лише пружні вихрові взаємодії та окреслює особливості непружної взаємодії. У дослідженнях співробітників відділу на прикладі двох вихорів Кірхгофа обчислено граничну криву, яка розділяє пружну та непружну вихрові взаємодії.

На прикладі двох вихорів Кірхгофа сформульовано динамічний критерій, який дозволяє описувати великомасштабні вихрові рухи плям точковими вихорами. Досліджено особливості взаємодії трьох точкових вихорів різних знаків; знайдено аналітичні вирази для власних частот взаємодії у випадку їх взаємного захоплення; відзначено, що тип взаємодії великомасштабних рухів плям у залежності від їхніх розмірів може відрізнятися від типу взаємодії точкових вихорів.

У результаті розрахунку звукових полів у межах акустичної аналогії Лайтхілла для випадку взаємодії трьох точкових вихорів Кірхгофа знайдено кількісні зв'язки між обертанням діаграми напрямленості та обертанням вихрової системи. Виявлено, що напрямки обертання звукового поля та вихрової системи можуть як збігатись, так і бути протилежними. Відзначено, що сингулярна модель точкових вихорів у ряді ситуацій задовільно

моделює взаємодію розподілених вихорів, але не може бути використана при дослідженні генерованих вихорами звукових полів. Побудовано акустичний критерій для оцінки можливості заміни великомасштабних вихрових рухів плям точковими вихорами.

Прийняту в теперішній час концепцію, яка стверджує, що звук породжується вихровою взаємодією в потоці, підтверджена чисельними експериментами. Показано, що при зростанні кількості вихорів, які взаємодіють між собою, частотний спектр генерованого звукового поля розширюється, а його щільність зростає.

Властивості хрестоподібних хвиль у басейнах скінченних розмірів

У рамках бюджетної програми виконуються наукові дослідження за темою «Генерація та властивості хрестоподібних хвиль у басейнах скінченних розмірів» (керівник – завідувач відділу вихрових рухів Т.С.Краснопольська [30–37]).

Новизна наукових результатів досліджень полягає в тому, що при вивченні усталених режимів хрестоподібних поверхневих хвиль у прямокутному басейні скінченних розмірів з хвилепродуктором та хрестоподібних поверхневих хвиль в «співаючих бокалах»о вперше застосовано метод Ляме суперпозиції розв’язків в гідромеханіці. Першопочатково цей метод було розвинуто й для розв’язання задач теорії пружності, а в механіці рідини досі ніким не використовується.

Вперше побудовано аналітичні розв’язки для хрестоподібних хвиль і показано, що вони можуть генеруватися хвилепродуктором у заповненому рідиною басейні скінченних у всіх трьох вимірах розмірів. Слід зауважити, що всі попередні дослідники хрестоподібних хвиль у рідині використовували розв’язок Т.Хейвелока для хвиль у нескінченних басейнах, математична постановка для яких містить умову рівності нулю деякої граничної швидкості (наприклад, на дні басейну).



Розвинені хрестоподібні хвилі на поверхні води в дослідному басейні Інституту та хрестоподібні хвилі при випромінюванні звуку «співочим бокалом»

Побудовано математичну модель збудження хрестоподібних поверхневих хвиль у басейні скінченних розмірів при безпосередній перекачці енергії від хвилепродуктора в поверхневій хвилі в рідині.

Показано, що члени, які вказують на можливість ненульових амплітуд хрестоподібних хвиль та входять в параметричні члени, утворюють рівняння Мат'є. При цьому функції коливань хвилепродуктора та існування хрестоподібних хвиль є пропорційними – без збудження хвилепродуктора не буде й хрестоподібних хвиль.

Доведено існування та ідентифіковано параметри хаотичних режимів коливань хрестоподібних поверхневих хвиль у прямокутному басейні при наявності запізнення між швидкістю та коливаннями хвиль, що є одною з причин хаотизації в нелінійних динамічних системах.

Побудовані математичні моделі збудження хрестоподібних поверхневих хвиль у «співаючих бокалах» при випромінюванні ними звуку [1, 31–33].

Міжнародні зв'язки відділу

Співробітники відділу беруть активну участь у роботі конференцій Євромеху з механіки рідини (Кембридж, Великобританія, 1991; Варшава, Польща, 1994; Еттінген, Німеччина; 2000), ряду спеціалізованих конференцій Євромеху (Стамбул, Туреччина, 1998; Кортон, Італія, 1999) та ін. З січня 2001 В.В.Мелешко входив до складу конференційного комітету європейських конференцій з механіки рідини, де репрезентував увесь регіон Східної Європи.

Плідною є співпраця відділу з різними департаментами Ейндховенського технологічного університету (Нідерланди) [3, 31–34, 39, 41, 44, 46, 51]. Вона включала обмін коротко- та довготривалими візитами вчених двох країн, стажування та роботу над спільними проектами щодо проблем вихрової динаміки та перемішування в'язкої рідини. Також успішною була співпраця з департаментом теоретичної та прикладної механіки університету Урбана-Шампейн штату Іллінойс (США) з питань динаміки точкових вихорів та вихрової моделі турбулентності [25, 30, 42, 47].

За результатами цих наукових досліджень у відділі опубліковано 9 монографій [2, 4, 6–8, 12–15] та більше 370 статей, у тому числі, в престижних наукових журналах.

Бібліографія

- [1] Горський Ю. В., Краснопольська Т. С. Побудова математичних моделей збудження хрестоподібних хвиль у воді у бокалах при випромінюванні бокалами звукових звукових хвиль. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2024. Т. 78, № 1. С. 57–60.
- [2] Гринченко В. Т., Мелешко В. В. *Гармонические колебания и волны в упругих телах*. Киев : Наукова думка, 1981. 284 с.

- [3] Гуржій О. А., Мелешко В. В., ван Хейст Г. Я. Ф. Метод кусочної сплайн-інтерполяції в задачі про адвекцію пасивної домішки в відомому полі швидкості. *Доповіді НАН України*. 1996. № 8. С. 54–62.
- [4] *Динамика тел, взаимодействующих со средой* / Гузь А. Н., Маркуш Ш., Пуст Л., Краснопольская Т. С. и др. Киев : Наукова думка, 1991. 329 с.
- [5] Деркач М. И., Стеценко А. Г. Волны отрицательной энергии в многослойной модели стратифицированного сдвигового течения. *Труды МТУ им. Н. Баумана*. 1993. № 564. С. 121–129.
- [6] Краснопольская Т. С., Швец А. Ю. *Регулярная и хаотическая динамика систем с ограниченным возбуждением*. Москва–Ижевск : РХД, 2008. 278 с.
- [7] Кубенко В. Д., Ковальчук П. С., Краснопольская Т. С. *Нелинейное взаимодействие форм изгибных колебаний цилиндрических оболочек*. Киев : Наукова думка, 1984. 336 с.
- [8] *Нелинейная динамика осесимметричных тел, несущих жидкость* / Кубенко В. Д., Ковальчук П. С., Бояршина Л. Г. и Краснопольская Т. С. Киев : Наукова думка, 1992. 290 с.
- [9] Лук'янов П. В., Мадерич В. С., Стеценко О. Г. В'язко-дифузійна стадія еволюції перемішаної плями, що знаходиться у полі внутрішньої хвилі. *Доповіді НАН України*. 2000. С. 101–106.
- [10] Мадерич В. С., Никишов В. И., Стеценко А. Г. *Динамика внутреннего перемешивания в стратифицированной среде*. Киев : Наукова думка, 1988. 239 с.
- [11] Лабораторное моделирование водообмена через морские проливы / Мадерич В. С., Константинов С. И., Кулик А. И. и Олексюк В. В. *Океанология*. 1999. Т. 38, № 4. С. 1–8.
- [12] Мелешко В. В., Константинов М. Ю. *Динамика вихревых структур*. Киев : Наукова думка, 1993. 279 с.
- [13] Мелешко В. В. *Бігармончні проблеми механіки*. Київ, 2011. 604 с.
- [14] Мелешко В. В., Маципура В. Т., Улітко І. А. *Теорія хвилеводів*. Київ : Наукова думка, 2013. 316 с.
- [15] Мелешко В. В. *Вибрані статті*. Київ, 2014. 622 с.
- [16] Мелешко В. В., Гуржій А. А., Краснопольская Т. С. Смешивание вязкой жидкости в прямоугольных микроканалах. *Гідродинаміка і акустика*. 2018. Т. 1(91), № 2. С. 191–222.

- [17] Нікішов В. І. Про локальну структуру полів скалярних величин у турбулентному потоці. *Доповіді НАН України*. 1992. № 7. С. 55–58.
- [18] Никишова О. Д. Устойчивость течения вблизи криволинейной движущейся поверхности с трехмерными возмущениями. *Прикладна гідромеханіка*. 2000. Т. 2(74), № 2. С. 64–75.
- [19] Стеценко А. Г. Внутренние волны за быстро движущимся локализованным возмущением в неоднородной по горизонтали среде. *Морской гидрофизический журнал*. 1997. № 2. С. 28–37.
- [20] Стеценко О. Г. Нестационарный рух точкового вихора у двошаровій рідині. *Прикладна гідромеханіка*. 2012. Т. 14(86), № 2. С. 70–79.
- [21] Стеценко О. Г. Нестационарный рух точкового вихора в шарі стратифікованої рідини скінченої товщини. *Прикладна гідромеханіка*. 2012. Т. 14(86), № 4. С. 65–74.
- [22] Стеценко О. Г., Ільченко В. М. Поверхневі хвилі в каналі, утворені рухомою областю поверхневого тиску. *Прикладна гідромеханіка*. 2013. Т. 15(87), № 4. С. 40–48.
- [23] Стеценко О. Г., Ільченко В. М. Поверхневі хвилі за рухомою областю поверхневого тиску в каналі з трапецієвидним поперечним перерізом. *Прикладна гідромеханіка*. 2014. Т. 16(88), № 4. С. 66–78.
- [24] Стеценко О. Г., Ільченко В. М. Хвильовий опір рухомої області поверхневого тиску в каналах з прямокутною та трапецієвидною формами поперечного перерізу. *Прикладна гідромеханіка*. 2015. Т. 17(89), № 2. С. 43–55.
- [25] Frontiers of chaotic advection / Aref H., Blake J. R., Budišić M., Cardoso S. S. S., Cartwright J. H. E., Clercx H. J. H., El Omari K., Feudel U., Golestanian R., Gouillart E., van Heijst G. F., Le Guer Y., Krasnopolskaya T. S., MacKay R. S., Meleshko V. V., Metcalfe G., Mezić I., de Moura A. P. S., Pir O., Speetjens M. F. M., Sturman R., Thiffeault J.-L., and Tuval I. *Reviews of Modern Physics*. 2017. Vol. 89. P. 025007.
- [26] Galaktionov O. S., Maderich V. S., Nikishov V. I. Evolution of layered structures in the final stage of turbulent decay in a stably stratified fluid. *Dynamics of Atmosphere and Oceans*. 2001. Vol. 34, no. 2-4. P. 125–144.
- [27] Gomilko A. M., Malyuga V. S., Meleshko V. V. On steady Stokes flow in a trihedral rectangular corner. *Journal of Fluid Mechanics*. 2003. Vol. 476. P. 155–177.
- [28] Two approaches to the analysis of the coaxial interaction of vortex rings / Grinchenko V. T., Meleshko V. V., Gourjii A. A., Eisenga A. E. M., and van Heijst G. J. F. *International Journal of Fluid Mechanics Research*. 2003. Vol. 30. P. 166–183.

- [29] Konovalyuk T. P., Krasnopolskaya T. S., Pechuk E. D. Influence of the internal dynamics of the interacting coherent vortex structures to the generated sound field. *Bulletin of the Taras Shevchenko National University of Kyiv. Physics and Mathematics*. 2021. Vol. 2021, no. 2021(3). P. 51–54.
- [30] Krasnopolskaya T. S., Shvets A. Y. Chaos in vibrating systems with a limited power-supply. *Chaos*. 1993. Vol. 3, no. 3. P. 000–000.
- [31] Mixing in Stokes flow in an annular wedge cavity / Krasnopolskaya T. S., Meleshko V. V., Peters G. W. M., and Meijer H. E. H. *European Journal of Mechanics B/Fluids*. 1999. Vol. 18. P. 793–822.
- [32] Krasnopolskaya T. S., van Heijst G. J. F. Wave pattern formation in a fluid annulus with a radially vibrating inner cylinder. *Journal of Fluid Mechanics*. 1996. Vol. 128. P. 229–252.
- [33] Krasnopolskaya T. S., van Heijst G. J. F. Fluid surface waves in a partially filled ‘singing wine glass’. *European Journal of Mechanics B/Fluids*. 2018. Vol. 67. P. 116–124.
- [34] Coupled cross-waves in a partially filled ‘singing wine glass’ / Krasnopolskaya T. S., Pechuk E. D., Filimonov V. Y., Kochin V. A., and van Heijst G. J. F. *European Journal of Mechanics B/Fluids*. 2023. Vol. 100. P. 247–255.
- [35] Krasnopolskaya T. S., Pechuk E. D. Peculiarities of parametric resonances in cross-waves. *Springer Proceedings in Complexity*. Cham : Springer Nature Switzerland AG, 2014. P. 327–335.
- [36] Influence of the heart rate on dynamics of cardiorespiratory system / Pechuk E. D., Konovalyuk T. P., Sobol T. V., and Krasnopolskaya T. S. *Springer Proceedings in Complexity*. Cham : Springer Nature Switzerland AG, 2020. P. 211–216.
- [37] Pechuk V. D., Krasnopolska T. S. Estimation of the largest Lyapunov exponent for a model of cross-shaped waves in a rectangular channel of finite size. *Journal of Mathematical Sciences*. 2024. Vol. 282, no. 5. P. 862–869.
- [38] Maderich V. S., van Heijst G. J. F., Brandt A. Laboratory experiments on intrusive flows and internal waves in a pycnocline. *Journal of Fluid Mechanics*. 2001. Vol. 432. P. 285–311.
- [39] Mixing in the Stokes flow in a cylindrical container / Malyuga V. S., Meleshko V. V., Speetjens M. F. M., Clercx H. J. H., and van Heijst G. J. F. *Proceedings of the Royal Society of London*. 2002. Vol. A458. P. 1867–1885.
- [40] Advection of a vortex pair atmosphere in a velocity field of point vortices / Meleshko V. V., Konstantinov M. Y., Gurzhi A. A., and Konovaljuk T. P. *Physics of Fluids*. 1992. Vol. A4. P. 2779–2797.

- [41] Meleshko V. V., van Heijst G. J. F. Interacting two-dimensional vortex structures: point vortices, contour kinematics and stirring properties. *Chaos, Solitons and Fractals*. 1994. Vol. 4. P. 977–1010.
- [42] Meleshko V. V., Aref H. A blinking rotlet model for chaotic advection. *Physics of Fluids*. 1996. Vol. 8. P. 3215–3217.
- [43] Meleshko V. V., Malyuga V. S., Gomilko A. M. Steady Stokes flow in a finite cylinder. *Proceedings of the Royal Society of London*. 2000. Vol. A456. P. 1741–1758.
- [44] Meleshko V. V., Peters G. W. M. Periodic points for two-dimensional Stokes flow in a rectangular cavity. *Physics Letters*. 1996. Vol. A216. P. 87–96.
- [45] Meleshko V. V., Aref H. A bibliography of vortex dynamics 1858–1956. *Advances in Applied Mechanics*. 2007. Vol. 44. P. 197–292.
- [46] Meleshko V. V., van Heijst G. J. F. On Chaplygin's investigations on coherent vortex structures. *Regular and Chaotic Dynamics*. 2007. Vol. 12, no. 2. P. 108–114.
- [47] Meleshko V. V., Newton P. K., Ostrovs'kyi V. V. Stability of the configurations of point vortices on a sphere. *Journal of Mathematical Sciences*. 2010. Vol. 171. P. 603–619.
- [48] Meleshko V. V. Coaxial vortex rings: 150 years after Helmholtz. *Theoretical and Computational Fluid Dynamics*. 2010. Vol. 24. P. 403–431.
- [49] Meleshko V. V., Gourjii A. A., Krasnopolskaya T. S. Vortex rings: history and state-of-the-art. *Journal of Mathematical Sciences*. 2011. Vol. 173, no. 4. P. 184–214.
- [50] Nikishova O. D., Oleksiuk V. V. Development of convection in a horizontally non-homogeneous flow of finite depth. *International Journal of Fluid Mechanics Research*. 2001. Vol. 28, no. 2. P. 292–299.
- [51] Meleshko V. V., Speetjens M. F. M., van Heijst G. J. F. Spectral analysis of point-vortex dynamics: first application to vortex polygons in a circular domain. *Fluid Dynamics Research*. 2014. Vol. 6, no. 3. P. 031402.

ВІДДІЛ ГІДРОДИНАМІКИ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

Відділ гідродинаміки гідротехнічних споруд було організовано в 1977 році на базі трьох відділів – фільтрації, фізичної гідромеханіки та турбулентних течій. Біля витоків формування відділу в Інституті гідромеханіки НАН України та його тематики стояли академік АН УРСР Г.Й.Сухомел, чл.-кор. АН УРСР Б.А.Пишкін, чл.-кор. АН УРСР О.Я.Олійник, доктори технічних наук І.Л.Розовський, М.М.Біляшевський, М.Г.Пивовар.

З 1977 по 2004 рік відділом керував докт. техн. наук, проф. Микола Григорович Пивовар. З 2004 по 2016 рік виконувачем обов'язків завідувача відділу був канд. техн. наук Микола Григорович Бугай. Після об'єднання відділу з відділом стратифікованих течій у 2016 році ним керував докт. техн. наук, проф. Степан Іванович Кріль.

З 2021 року відділом керує кандидат технічних наук Олександр Іванович Кривоног. На даний час у відділі працюють три кандидати технічних наук та один кандидат фізико-математичних наук.



Микола Григорович Пивовар народився у 1928 році в м. Кобеляки Полтавської області, у 1951 році закінчив Київський гідромеліоративний інститут, в 1954 році – аспірантуру в Інституті гідрології та гідротехніки АН УРСР (нині Інститут гідромеханіки НАН України). Кандидат технічних наук з 1955 року, доктор технічних наук з 1977 року, професор з 1989 року, заслужений меліоратор УРСР. Автор 150 друкованих праць, у тому числі 5 монографій, 7 нормативних документів, 14 авторських свідоцтв та 4 патентів. Під його керівництвом захищено 15 кандидатських дисертацій.



Микола Григорович Бугай народився у 1932 році в м. Краматорську Донецької області. У 1956 році закінчив Київський гідромеліоративний інститут, за фахом інженер-гідротехнік, у 1964 році – аспірантуру в Інституті гідромеханіки НАН України. З 1965 року – кандидат технічних наук за спеціальністю гідротехнічне будівництво і споруди. Фахівець у галузі руху рідини в природних та штучних пористих матеріалах, фільтрах і дренажних пристроях, розроблених на їх основі. Автор 113 друкованих праць, серед яких 3 монографії, 7 нормативних документів, 5 авторських свідоцтв та 5 патентів. Під його керівництвом захищено 1 кандидатську дисертацію.



Степан Іванович Кріль народився в 1942 році в с. Куровиці Львівської області. У 1964 році закінчив Львівський університет за спеціальністю механіка, в 1968 році – аспірантуру в Науково-дослідному Інституті гідротехніки ім. Б. Є. Веденєєва (м. Ленінград). Кандидат фізико-математичних наук з 1970 року, доктор технічних наук з 1986 року, професор з 1996 року. Автор 159 друкованих праць, серед яких 5 монографій, 7 нормативних документів, 14 авторських свідоцтв та двох патентів. Під його керівництвом захищено 4 кандидатські та 1 докторську дисертацію.



Олександр Іванович Кривоног народився в 1956 році в Приморському краї (Росія). У 1979 році закінчив Далекосхідний політехнічний інститут за фахом інженер-гідротехнік, у 1989 році – аспірантуру в Інституті гідромеханіки НАН України. З 1990 року – кандидат технічних наук за фахом меліорація та зрошувальне землеробство, з 2002 року – старший науковий співробітник. Фахівець у галузі руху рідини у природних та штучних пористих матеріалах та очищення води від завислих забруднень. Автор 74 друкованих праць, серед яких 1 монографія, 7 нормативних документів, 14 авторських свідоцтв та 2 патенти.

Наукові напрямки діяльності відділу

З моменту створення і дотепер у відділі проводяться наукові дослідження за такими напрямками – гідраліка течій у відкритих потоках та гідротехнічних спорудах; руслові процеси в річках та каналах; процеси руху рідини в природних і штучних пористих матеріалах, фільтрах і дренажних пристроях, розроблених на їх основі; гідродинаміка взаємодії прісних та солоних вод у природних та штучних водоймах; гідродинаміка двофазних потоків гідралічного та пневматичного трубопровідного транспорту; гідралічний розрахунок ерліфта; теоретичні основи розрахунків фільтраційної стійкості основ споруд, укосів та схилів у складних інженерно-геологічних умовах.

Процеси руху рідини в природних та штучних пористих матеріалах, фільтрах та дренажних пристроях, розроблених на їх основі

У проведенні досліджень у цьому напрямку брали участь М.Г.Пивовар, М.Г.Бугай, В.Л.Фрідріхсон, В.В.Кривоног (Ткач), О.І.Кривоног, А.М.Хлапук. Основні зусилля в рамках цієї тематики концентрувались на вирішенні завдань раціонального використання та охорони водних ресурсів, гідротехнічного та меліоративного будівництва; запобігання підтоплення, заболочування та засолення сільськогосподарських земель і територій населених пунктів. При цьому однією з основних задач було влаштування різних типів дренажу, довговічність якого значною мірою визначається надійністю дренажних фільтрів.

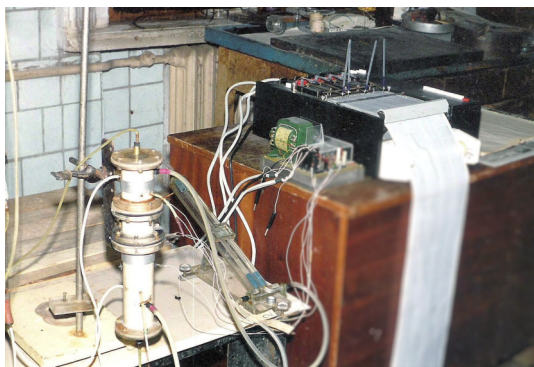
У 1960-их рр. виникла необхідність пошуку нових технічних рішень і виконання ком-



Співробітники відділу (зліва направо) головний гідротехнік П.Ю.Романенко, ст. наук. співр. В.Л., ст. наук. співр. В.В.Кривоног, зав. відділом, ст. наук. співр. О.І.Кривоног, головний гідротехнік В.В.Фадєєв

плексу теоретичних та експериментальних робіт з розробки нових конструкцій, методів розрахунку, принципів проектування, способів і технологій будівництва меліоративного дренажу, дренажних пристроїв гідротехнічних споруд з використанням нових штучних волокнистих фільтруючих матеріалів і впровадження їх у водогосподарське будівництво. Такі дослідження провадилися у відділі з 1965 року під керівництвом М.Г.Пивовара та М.Г.Бугая групою співробітників у складі В.Л.Фрідріхсона, О.І.Кривонога, В.В.Кривоног, А.М.Хлапука, М.Д.Кучинського, Г.В.Леонovich, Г.В.Підгорної, М.В.Сурми, О.К.Совенко [1–4].

У результаті проведених експериментальних досліджень та отриманих аналітичних розв'язків були вивчені процеси фільтрації у волокнистих фільтруючих матеріалах та виробках з них, запропоновані розрахункові формули, номограми й графіки, розроблено методи фільтраційного розрахунку волокнистих фільтрів і дренажних конструкцій з ними. Вони дозволили визначити фільтраційні характеристики та водопропускну здатність нетканих і тканих фільтруючих матеріалів зі скляного, базальтового, полімерних та інших синтетичних волокон та виробів з них з урахуванням впливу тиску, деформацій, діаметра елементарного волокна або ниток, характеру їх переплетення й напрямку потоку до волокон або ниток, впливу аппретів і зв'язуючих матеріалів. Розроблено базові технологічні параметри для промислового виготовлення фільтрів з різних штучних волокон і конструкції дрен із заданими фільтраційними та іншими фізико-механічними характеристиками та структурними параметрами [5–7].



*Стенд для дослідження згасання тиску
фільтраційного потоку в об'ємних
волокнистих фільтрах*

У результаті проведених експериментальних і теоретичних досліджень стійкості гідротехнічних споруд, кріплень укосів каналів і дамб водосховищ з використанням волокнистих фільтрів і визначення допустимих величин закладення укосів земляних гребель, захисних дамб, при яких можна застосовувати ці фільтри, запропоновано розрахункові таблиці для визначення величин кута й коефіцієнта внутрішнього тертя, зчеплення та коефіцієнта тертя при зсуві кріплення по контакту з фільтром або фільтра по ґрунту чи бетону [1, 2].

На підставі виконаних теоретичних, експериментальних і натурних досліджень на контактну стійкість і суффозійний розмив при всіх видах фільтрації, включаючи пульсуючу, встановлено, що фільтри з волокнистих матеріалів захищають будь-які зв'язні та незв'язні ґрунти від контактної фільтраційної руйнування при сталій фільтрації та дії хвиль. Встановлено, що згасання пульсацій тиску у волокнистих фільтрах відбувається за експоненціальним законом, тобто є більш інтенсивним, ніж у піщано-гравійних фільтрах. Запропоновано розрахункові залежності, які дозволяють визначити згасання амплітуд

пульсацій тиску у волокнистих фільтрах з урахуванням впливу діаметра елементарного волокна, ступеня його ущільнення та зміни водопроникності.

У 1960–1970 рр. у відділі були проведені різнопланові дослідження меліоративного дренажу з фільтрами зі штучних волокнистих матеріалів з метою обґрунтування надійності роботи дрена з пластмасових, пористих бетонних, керамзитових, гончарних та азбестоцементних труб для глибокого та мілкового горизонтального дренажу меліоративних систем і гідроспоруд. Виконані роботи були спрямовані на вирішення питань вибору оптимальної площі та розмірів отворів перфорації дренажних труб, товщини й водопроникності фільтра та впливу цих параметрів на фільтраційні опори в придренній області на приплив води до дрена і міждренні відстані [1, 7].

У результаті проведених досліджень з застосуванням фізичного та математичного моделювання, а також на підставі аналітичних розв'язків отримано залежності у вигляді формул, графіків і таблиць, які дозволяють врахувати вплив діаметра дрена на її водозахоплюючу здатність, визначити оптимальну площу, розміри, форму та характер розміщення перфорації по периметру труби, встановити необхідну водопроникність, товщину й конструкцію волокнистого фільтра та визначити мінімальні додаткові фільтраційні опори й максимальний приплив води в дрена, який за величиною наближається до припливу в досконалу за характером розкриття шару дрена, визначити приплив і розрахувати міждренні відстані для дрена з волокнистими фільтрами, закладеними в різні по водопроникності ґрунти [1].

У 1980-их рр. на підставі проведених досліджень було розроблено нові ефективні та економічні фільтруючі матеріали з синтетичних волокон, які виробляються різними способами, розроблено конструкції дрена з цими матеріалами, а також нормативні документи на їх виробництво.

При будівництві горизонтального трубчастого дренажу у важких зв'язних і лесових ґрунтах застосовують конструкції з фільтруючими обсіпками. Раніше у якості матеріалу обсіпки використовували різні сортовані піщано-гравійні ґрунти, що значно збільшувало вартість будівництва дренажу. Застосування в дренажах захисних волокнистих фільтрів дозволило в багатьох випадках замінити піщано-гравійні обсіпки місцевими невідсортованими та навіть морськими пісками. Це дозволило суттєво знизити вартість будівництва дренажу [1, 4, 8].

У відділі також було виконано комплекс досліджень золошлакових відходів ТЕС з метою обґрунтування застосування їх як фільтруючих обсіпок дренажу. Отримані результати показали, що золошлакові відходи ТЕС можна успішно використовувати в якості фільтруючих обсіпок меліоративного дренажу. Це дозволяє частково утилізувати золошлакові відвали ТЕС, які займають значні площі та становлять загрозу для навколишнього середовища.

Окрім того, проведені комплексні дослідження захисно-фільтруючого поліетиленового матеріалу з метою його використання як водоприймального шару фільтрів свердловин вертикального та променевого дренажів. Також виконано експериментальні та теоретичні роботи, в результаті яких було встановлено, що вібрація не істотно впливає на приплив до свердловини. Розроблено конструкції полімерних трубофільтрів для свер-

дловин вертикального дренажу та нормативні документи на їх виробництво.

Протягом 1990 рр. у відділі проводилися експериментальні дослідження контактної безреагентної та реагентної освітлення малоконцентрованої тонкодисперсної суспензії та знезалізнення підземних вод фільтрами з волокнисто-пористого поліетилену (ВПП). Було показано, що ступінь очищення, брудоемність та тривалість фільтроциклу для таких фільтрів більша, ніж для традиційних водоочисних фільтрів. Отримано розрахункові формули та графіки для їх розрахунку. Розроблено спосіб регенерації фільтра без порушення його структури [9–11].

У цей період співробітниками відділу були виконані дослідження та розроблені способи застосування гідротехнічних споруд та агро меліоративні заходи щодо зниження забруднень поверхневих вод при формуванні стоку на водозбірних басейнах. Було дано гігієнічну оцінку забрудненості джерел водопостачання України азбестом та впливу азбестоцементних труб на вміст волокон азбесту в питній воді.

У 2000 рр. у відділі виконувались передбачені державним замовленням у сфері науки дослідження щодо розробки природоохоронних технологій, методів розрахунку та технічних засобів захисту територій та об'єктів від підтоплення та небезпечних інженерно-геологічних процесів.

Також було розроблено кілька типів нетканих геотекстильних матеріалів для гідротехнічного будівництва, експлуатаційні властивості яких відповідають рівню зарубіжних аналогів, а вартість значно менша. Сфера застосування кожного з них обумовлена інженерним конструктивним рішенням та умовами експлуатації. Розроблено інноваційний проект з впровадження геотекстильних матеріалів у галузі гідротехнічного будівництва, розроблено нормативні документи та налагоджено виробництво таких матеріалів на вітчизняних підприємствах.

Розроблено конструктивні рішення щодо захисту укосів гідротехнічних споруд від хвильових навантажень та методики їх розрахунку в залежності від можливої схеми дії на кріплення зовнішніх сил, а також технології виконання робіт.

Рекомендовані для впровадження конструкції гнучких кріплень укосів гідротехнічних споруд з використанням геотекстильних матеріалів у якості зворотних фільтрів значно зменшують матеріалоемність конструкції кріплення внаслідок повної або часткової заміни природних сипучих фільтруючих матеріалів. Це відповідає вимогам охорони довкілля та збереження природних ресурсів, підвищує продуктивність праці та зменшує енергоемність робіт за рахунок впровадження нових технологій.

Гідравліка течій у відкритих потоках, гідротехнічних спорудах та руслові процеси в річках та каналах

Дослідження в цьому напрямку виконувала група під керівництвом к.т.н. В.О.Базилевича у складі к.т.н. В.І.Гайдученка, к.ф.-м.н. В.О.Ткаченка, к.т.н. В.В.Козицького, к.т.н. Н.Г.Позньої, Е.В.Єрьоменка, П.К.Цветкова, О.В.Дзевалтовського, Н.К.Грибовської і С.М.Грінько, а також група під керівництвом к.т.н. В.І.Дейнеки у складі к.т.н. Ю.П.Сахна, О.А.Буднього, Н.В.Доліної, Т.О.Золікової і О.Шматка.

На підставі експериментальних досліджень у лабораторних та натурних умовах, а також теоретичних опрацювань були розроблені методи розрахунку сполучення б'єфів та кріплень дна за водозливними греблями та водоскидними спорудами, які знайшли широке застосування у водогосподарському будівництві [12, 13]. Розроблені покращені типи водозливних гребель з кам'яного накиду [14] дозволили використовувати місцеві матеріали та в кілька разів здешевити будівництво й вартість цих споруд. Понад три десятки таких гребель було побудовано в нашій країні, також вони поширені за кордоном [15]. При гідравлічних дослідженнях застосовувались моделі (головним чином, розмивні), не прив'язані до конкретних річок. Вони використовувались для вивчення закономірностей течії води, руху наносів і переформування русел [16–19]. Водночас нерозмивні моделі застосовувались до конкретних ділянок річок, на яких здійснювався вибір типу інженерних заходів для народно-господарських об'єктів [18, 20–22].

Групою під керівництвом В.О.Базилевича було проведено численні дослідження течій води та деформацій русла Дніпра. На великих руслових моделях ділянок цієї річки було вивчено рух води при пропусках Київської та Каховської ГЕС [18], а також зворотний рух води в гирлі Десни, який виникає під впливом Київської ГЕС [21]. Також було розроблено метод роздільного моделювання на жорстких моделях річкового русла й заплави, який можна рекомендувати в тих випадках, коли заплава суцільно заліснена й по берегах русла по всій його довжині розташована густа рослинність, що істотно обмежує взаємодію руслового і заплавної потоків. Це дозволяє розглядати потоки як самостійні, які мають сталі витрати води по всій моделі.

При моделюванні гірських і передгірних ділянок річок українських Карпат, складених гравійно-гальковими русловими відкладеннями, були використані моделі, які дозволяють детально вивчити не лише якісні, а й кількісні закономірності потягу наносів, деформацій русла та руслових процесів в умовах, найбільш наближених до натурних [16, 17, 23, 24].

Велику увагу було приділено встановленню зв'язку між розмивом і переміщенням наносів незв'язних частинок ґрунту або кам'яної накидки на дні русла, з одного боку, і значенням швидкостей потоку, з іншого. Встановлено, що стійкість незв'язних часточок на дні русла визначається не тільки актуальною швидкістю, яка діє на них, а значною мірою залежить від співвідношення між максимальною пульсційною та середньою складовими швидкості в придонній області потоку. Було розроблено методи розрахунку та побудови кривих вільної поверхні, плану течій придонних струменів і просторових деформацій гравійно-гальчаникових і піщаних русел, в яких основними при руслоформуванні є донні або завислі наноси відповідно. Розрахунок за цими методами є приблизним, але використання ряду припущень та спрощень значно полегшує обчислення, забезпечуючи достатню для практики точність, що як показали порівняння з даними дослідними та натурними вимірювань.

Ця методика передбачає розв'язання основних рівнянь відкритого потоку та рівнянь балансу наносів [25]. Розрахунок просторових деформацій русел річок за нею ґрунтується на підрахунку балансу руслоформуючих тягнених або завислих наносів та обумовленої ними деформації дна русла. Для гірських і передгірних річок, де основну роль у

руслоформуванні відіграють тягнені наноси, в якості струменів розрахунку деформацій використовуються придонні струмені. Вони відображають рух тягнених наносів, розташованих біля дна, та мають товщину максимальних розмірів частинок у цих наносах. На відміну від них, у рівнинних річках з піщаним ложем руслоформуючі наноси транспортуються, головним чином, у завислому стані. Тому в них струмені розрахунку деформацій охоплюють всю глибину потоку, але приймаються такими ж, як придонні струмені. Це випливає з припущення про те, що основна маса руслоформуючих наносів транспортується поблизу дна. Для розрахунку транспорту руслоформуючих наносів і деформацій дна розроблено відповідні критерії, засновані на співставленні витрат принесених і видалених наносів [19, 26]. Розрахунок включає також оцінку шорсткості русла, обчислення динамічної швидкості, визначення розмиву берега русла та облік продуктів цього розмиву в загальному балансі завислих і тягнених наносів [19, 26, 27]. При підрахунку витрати наносів, що утворилися від розмиву берега, використовується встановлена пропорційність між питомою (на одиницю довжини берега) витратою наносів берега, що розмивається, питомою (на одиницю ширини потоку) витратою наносів в руслі або в струмені, що примикає до берега, який розмивається. Використовувати цю методику доцільно для ділянок річок з будь-яким типом руслового процесу в тому разі, якщо ці ділянки знаходяться під впливом змін русла, течій води, рідкого або твердого стоку, зумовлених гідротехнічними спорудами, регуляційними заходами або інтенсивним зосередженням відбором ґрунту з руслових кар'єрів [16].

У відділі виконані також багаторічні дослідження турбулентності у відкритих потоках, трубопроводах і нижніх б'єфах гідроспоруд, а також вивчено вплив полімерних добавок на зниження опору в трубах та струменах.

Нашими співробітниками під керівництвом В.І.Дейнеки виконано лабораторні та натурні дослідження річкових водозабірних споруд, призначених для відбору великих об'ємів води для зрошувальних систем [22], каналів перекидання річкового стоку, промислового та водогосподарського водопостачання, енергетики. Розроблено нові ефективні схеми компонування пригреблевих і безгреблевих водозабірних споруд, які забезпечують надійний відбір необхідного об'єму води (до 300 м³/с) з передгірних та рівнинних річок при захисті каналу від основних великих фракцій наносів, шуго-льодових явищ, плавця тощо.

Дослідження взаємодії прісних та солоних вод у природних та штучних водоймах

Дослідження в цьому напрямку, пов'язані переважно з розробкою техніко-економічного обґрунтування низки великих гідровузлів, було розпочато в 1970-их рр. У проведенні робіт під керівництвом к.т.н. А.М.Шабріна брали участь к.ф.м.н. В.П.Проходько і Е.О.Берг.

Виконано лабораторні роботи, пов'язані з визначенням дальності заходу клина солоної морської води в рукави дельти річки Дунай та розробкою інженерних заходів щодо обмеження дальності заходу солоної води в русло прісного водотоку. Встановлено, що за

допомогою донних порогів можна вирішити проблему повного або часткового захисту водотоку від інтрузії солоної морської води, що обумовлено зменшенням витрати прісного потоку [28].

Лабораторні гідродинамічні дослідження розтікання прісного струменя, який втікає в широке водоймище, затоплене солоною водою, дали можливість встановити зв'язок між умовами розтікання й числом Фруда прісного потоку в гирловому створі. Ставилось завдання вивчення процесів водообміну прісної та солоної води у шлюзовій камері з метою розробки технічних рішень щодо захисту від засолення прісної водойми морською водою. На лабораторних установках досліджувались питання моделювання стратифікованих течій. У їх результаті запропоновано критерій подібності, який дозволяє проводити дослідження відповідно до фізичної картини явища [29]. Також розроблено спосіб моделювання граничних умов стратифікованих течій, ефективність якого полягає в отриманні якісно нового результату, що дозволяє на гідродинамічних стендах обмежених розмірів моделювати граничні умови для нескінченно великих областей. Це значно підвищило точність і ефективність моделі. Виходячи з цього, проведено масштабні лабораторні дослідження, результати яких дозволили отримати кількісні характеристики густинних течій та розрахункові залежності для визначення величини водообміну прісної та солоної води в камері шлюзу [30].

Для умов значних перепадів рівнів між захищуваною прісною водоймою та морем розроблено конструкцію шлюзової камери, яка дозволяє здійснювати водообмін в своїх межах, не пропускаючи солону воду в прісну водойму.

Розробка принципів технічних рішень щодо захисту водойм від засолення морською водою включає низку питань, пов'язаних з роботою селективних водозаборів, і, зокрема, зі збільшенням пропускної здатності водоскидних отворів. Робота селективного водозабору вивчалася за умов плоскої та просторової схем течії. Розроблені конструкції гідростенду та методика досліджень дозволили суттєво збільшити точність вимірювання характерних параметрів течії та зменшити трудомісткість процесу вимірювання витрат різногустинних рідин, які видаляються зі стратифікованої водойми, у порівнянні з попередніми методиками й конструкціями.

Були проведені дослідження, пов'язані з розробкою чисельних методів розрахунку для перерахованих проблем. Ці методи базуються на використанні ускладнених моделей турбулентності з залученням для основних величин додаткових рівнянь, які визначають пульсаційний рух. Математичне моделювання застосовувалося також для розрахунку вертикальних плоских та осесиметричних плавучих струменів.

Дослідження стійкості основ споруд, укосів та схилів під дією зволоження, фільтрації, суфозії та розрідження в зоні зрізу ґрунту з метою запобігання зсувних процесів

З 2010 року під керівництвом провідного наукового співробітника, д.т.н., професора А.І.Білеуша у відділі досліджувалась стійкість ґрунтів в основах споруд, укосів і схилів для складних інженерно-геологічних умов [31]. У проведенні робіт за цим напрямком

брали участь М.Г.Бугай, О.І.Кривоног, В.В.Кривоног, П.Ю.Романенко, Т.П.Дем'яновська, Н.К.Грибовська, Н.В.Доліна. При цьому з метою прогнозування стійкості схилів на циліндричних зразках вивчались реологічні властивості зволжених ґрунтів під дією дотичних напружень у зоні їх зрізу. Для проведення досліджень було розроблено та виготовлено установки кручення, на які отримано два патенти України.

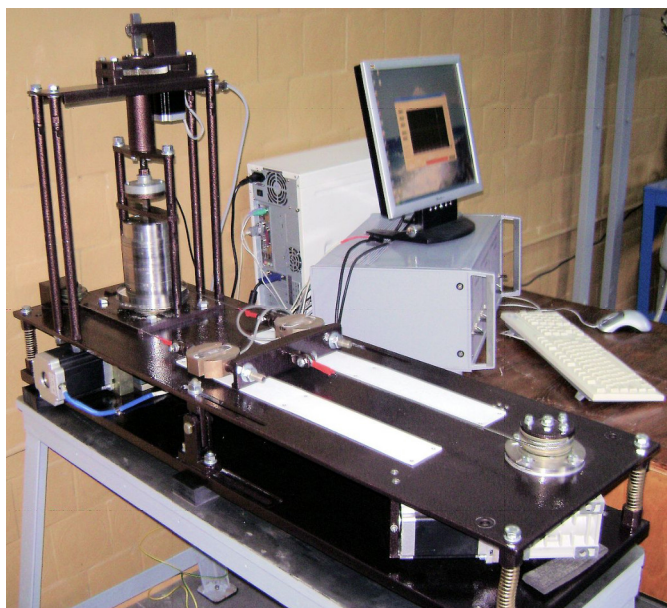


Професор А.І.Білеуш

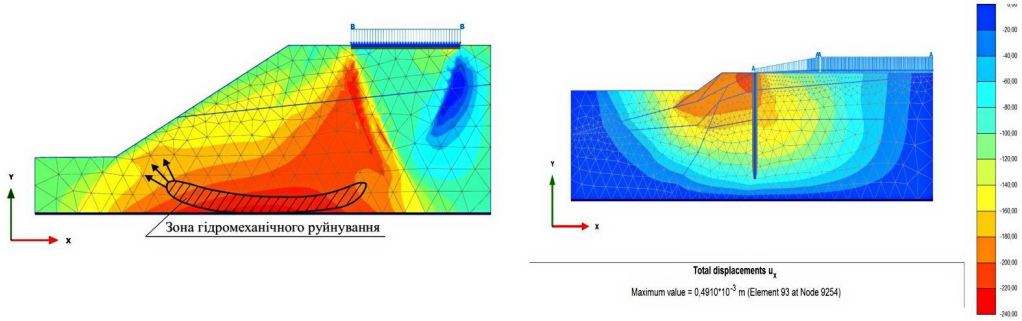
Проведені дослідження дозволили підтвердити тезу про те, що при руйнуванні структури водонасиченого ґрунту останній переходить в зоні зрізу з твердого стану в стан суміші «ґрунт–вода», яка має всі характерні властивості неньютонівської рідини другої групи. Така рідина має в'язкість, що змінюється з часом і залежить від градієнта швидкості та тривалості зрушення [32, 33]. Отримані результати дозволили розробити заходи зі стабілізації зсувних деформацій і конструкцію захисної протизсувної споруди для локального захисту об'єктів від зсуву за рахунок створення в період його активізації умов для розтину зсувних мас ґрунтів перед спорудою і зміни напрямку їх зміщення в обхід об'єктів без закріплення зсуву

в цілому. На розроблену конструкцію отримано патент України.

У рамках цих досліджень було проведено оцінку стійкості ґрунтів в основах споруд, укосів і схилів з урахуванням змінних в часі міцності та в'язкості ґрунтів при дії на них динамічних і статичних навантажень і зволоження. На основі розроблених матема-



Установка для дослідження ґрунту на зсув методом кручення



Результати моделювання пружно-деформованого стану ґрунтів схилів на PLAXIS 2D: величини деформацій у схилі без протиізсувної споруди (зліва) та при влаштуванні протиізсувної споруди (справа)

тичних залежностей з використанням програмних комплексів PLAXIS 2D і «Mathcad 15» було отримано типові розрахункові схеми й математичні моделі для оцінки пружно-деформованого стану ґрунто-армованих конструкцій в основах споруд, укосах і схилах і виконано їх співставлення з експериментальними даними. Це дозволило розробити нові природоохоронні конструкції з композиційних матеріалів «ґрунт–геотекстиль», які дозволяють стабілізувати основи споруд, укосів та схилів, одночасно виконуючи функції утримуючої споруди і дренажу. На ці конструкції отримано три патенти України [34].

У рамках цього напрямку у відділі проводились дослідження з визначення впливу протиізсувних палих стінок і захисних стінок глибоких котлованів на гідрогеологічні умови прилеглих територій. Для забезпечення стійкості схилів таких котлованів з боку високих відміток було запропоновано улаштування протифільтраційних стінок з залізобетонних і ґрунтоцементних паль, в яких для зниження баражного ефекту та гідравлічного тиску в площині стінок передбачається будівництво вертикальних дренажів. На конструкцію такої протифільтраційної стіни отримано патент України.

Проведене на ПОМ моделювання динаміки ґрунтових вод у випадку наявності запропонованої конструкції та без неї довело її високу ефективність. На цій основі розроблено рекомендації з використання таких конструкцій у будівельній практиці. Основні результати роботи передано для практичного впровадження до СП «Основа-Солсиф», АТ «Київпроект», «К.А.Н. Девелопмент» та Держводгоспу України.

Гідродинаміка двофазних потоків, гідравлічного та пневматичного трубопровідного транспорту. Розробка методики гідравлічного розрахунку ерліфта

Дослідження за цією тематикою розпочалися з 1953 року у відділі гідродинаміки двофазних потоків (ГДП), який до 1972 року очолював лауреат Державної премії СРСР докт. техн. наук, проф. М.А.Силін, а з 1972 по 1981 рік – канд. техн. наук В.М.Карасик. Їх було продовжено у відділі стратифікованих течій, створеному в 1982 році на базі відділу

ГДП – його до 2016 року очолював докт. техн. наук, проф. С.І.Кріль. До складу відділу входила лабораторія магістрального гідротранспорту, керівником якої був доктор технічних наук В.П.Берман.

Гідродинаміка двофазних потоків, гідравлічного та пневматичного трубопровідного транспорту сипучих матеріалів

Цей вид транспорту набув широкого застосування в багатьох галузях народного господарства, особливо, в гірничодобувній, металургійній та вугільній промисловості. Для проектування гідротранспортних систем, забезпечення надійності і ефективності їх роботи були необхідні науково обґрунтовані інженерні методи гідравлічного розрахунку пульпопроводів. Важливу роль при створенні таких систем відіграють питання гідродинаміки.

Роботи було розпочато з вивчення режимів роботи великих землесосних снарядів (М.А.Силін, С.Г.Коберник), а також з натурних гідравлічних випробувань вуглепроводу (М.А.Силін, І.О.Асауленко). Для проведення широкомасштабних експериментальних досліджень зависонесучих потоків у 1962 році під керівництвом Н.А.Силіна було створено одну з найбільших в країні лабораторію гідротранспорту.

У результаті багаторічних лабораторних і натурних досліджень трубопровідного гідротранспорту різних твердих матеріалів – піску, гравію, вугілля, відходів та продуктів збагачення руд чорних і кольорових металів, капсул тощо – до кінця 1970-х рр. було накопичено величезний експериментальний матеріал для вивчення кінематичної структури потоків розглянутого класу, питомого гідравлічного опору й критичні швидкості гідротранспортування (М.А.Силін, І.О.Асауленко, Ю.К.Вітошкін, В.І.Войтенко, В.М.Карасик, С.Г.Коберник, О.Н.Кривенко, В.П.Берман, В.Ф.Очеретько) [35–39]. Це сприяло поглибленню розуміння гідродинамічних процесів зависання та транспортування твердих тіл, зокрема капсул, турбулентними потоками рідини в трубах. Зроблені висновки стали основою для побудови певних фізичних моделей напірного двофазного потоку та отримання розрахункових формул для визначення основних параметрів гідротранспортування – питомих втрат напору на тертя та критичних швидкостей. Слід однак зазначити, що більшість цих формул має переважно емпіричний характер, тому області їх застосування обмежені умовами експерименту.

Практика проектування та широке застосування трубопровідних гідротранспортних систем ставлять задачу розробки узагальненої та достовірної методики гідравлічного розрахунку пульпопроводів, придатної для практичного використання в широких діапазонах зміни умов гідротранспортування. Її розробка стала можливою лише на основі фундаментальних теоретичних досліджень турбулентних двофазних потоків з використанням наявних експериментальних даних. Теоретичні дослідження розпочато наприкінці 1960-х рр. з метою створення основ статистичної механіки двофазних середовищ і розробки математичних моделей трубопровідного гідротранспорту твердих матеріалів (С.І.Кріль) [40].

Одним з важливих результатів експериментальних досліджень став ефект знижен-

ня критичної швидкості потоку, при якій починається випадання твердих частинок на нижню стінку горизонтальної труби, та відповідних їй питомих гідравлічних опорів з ростом середньої об'ємної концентрації суміші. Він спостерігається при гідротранспортуванні різномірних за крупністю дрібнозернистих і середньозернистих твердих матеріалів, які містять у своєму складі певну кількість пилоподібних фракцій діаметром до 10 мкм. У цьому випадку критичні швидкості й відповідні їм питомі гідравлічні опори спочатку збільшуються, а потім зменшуються, причому в деяких випадках досить суттєво, досягаючи певного мінімуму. При дуже високих концентраціях, які наближаються до максимально можливих, критичні швидкості стабілізуються, тоді як відповідні їм питомі гідравлічні опори знову різко зростають [41, 42]. Проведені дослідження дали фізичне пояснення та кількісний опис такої поведінки двофазних потоків [43, 44]. Виявлений ефект зниження питомих гідравлічних опорів при критичних режимах гідротранспортування має важливе значення, оскільки їх використання на практиці дозволяє при порівняно низьких енергетичних витратах транспортувати тверді матеріали з досить високими (до 30%) об'ємними концентраціями суміші. Це стало основою для розробленої технології гідротранспорту зі згущенням пульпи (І.О.Асауленко, Ю.К.Вітошкін, В.М.Карасик, С.І.Кріль).

Дослідження стратифікованих потоків

Ці дослідження розпочато з 1982 року. Основною їхньою задачею було вивчення процесів утворення, розвитку та виродження турбулентних вільних течій з урахуванням впливу температурно-густинної стратифікації. У результаті спеціальних досліджень було встановлено закономірності розвитку полів гідротермодинамічних характеристик розглянутих течій (М.В.Малюк, М.П.Динник, М.Ю.Константинов). Надалі свій розвиток отримали теорія та принципи імітаційного моделювання синтезованих оптимальних і квазіоптимальних просторово-часових систем реєстрації та оцінки параметрів гідрофізичних полів, інваріантних до змін зовнішніх умов (Б.А.Лазуткін).

У ці ж роки у відділі проводились фундаментальні та прикладні дослідження, спрямовані на розробку узагальнених науково обґрунтованих методик гідро- та аеродинамічного розрахунку трубопроводів для спеціалізованих видів транспортування – гідравлічного, високонапірного шламового та капсульного (С.І.Кріль, В.П.Берман). Особливу увагу приділено проблемі створення магістральних трубопровідних систем, призначених, зокрема, для перекачування сумішей дисперсних твердих матеріалів та різного роду газових носіїв, наприклад, сумішей подрібненого вугілля та природного газу або вуглекислоти [45]. На відміну від звичайного пневмотранспорту, який характеризується порівняно низькими робочими тисками (до 1 МПа) та відстанями транспортування (до 10 км), магістральний пневмотранспорт характеризується високими робочими тисками порядку 10 МПа й великою протяжністю трубопроводу, яка вимірюється сотнями кілометрів. При таких високих тисках газовий носій за своїми фізичними властивостями займає проміжне положення між нестисливою рідиною й повітрям. Це створює певні труднощі при розробці методики аеродинамічного розрахунку таких трубопроводів.

Одна з особливостей проведених досліджень полягає в сукупному розгляді турбулентних потоків гідросумішей, газових сумішей, сумішей рідини або газу та капсул з позиції фундаментальних положень статистичної механіки двофазних гетерогенних середовищ та експериментальних даних про кінематичну структуру, турбулентні характеристики, усереднені локальні та інтегральні параметри.

Основним результатом фундаментальних досліджень стало створення теоретичних основ статистичної механіки двофазних турбулентних середовищ (С.І.Кріль) [42, 44, 46, 47]. Макроскопічний рух таких середовищ і складових їхніх фаз описується рівняннями гідро- та термодинаміки, усередненими за ймовірністю та з урахуванням ефектів різного роду міжфазних взаємодій. Складено усереднені диференціальні рівняння мас і кількості руху фаз, рівняння механічної енергії усереднених і пульсаційних рухів фаз, а також рівняння притоку тепла та зміни ентальпії. Вони, на відміну від існуючих усереднених за простором-часом рівнянь двофазних турбулентних потоків, мають більш загальний характер, оскільки область їх застосування не обмежена концентрацією та лінійними розмірами твердих тіл, які входять до складу суміші. На основі цієї моделі вирішено низку принципових питань теорії переносу твердих тіл турбулентним потоком. Зокрема, більш детально розкрито фізичний механізм передачі енергії усередненого руху суміші до пульсаційного та виявлено подвійний характер впливу твердих частинок на турбулентність несучого середовища. При цьому встановлено, що повний перехід енергії від усередненого руху до пульсаційного відбувається одночасно по двох каналах – через втрату стабільності та каскадне руйнування великих вихорів, а також шляхом утворення дрібно-масштабних збурень або вихрових слідів унаслідок обтікання твердих частинок несучою рідиною [44]. У цьому контексті наявність твердих частинок у турбулентному потоці призводить до зміни спектра турбулентності відповідного потоку однорідної рідини – зменшення низькочастотних і збільшення високочастотних складових цього спектра.

Важливим результатом теоретичних досліджень стало також вирішення питання про співвідношення ймовірнісних і просторово-часових середніх для неоднорідних (у середньому) квазістаціонарних полів гідродинамічних величин. Справа в тому, що ймовірнісний метод усереднення має переваги над просторово-часовим лише з точки зору теорії, а в експериментальних дослідженнях ніколи не застосовується. Встановлення ж такого співвідношення дозволяє в кожному конкретному випадку визначити ступінь відхилення розглянутих середніх один від одного, що важливо при використанні емпіричних просторово-часових середніх для інтерпретації результатів статистичної теорії.

На основі усереднених за ймовірністю рівнянь гідродинаміки двофазних потоків та експериментальних даних побудовано фізичні схеми та математичні моделі спільного руху рідини або газу й твердих тіл по трубах, а також розроблено узагальнені напівемпіричні методики інженерного розрахунку спеціалізованих видів трубопровідного транспорту (С.І.Кріль, В.П.Берман) [42, 44, 48]. Досліджено нестационарні режими роботи трубопровідних систем і проведено числове моделювання течії газозависів у трубах при високих тисках [45]. Створено уніфіковану базу експериментальних даних гідротранспорту твердих матеріалів, розроблено алгоритми та складено програми числового розрахунку спеціалізованих видів трубопровідного транспорту (В.П.Берман).

Починаючи з 1999 року, у відділі розпочато теоретичні і експериментальні дослідження за рядом принципово нових напрямів у галузі гідро- та газодинаміки багатофазних потоків. Роботи виконувались під керівництвом докт. техн. наук С.І.Кріля та докт. техн. наук В.П.Бермана. Уперше було розглянуто гідродинамічні аспекти проблеми використання існуючих газових магістралей для пневмотранспорту вугілля та інших дисперсних матеріалів у потоці різних газових носіїв. Для розв'язання цих задач було використано системи гідродинамічних рівнянь двофазних потоків (газ плюс тверді частинки) з урахуванням стисливості газової фази та значної протяжності таких трубопроводів – порядку (50 ... 70) км. Окрім того, було виконано спеціальні експериментальні дослідження, які дозволили певною мірою змодельовати рух подібного роду стисливих двофазних середовищ. Як свідчать результати чисельного моделювання, з точки зору аеродинаміки, запропонований принципово новий тип транспорту видається досить перспективним і дозволяє уникнути численних труднощів, які виникають при експлуатації традиційних систем пневмотранспорту. Цей висновок було підтверджено на прикладі розрахунків для широкого кола дисперсних матеріалів і різних газових носіїв – повітря, природного газу, продуктів згоряння та вуглекислого газу.

Ще один з напрямків досліджень відділу стосувався розробки перспективних технологій підйому, переробки та використання конкрецій з дна морів і океанів при освоєнні шельфу. Найбільш реальними способами такого підйому є системи вертикального трубопровідного транспорту різного призначення, а саме, системи ерліфтного та капсульного трубопровідного гідротранспорту. Доцільність і ефективність застосування кожного з цих типів вертикального трубопровідного гідропідйому вимагала проведення додаткових досліджень. При цьому одним з ключових питань було завдання вивчення гідродинаміки зазначених способів транспортування конкрецій. У цьому напрямку проводяться комплексні теоретичні та експериментальні дослідження, присвячені створенню надійних методів гідродинамічного розрахунку систем вертикального гідротранспорту суспензій, капсульного гідротранспорту та систем трифазних ерліфтних потоків.



*Доктор технічних наук
В.П.Берман*

З 2011 року під керівництвом С.І.Кріля розпочався новий етап фундаментальних досліджень, пов'язаних з розробкою теоретичних основ і методів розрахунку характеристик одновимірного руху газорідних сумішей у вертикальних трубах. Їх основним завданням було визначення місцевих гідравлічних опорів і подальший розвиток теорії гідравлічного опору тертя для висхідних газорідних потоків у підймальній трубі ерліфта. Ці роботи продовжуються і після об'єднання відділів ГДП і ГТС. Серед основних досягнень слід відзначити науково обґрунтовану методику гідравлічного розрахунку ерліфта на основі нової енергетичної моделі ерліфтних газорідних течій, яка дозволяє визначити параметри робочого процесу та продуктивність ерліфта [49, 50]. У подальшому

цю методику було поширено на узагальнений усталений одновимірний потік трифазної суміші «вода – тверді частинки – повітряні бульбашки». На основі отриманих результатів побудовано математичну модель робочого процесу ерліфта з трифазною течією [51]. У проведенні цих досліджень брали участь головний інженер-гідротехнік В.В.Фадеїчев, наук. співр., канд. фіз.-мат. наук І.В.Скороход і провідний інженер Л.С.Орлова.

За матеріалами досліджень гідравліки двофазних потоків і стратифікованих течій опубліковано 10 монографій, захищено три докторські дисертації (М.А.Силін, С.І.Кріль, В.П.Берман) та одинадцять кандидатських дисертацій (І.О.Асауленко, Ю.К.Вітошкін, В.І.Войтенко, К.В.Димінський, В.М.Карасик, С.Г.Коберник, В.М.Кондаков, О.Н.Кривенко І.І.Стовбун, І.В.П'ятецький, Л.Г.Бобоев).

Використання результатів досліджень відділу у практиці будівництва

З використанням розробленої методики у відділі виконано розрахунки інтенсивності деформацій русел річок Тиси та Прута, а також багаторічні прогнози [16, 17] перетворення дна русла Дніпра в Києві, зумовлені затримкою стоку наносів у Київському водосховищі та великими русловими кар'єрами, утвореними в результаті багаторічного інтенсивного відбору піску з дна річки для будівельних потреб. Методика та результати розрахунку використовуються проектними та будівельними організаціями Києва для підвищення надійності мостів та інженерних споруд на цій ділянці річки та безпеки житлових масивів міста. Слід зазначити, що відповідно до рішення Виконкому Київської міської Ради народних депутатів у 1983 році було прийнято рішення розглядати та погоджувати проектну документацію з розробки ґрунту в руслі р. Дніпро та його прибережних зонах, а також будівництво інженерних споруд та комунікацій (на ділянці р. Дніпро від Київської ГЕС до селища Вишеньки) лише за наявності погодження з Інститутом гідромеханіки НАН України та Головним архітектурно-планувальним управлінням «ГлавАПу» Міськвиконкому.

У результаті виконаних досліджень розроблено методику розрахунку деформацій русел малих річок з метою їх відновлення та оздоровлення. Цю методику було використано Укрводпроектом при складанні кадастру малих річок України. Також було впроваджено методику розрахунку гідравлічних параметрів потоку та стійкості дамб обвалування й дна русла на десятикілометровій довжині річки Прип'ять у зоні Чорнобильської атомної електростанції з метою запобігання виносу радіонуклідів із заплавної області десятикілометрової зони відчуження в межах України. Розроблені у відділі конструкції пригреблевих і безгреблевих водозабірних споруд, побудовані на річках Дунай, Десна, Бистриця, Прут тощо, дозволили отримати значний соціальний та економічний ефект.

З використанням результатів виконаних у відділі досліджень, розроблених методів розрахунку, даних дослідно-виробничої перевірки з урахуванням способів укладання, конструкції дренажних труб і кріплень укосів, гранулометричного складу та водонасиченості дренованих ґрунтів, гідрохімічного складу ґрунтових вод, техніко-економічних

показників та накопиченого досвіду експлуатації облаштованого ними дренажу запропоновано конструкції глибокого та мілкого трубчастого дренажу для зони зрошення та осушення, конструкції дренажу для низових укосів гребель, для дренажу та захисту від підтоплення територій населених пунктів та промислових майданчиків, конструкції волокнистих фільтрів під кріпленням укосів гребель та захисних дамб, за підпірними стінками та другими спорудами. Зазначені конструкції волокнистих фільтрів та дренажу наведено у [1, 2, 7] та захищено 14 авторськими свідоцтвами. Також розроблено способи та технологію укладання дренажу з волокнистими фільтрами [1, 7], запропоновано установку для навівки фільтрів і надано рекомендації щодо витрати фільтрового матеріалу для розроблених конструкцій фільтрів та дренажу.

У 1967–1975 рр. на 12 дослідних і виробничих ділянках дренажу, розташованих на Червонопрапорному, Інгулецькому, Татарбунарському зрошуваних масивах, у зоні каналів Дніпро – Кривий Ріг та Північнокримського, у Київській, Чернігівській, Житомирській та інших областях, а також на ряді гребель у Донецькій області проведено дослідження щодо перевірки роботи дренажу з волокнистими фільтрами. Вони показали, що фільтраційні характеристики, об'ємна вага, пористість, міцність, хімічний склад і внутрішня структура волокон після 2–8 років експлуатації в різних ґрунтах та гідрохімічних умовах, характерних для зони зрошення та осушення України, практично не відрізняються від вихідних величин [25, 26]. Розроблені у відділі конструкції дренажу з волокнистими фільтрами, методики їх дослідження та методи розрахунку широко використовуються не лише в Україні, а й за кордоном. Дрени з новими фільтрами на всіх дослідних і виробничих об'єктах забезпечують необхідне водозниження, фільтри досить водопроникні, не колюматуються і надійно захищають дрени від замулення, а укоси – від винесення з них ґрунту фільтраційним та поверхневим потоком.

Досвід впровадження волокнистих фільтрів у трубчастих дренажах і під кріпленням укосів земляних гребель, захисних дамб і в інших гідротехнічних спорудах замість піщано-гравійних показав, що в цьому випадку витрата фільтрового матеріалу зменшується в кілька разів за обсягом і в десятки чи сотні разів за вагою. При цьому удвічі підвищується продуктивність праці, скорочуються терміни будівництва дренажних споруд, вивільняється велика кількість транспортних засобів з доставки фільтрових матеріалів на об'єкти будівництва, створюються умови для повної механізації монтажу та укладання нових фільтрів та обладнаного ними дренажу. Все це



Укладання дренажу з волокнистими фільтрами

Укладання дренажу з волокнистими фільтрами

дозволяє зменшити вартість будівництва дренажу на (20 ... 30)%, а в деяких випадках – на 50%.

Установку з виробництва полімерних трубофільтрів [9] запроваджено у 1982 році на одному з комбінатів у Київській області. Випущені на початок 1987 року 350 км полімерних трубофільтрів укладено на зрошуваних землях півдня України площею 5000 га. На тому ж комбінаті освоєно випуск нетканого голкопробивного матеріалу в кількості 80 тис. м² на рік. Будівельними організаціями Мінводгоспу України полотно неткане клеєне технічного призначення широко використовується для захисту дренажу від замулювання на зрошувальних та осушувальних системах. На початок 1987 року Мінводгосп УРСР використав понад 15 млн. м² цього матеріалу.



Захист укосів озера Позняки в м. Києві гнучкими кріпленнями з використанням нетканих геотекстильних матеріалів

Економічна ефективність застосування золошлакових відходів замість піщано-гравійних ґрунтів склала близько 50 грн. на 1 м³ обсіпки. У процесі впровадження золошлакових відходів ТЕС у меліоративне будівництво було обстежено золошлаковідвали всіх ТЕС та деяких ТЕЦ України. Розроблено рекомендації будівельним та проектним організаціям щодо застосування цих відходів.

Конструктивні рішення щодо захисту укосів гідротехнічних споруд гнучкими кріпленнями з використанням нетканих геотекстильних матеріалів було впроваджено при захисті берегів річок Псьол, Ворскла та озер у м. Києві.

Починаючи з 2000 року, для понад 25 об'єктів забудови у м. Києві було виконано роботи з моделювання та прогнозу зміни гідрогеологічних умов після їх спорудження та обґрунтування заходів щодо зменшення негативних наслідків від забудови. Серед них є такі значущі для Києва споруди як Андріївська церква, I та II черги ТРЦ Ocean Plaza, ТРЦ Respublika Park, великі соціально-громадські, офісні та житлові комплекси.

Практичним результатом досліджень, виконаних в відділі ГДП, а згодом у відділі стратифікованих течій, стали нормативні документи для гідравлічного розрахунку

Розроблені конструкції дренажу з фільтрами з напиленого поліетилену, а також полімерні трубофільтри були впроваджені в зоні зрошення та надлишкового зволоження України та працюють надійно та ефективно [9]. Окрім того, полімерні трубофільтри з фільтром з напиленого поліетилену застосовувалися при будівництві промислового дренажу для захисту території м. Харкова від підтоплення.



Архітектурні пам'ятники й новобудови Києва, для яких виконувались роботи з моделювання та прогнозу гідрогеологічних умов

ку трубопроводів для промислових гідротранспортних систем та ефективна технологія гідротранспорту відходів збагачення зі згущенням пульпи, яка дозволяє суттєво підвищити техніко-економічні показники гідротранспортних систем на великих гірничо-збагачувальних комбінатах (ГЗК) чорної та кольорової металургії [19–22]. Окрім того, було розроблено вимірювальні прилади для визначення консистенції та витрат пульпи, які знайшли широке застосування на об'єктах ГЗК (К.В.Димінський, І.І.Стовбун).

При проведенні експериментальних досліджень структури швидкостей і дотичних напружень турбулентних суспензійних течій був розроблений простий і ефективний спосіб експериментального вивчення турбулентних характеристик, заснований на електро-дифузійному методі вимірювання. Для проведення досліджень у лабораторії інституту був створений універсальний стенд, який дозволяв вивчати кінематичну структуру як пульпи, так і потоків, що містять поодинокі великі тіла (капсули) та капсульні поїзди.

Публікації та винахідницька діяльність

У відділі успішно розвивається винахідницька діяльність – його співробітниками отримано 30 авторських свідоцтв і 12 патентів на розробки. Більшість із них впроваджено в народне господарство зі значним економічним та соціальним ефектом. Співробітниками відділу отримано золоту медаль ВДНГ УРСР, шість бронзових медалей ВДНГ СРСР, диплом пошани та медаль ВДНГ УРСР, диплом III ступеня та медаль ВДНГ УРСР.

Співробітниками відділу опубліковано 17 монографій, велику кількість статей у різних виданнях, підготовлено та видано 15 нормативних документів різного рівня для проектних та будівельних організацій міністерств та відомств.

Бібліографія

- [1] Пивовар Н. Г., Бугай Н. Г., Рычко В. А. *Дренаж с волокнистыми фильтрами*. Київ : Наукова думка, 1980. 214 с.
- [2] Устройство обратных фильтров гидросооружений из минерально-волокнистых материалов / Пивовар Н. Г., Осадчук В. А., Канарский В. Ф. и Бугай Н. Г. *Гидротехническое строительство*. 1971. № 12. С. 17–20.
- [3] Фильтрующие обсыпки дренажа из золошлаковых отходов ГРЭС / Пивовар Н. Г., Бугай Н. Г., Кривоног В. В., Хлапук А. Н. и др. *Гидротехника и мелиорация*. 1987. № 1. С. 41–44.
- [4] Ткач В. В. Результаты исследований фильтрационных свойств и деформаций в комбинированных защитно-фильтрующих материалах. *Теория и расчеты фильтрации*. Киев : Наукова думка, 1980. С. 164–169.
- [5] ВСН-П-8-74. *Дренаж на орошаемых землях*. Москва, 1975. 276 с.
- [6] ВСН-33.22. *Дренаж на орошаемых землях*. Москва, 1986. 276 с.
- [7] ОСТ 33 10-73. *Фильтры дренажные из искусственных минеральных волокнистых материалов: технические требования*. Москва, 1973. 276 с.
- [8] Фридрихсон В. Л. Исследование новых конструкций фильтров и трубчатого дренажа из полимерных материалов. *Гидромеханика*. 1982. по. 46. Р. 99–104.
- [9] *Дренаж с волокнистыми фильтрами для защиты территорий от подтопления* / Пивовар Н. Г., Бугай Н. Г., Фридрихсон В. Л. и др. и. Киев : Институт гидромеханики НАН Украины, 2000. 332 с.
- [10] Кривоног А. И. Поровая структура волокнисто-пористых полиэтиленовых фильтров. *Мелиорация и водное хозяйство*. 1989. № 71. С. 91–93.
- [11] Хлапук А. Н. Применение золошлаковых отходов ГРЭС при строительстве дренажа. *Мелиорация и водное хозяйство*. 1987. № 69. С. 56–59.
- [12] Беляшевский Н. Н., Пивовар Н. Г., Калантыренко И. И. *Расчет нижнего бьефа за водосбросными сооружениями на нескальном основании*. Киев : Наукова думка, 1980. 286 с.
- [13] Біляшевський М. М., Пивовар М. Г., Олійник О. Я. *Розрахунок спряження б'єфів і кріпленнь дна за водозливними греблями*. Київ : Видавництво АН УРСР, 1961. 166 с.
- [14] Беляшевский Н. Н. *Улучшенные типы водосливных плотин из каменной наброски*. Киев : Издательство АН УССР, 1953. 132 с.

- [15] Беляшевский Н. Н. *Опыт строительства и эксплуатации улучшенных типов водосливных плотин из каменной наброски*. Киев : Издательство АН УССР, 1957. 131 с.
- [16] Базилевич В. А., Бухт М. Н. *Методические рекомендации по расчету деформации русел и выбору защитно-регуляционных мероприятий на реках Украинских Карпат*. Киев : Киевская книжная типография научной книги, 1989. 166 с.
- [17] Базилевич В. А. Изменение состава донных влекомых наносов в процессе деформации речного русла. *Водные ресурсы*. 1979. № 6. С. 105–117.
- [18] Розовский И. Л., Еременко Е. В., Базилевич В. А. *Неустановившееся движение водного потока ниже гидроэлектростанций и его влияние на русло*. Киев : Наукова думка, 1967. 276 с.
- [19] Розовский И. Л. *Движение воды на повороте открытого русла*. Киев : Издательство АН УССР, 1967. 188 с.
- [20] Базилевич В. А., Ткаченко В. А. Методика раздельного моделирования в руслах и на пойме. *Гидромеханика*. 1982. № 46. С. 94–99.
- [21] Гайдученко В. И., Базилевич В. А., Розовский И. Л. Влияние попуска ГЭС на режим обратного течения в расположенном ниже бокового притока. *Гидравлика и гидротехника*. 1974. № 19. С. 13–20.
- [22] Сахно Ю. П., Дейнека В. И. Экспериментальные исследования крупного бесплотинного водозабора из равнинной реки. *Гидромеханика*. 1984. № 49. С. 63–66.
- [23] Базилевич В. А. Расчет деформаций дна и берегов гравийно-галечниковых русел. *Гидротехническое строительство*. 1976. № 11. С. 31–34.
- [24] Базилевич В. А. Экспериментальные исследования расходов влекомых наносов. *Водные ресурсы*. 1984. по. 1. Р. 10–19.
- [25] Пивовар Н. Г. Результаты исследований фильтрационных свойств и деформаций в комбинированных защитно-фильтрующих материалах. *Прикладная гидромеханика*. Киев : Наукова думка, 1989. С. 123–143.
- [26] Базилевич В. А., Козицкий В. В. Методика расчета пространственных деформаций дна в руслах равнинных рек. *Гидрофизические процессы в реках и водохранилищах*. Москва : Наука, 1985. С. 115–121.
- [27] Никитин И. К. *Турбулентный русловой поток и процессы в придонной области*. Киев : Издательство АН УССР, 1963. 141 с.
- [28] Шабрин А. Н., Пархисенко В. М. О стационарном соленом клине и некоторых способах борьбы с ним. *Гидравлика и гидротехника*. 1983. № 37. С. 71–77.

- [29] Шабрин А. Н. О моделировании водообмена разноплотностных жидкостей через шлюз. *Гидромеханика*. 1977. № 35. С. 68–72.
- [30] Шабрин А. Н. Исследование водообмена разноплотностных жидкостей через шлюз при различных условиях на границах шлюз-море и шлюз-водоем. *Гидромеханика*. 1979. № 40. С. 106–111.
- [31] Билеуш А. И. *Оползни и противооползневые мероприятия*. Киев : Институт гидромеханики НАН Украины, 2009. 557 с.
- [32] Билеуш А. И., Фридрихсон В. Л., Кривоног А. И. Исследование прочностных характеристик грунтов на приборе кручения. *Будівельні конструкції*. 2011. № 75(1). С. 84–91.
- [33] Билеуш А. И., Фридрихсон В. Л., Кривоног А. И. Исследование закономерностей изменения прочности грунтов и их разрушения на приборе кручения. *Наука та будівництво*. 2015. № 2. С. 36–40.
- [34] Дослідження роботи конструкції «грунт-геотекстиль» в якості фундаментної подушки для посилення міцності слабких ґрунтів / Білеуш А. І., Фрідріхсон В. Л., Кривоног О. І. і Кривоног В. В. *Гідродинаміка і акустика*. 2018. Т. 1(91), № 3. С. 249–267.
- [35] Силин Н. А., Коберник С. Г. *Режимы работы крупных землесосных снарядов и трубопроводов*. Киев : Издательство АН УССР, 1962. 215 с.
- [36] Силин Н. А., Витошкин Ю. К. *Гидротранспорт угля по трубам*. Киев : Наукова думка, 1964. 88 с.
- [37] Карасик В. М., Асауленко И. А. *Напорный гидротранспорт песчаных материалов*. Киев : Наукова думка, 1965. 107 с.
- [38] Коберник С. Г., Войтенко В. И. *Напорный гидротранспорт хвостов горно-обогатительных комбинатов*. Киев : Наукова думка, 1967. 140 с.
- [39] *Гидротранспорт* / Силин Н. А., Витошкин Ю. К., Карасик В. М. и Очеретько В. Ф. Киев : Наукова думка, 1971. 157 с.
- [40] Криль С. И. Уравнения гидродинамики для двухфазных смесей. *Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева*. 1969. Т. 91. С. 72–83.
- [41] Карасик В. М., Асауленко И. А., Витошкин Ю. К. *Интенсификация гидротранспорта продуктов и отходов обогащения горно-обогатительных комбинатов*. Киев : Наукова думка, 1976. 155 с.
- [42] *Теория и прикладные аспекты гидротранспортирования твердых материалов* / Асауленко И. А., Карасик В. М., Криль С. И. и Берман В. П. Киев : Наукова думка, 1981. 364 с.

- [43] Олейник А. Я., Криль С. И. О влиянии мельчайших частиц на основные параметры гидравлического трубопроводного транспорта твердых материалов. *Доклады АН УССР. Серия А*. 1982. № 5. С. 38–41.
- [44] Криль С. И. *Напорные взвесенесущие потоки*. Киев : Наукова думка, 1990. 160 с.
- [45] Криль С. И., Берман В. П. Численное моделирование течения газозвесей в трубах при высоких давлениях. *Гидромеханика*. 1996. № 70. С. 53–60.
- [46] Криль С. И. Об уравнениях теплопроводности для двухфазных гетерогенных сред. *Гидромеханика*. 1997. № 71. С. 57–62.
- [47] Криль С. И., Берман В. П. Уравнения турбулентного течения газозвесей. *Прикладна гідромеханіка*. 1999. Т. 1(73), № 1. С. 26–34.
- [48] Kril S., Berman V., Vlasak P. On hydrotransport of coal conveyed in oil products and hydrocarbons. *International Conference on Problems in Fluid Mechanics and Hydrology*. Prague, Czech Republic. 1999. P. 16–21.
- [49] К вопросу об определении расходной характеристики эрлифта на основе гидравлических уравнений газожидкостного потока в вертикальной труб / Криль С. И., Скороход И. В., Фадеичев В. В. и Орлова Л. С. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2016. № 25. С. 131–136.
- [50] Кріль С. І., Скороход І. В., Фадеічев В. В. Енергетична модель ерліфта. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2017. № 28. С. 196–204.
- [51] Визначення дійсних концентрацій і швидкостей фаз в ерліфтних трьохфазних течіях / Кріль С. І., Скороход І. В., Фадеічев В. В. і Орлова Л. С. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2023. № 45. С. 44–51.

ВІДДІЛ ГІДРОДИНАМІКИ ХВИЛЬОВИХ ТА РУСЛОВИХ ПОТОКІВ

Відділ гідродинаміки хвильових та руслових потоків створено в 2020 році на базі трьох найстаріших відділів Інституту гідромеханіки НАН України, а саме, відділу гідродинаміки хвильових процесів (організований у 1975 році), яким керував заслужений діяч науки і техніки України, докт. фіз.-мат. наук, проф. І.Т.Селезов, відділу динаміки пружних систем у рідинному середовищі (організований у 1963 році докт. техн. наук Л.І.Дятловицьким) та відділу технічної гідромеханіки (організований у 1965 році), яким керував член-кореспондент НАН України, проф., докт. фіз.-мат. наук В.І.Нікішов. У свій час керівниками цих відділів були академік Г.Є.Павленко, члени-кореспонденти Б.А.Пишкін та О.Я.Олійник, докт. фіз.-мат. наук, професор М.В.Салтанов. Нині відділ очолює докт. техн. наук В.А.Воскобійник. У відділі працює 24 наукових співробітники, серед яких три доктори та десять кандидатів наук.

Володимир Анатолійович Воскобійник народився в 1953 році. З 1977



року, після закінчення фізико-технічного факультету Харківського політехнічного інституту, працює в Інституті гідромеханіки НАН України, де пройшов шлях від інженера до завідувача відділу. В 1993 році захистив дисертацію на здобуття ступеня кандидата технічних наук, а в 2013 році – дисертацію на здобуття ступеня доктора технічних наук. Має унікальний досвід проведення модельних і натурних експериментальних досліджень у галузях гідродинаміки, гідротехніки та гідроакустики. Автор понад 400 наукових статей і матеріалів конференцій.

Основні напрямки діяльності відділу

У відділі проводяться фундаментальні дослідження щодо поширення, дифракції та взаємодії поверхневих гравітаційних хвиль, струменевих і вихрових течій з гідротехнічними, берегозахисними спорудами та перетворювачами відновлюваної хвильової енергії з вирішенням прикладних проблем у межах низки наукових напрямків:

- поширення, дифракція та рефракція лінійних і нелінійних поверхневих гравітаційних хвиль;
- гідропружні коливання та хвилі;
- гідродинаміка і морфодинаміка руслових течій;
- взаємодія складних систем з потоками та хвилями;
- вихрові структури в рідині;
- хвильове навантаження на конструкції берегової та руслової гідротехніки;
- вплив турбулентності течії на гідроакустичні системи;
- дослідження ефективності гібридних проникних берегозахисних споруд з перетворювачами відновлюваної хвильової енергії;
- хвильова біогідродинаміка кровоносної системи та гідроакустична діагностика роботи серцево-судинної системи;
- гідродинаміка судна;
- дослідження динаміки вихрових течій та розвиток алгоритмів керування пристінними потоками.

Основні наукові результати відділу пов'язані з розвитком, обґрунтуванням і узагальненням фізико-математичних моделей, що описують процеси генерації та поширення лінійних і нелінійних хвиль у суцільних середовищах ускладненої неоднорідної структури. До цього напрямку також належать прикладні задачі, такі як фізичне моделювання хвильових полів, трансформація та взаємодія хвиль з гідротехнічними спорудами та елементами берегових конструкцій. На основі розроблених моделей досліджено класи задач гідродинаміки хвиль і проведено аналіз структури та характерних особливостей хвильових полів залежно від фізичних і геометричних властивостей систем, а також впливу дисперсійних і нелінійних ефектів на структуру хвиль і течій.

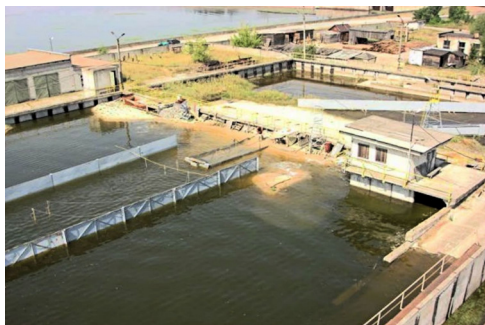
Відділ забезпечено сучасними методами та засобами проведення чисельного моделювання та експериментальних досліджень. Відділ має один з найбільших в Європі хвильовий басейн довжиною 78 м, шириною 43 м і глибиною 2 м на дослідному полігоні на березі Дніпра у селищі Кийлів Бориспільського району Київської області. Окрім того,

на полігоні є малозумний гідродинамічний канал довжиною близько 4,5 км, шириною до 30 м і глибиною до 5 м, в якому відсутнє судноплавство. У цьому каналі проводилися дослідження з модельними і натурними гідроакустичними комплексами.

У відділі є гідравлічна лабораторія з хвильовим лотком довжиною 40 м, шириною і



Відділ гідродинаміки хвильових та руслових потоків (зліва направо): перший ряд – Б.М.Островерх, Л.С.Потапенко, І.М.Горбань, Л.П.Абрамова, О.В.Полосухіна; другий ряд – В.В.Яковлев, В.О.Ткаченко, Ж.К.Махаммедо, Г.П.Соколовський; третій ряд – Т.Б.Гончаренко, В.В.Бондар, С.В.Масюк, В.А.Воскобійник, І.А.Хижа, О.А.Воскобойник



Дослідний полігон Інституту гідромеханіки НАН України на березі Дніпра (ліворуч) і хвильовий басейн (праворуч)

глибиною по 1,05 м, вузьким гідравлічним лотком довжиною 16 м, шириною 0,3 м і глибиною 0,7 м і лабораторним лотком довжиною 6,3 м, шириною і глибиною близько 0,2 м. Також у гідравлічній лабораторії є гідродинамічний канал довжиною 16 м, шириною 1 м і глибиною 0,9 м, у якому швидкість течії змінюється від 0,03 м/с до 0,5 м/с. Усі лотки й канал виконані з прозорими скляними стінками для проведення якісних візуальних спостережень. Окрім того, для проведення досліджень із розмивним дном для вивчення особливостей розмивів берегів і мостових або гідротехнічних опор створено гідродинамічний лоток довжиною 14 м, шириною 1,5 м і глибиною до 0,5 м, в якому швидкість течії змінюється від 0,05 м/с до 0,6 м/с. Для проведення гідродинамічних досліджень на криволінійних поверхнях і формування циркуляційних і кільцевих течій та їх взаємодії з донною поверхнею й бічними стінками в лабораторії зроблено два стенди у вигляді обертових басейнів, які мають діаметр 1,36 м і висоту 0,6 м та діаметр 0,64 м і висоту 0,32 м відповідно. Дослідний полігон і гідравлічна лабораторія обладнані контрольно-вимірювальною та комп'ютерною апаратурою, засобами візуалізації, обробки та аналізу експериментальних даних, координатними пристроями й допоміжним обладнанням для проведення науково-дослідних робіт.

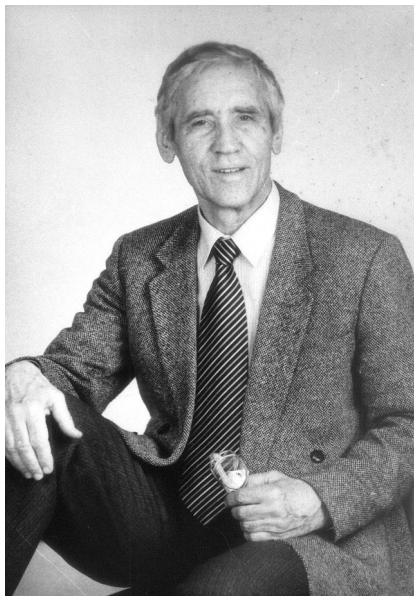
Поширення, рефракція та дифракція лінійних і нелінійних поверхневих і внутрішніх хвиль

І.Т.Селезовим, В.М.Сидорчуком та В.В.Яковлевим побудовано математичні моделі та досліджено дифракцію стаціонарних і нестаціонарних поверхневих гравітаційних хвиль на неоднорідностях рельєфу дна та перешкодах. У разі радіально-неоднорідних перешкод задача зводиться до розв'язання диференціальних рівнянь з змінними коефіцієнтами при відповідних умовах зв'язку на межі розподілу. Для задач про проходження і дифракцію хвиль над довільними осесиметричними неоднорідностями, над підводним валом або каналом довільного поперечного перерізу, для задач дифракції хвиль на складених вертикальних циліндрах з кільцевими ділянками змінної глибини тощо побудовано аналітичні розв'язки у вигляді збіжних подвійних рядів, один з яких – узагальнений степеневий ряд.

Для багатозв'язних областей у точній постановці В.О.Бідаєвим, І.Т.Селезовим, В.В.Яковлевим побудовані розв'язки задачі дифракції поверхневих гравітаційних хвиль на системі випадково розташованих вертикальних циліндрів у рідині сталої глибини. На основі методу розділення змінних і теореми додавання циліндричних функцій задачу зведено до нескінченних систем лінійних алгебраїчних рівнянь, які після регуляризації розв'язуються методом редукції та послідовних наближень. Показано, що багатозв'язність може призвести до суттєвого переформування хвильових полів і породжувати локальні резонанси та фокусування хвильового поля. З досліджень інтегральних характеристик – сил і моментів, що діють на циліндри, – встановлені їхні екстремально властивості в залежності від зміни хвильового числа й показано можливість максимальних навантажень на нефронтально розташованих циліндрах.

І.Т.Селезовим, Ю.Г.Кривоносом, В.В.Яковлевим розвинуто ефективний чисельно-

аналітичний метод введення допоміжної області для розв'язання задач дифракції поверхневих гравітаційних, акустичних або електромагнітних хвиль у точній постановці на осесиметричних або центросиметричних неоднорідностях. У зовнішній області записано точний аналітичний розв'язок, а в неоднорідній задачі вирішується за допомогою методу степеневих рядів.



*Докт. фіз.-мат. наук, проф.
І.Т.Селезов зробив вагомий внесок
у дослідження динаміки
хвильових рухів*

І.Т.Селезовим, та Ю.І.Ногою дано постановки та отримано розв'язки нових класів задач оптимального керування поверхневими гравітаційними хвилями. Розглянуто три класи задач оптимального гасіння хвиль у деякій обмеженій однозв'язній області з кусочно-гладкою межею за допомогою: а) розподіленої системи джерел-стоків на дні; б) змінного рельєфу дна; в) плаваючої пружної вигинно-деформованої пластини змінної товщини. Задачі ставляться так, що би при проходженні хвиль над вказаною областю знайти оптимальний розподіл джерел-стоків, неоднорідності донної поверхні, або зміни товщини плаваючої пластини так, щоб забезпечити максимальне гасіння хвиль на виході з області керування. Розгляд проведено на основі принципу максимуму Понтрягіна з залученням варіаційного формулювання, теорії оптимального керування системами з зосередженими та розподіленими параметрами та чисельних методів. Для кожного класу задач розглядалися як плоскі, так і двовимірні в плані задачі, для яких будували-

ся розв'язки задачі дифракції хвиль чисельно-аналітичним методом допоміжної межі. І.Т.Селезовим, Р.І.Волинським отримано необхідні та достатні умови оптимальної форми, встановлено умови розв'язності задач, побудовані розв'язки в класі релієвських функцій та проведено їх аналіз.

На основі променевого методу І.Т.Селезовим і П.В.Ткаличем побудовано нові моделі рефракції поверхневих гравітаційних хвиль для випадкової топографії дна, які суттєво узагальнюють відомі моделі – враховуються ефекти рухливості донної поверхні, нелінійно-дисперсійні та частково дифракційні ефекти. Це дозволило дослідити нові характерні ефекти нестационарної рефракції, а також явище аномальної рефракції, коли промінь відхиляється в бік від нормалі до берегової лінії.

На основі аналізу точної постановки задачі гідродинаміки хвиль за наявності малих або великих параметрів методом асимптотичних розкладів обґрунтовано викривлення масштабів при фізичному моделюванні. Це суттєво розширює можливості моделювання хвильових рухів рідини в акваторіях, коли зазвичай точне моделювання за числом Фруда не дає змоги задовільно врахувати інші критерії, що може призводити до некоректності

моделювання. Наприклад, як показали дослідження І.Т.Селезова, В.В.Шамка, Л.В. Морозової, на малих глибинах можуть проявлятися ефекти в'язкості, капілярності тощо.

І.Т.Селезовим, Р.І.Волинським, В.В.Яковлевим розвинуто теорію побудови гідравлічних моделей як математичних апроксимацій вихідних моделей гідромеханіки. На її основі розроблено теорію асимптотичного масштабування, яка дозволяє обґрунтовано змінювати масштаби фізичних моделей. Побудовано нові моделі еволюції наносів, обумовлених хвилями, та низку нових хвильових моделей прибережної та морської гідравліки.

В.В.Хомицьким, А.Г.Марченком, А.Г.Харченком, В.О.Ткаченком, Л.М.Терещенко проводилися теоретичні та експериментальні дослідження динаміки наносів у прибережній зоні шельфу під дією хвиль і вздовжбереговими течіями. Розроблено модель чисельного хвильового лотка, яка дозволяє моделювати еволюцію донної поверхні під дією дуже великої кількості хвильових приходів, що значно розширює можливості моделювання у порівнянні з фізичним моделюванням, обмеженим кількістю хвильових приходів у межах розумного часового інтервалу.

Розвинуто спрощену лагранжеву модель руху частинки у хвильовому потоці. Наведено результати моделювання на основі цієї моделі траєкторії легкої частинки в хвильовому полі. Тут характерним наслідком ефектів нелінійності є наявність незамкнених траєкторій, що в результаті призводить до переміщення наносів. У хвильовому лотку були проведені експериментальні дослідження руху частинки в гліцерині, які показали якісну відповідність теоретичним результатам.

І.Т.Селезовим, М.Й.Железняком побудовано нову узагальнену нелінійно-дисперсійну модель поширення поверхневих гравітаційних хвиль, у якій знято обмеження на малість амплітуд і враховується слабка дисперсія хвиль, тобто параметр нелінійності більший за параметр дисперсії, на відміну від більшості моделей, які передбачають баланс нелінійних і дисперсійних ефектів. На відміну від еліптичних рівнянь, які описують «застиглий» світ, і параболічних, які описують поширення збурень з нескінченною швидкістю, побудовано квазівироджену гіперболічну модель, яка описує еволюцію хвилі зі скінченною швидкістю аж до її руйнування. Побудована модель дозволяє досліджувати хвильові процеси, в яких домінують нелінійні ефекти – накат хвилі на берег, на вертикальну стінку, а також зіткнення солітонів. На цій основі досліджено нові ефекти, такі як поява хвостів при зіткненні солітонів, розмивання дна біля вертикальної стінки, трансформація хвилі при накаті на берег.

Розвинуто спрощені математичні моделі, які описують динамічні процеси в прибережній зоні. Для них створено комп'ютерні програми, які моделюють рефракцію хвилі на основі променевого методу і транспорт наносів на базі параболічного рівняння балансу наносів і замикальних емпіричних співвідношень. З використанням рівнянь мілкої води розроблено дискретні математичні моделі для розрахунків ширини охоронної зони – мінімально допустимої відстані від берега кар'єру для видобутку піску чи корисних копалин Ю вибраної так, щоб не викликати негативного впливу на динаміку прибережної зони.

Розроблено модель, яка описує вплив нелінійних поширюваних хвиль на транспорт

солоності та на переформування донної поверхні. Методом комп'ютерного моделювання відповідної початково-крайової задачі досліджено проникнення солоної води з моря у водойму з прісною водою. Отримані результати впроваджувалися в практику в акваторіях Чорного та Азовського морів.

Побудовано нові моделі, що описують поширення і трансформацію внутрішніх хвиль у середовищах з неоднорідною структурою, зокрема, в багат шарових рідинах, стратифікованих за глибиною. Досліджено клас нелінійних задач поширення хвильових пакетів уздовж поверхні розділу двох рідин. Виявлено нові області нестійкості під час поширення внутрішніх нелінійних хвиль та досліджено зміну форми вільної поверхні залежно від фізичних і геометричних параметрів.

В.В.Яковлевим побудовано моделі трансформації хвилі в рідині скінченної глибини з урахуванням і без урахування горизонтально-неоднорідної течії, які узагальнюють рефракційно-дифракційну модель Беркгофа на випадок скінчених ухилів дна. На основі цих моделей досліджено фізичні закономірності хвильових полів поблизу перешкод складної форми або системами таких перешкод та їхню взаємодію з цими перешкодами.

В.В.Яковлевим, В.О.Ткаченко, Т.Б.Гончаренко та В.В.Бондар розраховано хвильові навантаження від лінійних і нелінійних хвиль на кригостійки бурові платформи довільної форми та ферменні конструкції, визначено максимальний сплеск хвилі на опорні колони, розраховано поле придонних хвильових швидкостей, оцінено величину розмиву ґрунту навколо платформ.

В.В.Хомицьким, А.Г.Марченком, А.Г.Харченком, Є.Г.Горбатенком розроблено методику розрахунку вздовжберегового транспорту наносів і переформування дна у прибережній зоні під впливом поверхневих гравітаційних хвиль. Згідно з нею визначається рефракція хвилі при довільній топографії дна, а далі – поле швидкостей вздовжберегових течій і зумовлений ними вздовжбереговий транспорт наносів. На основі рівняння балансу наносів визначається зміна глибини на досліджуваній ділянці берега за певний час і формується нова батиметрія дна. Для нової батиметрії дна за рефракційною моделлю розраховуються нові характеристики трансформованих хвиль, визначається поле швидкостей, витрата наносів і деформація дна. Цей процес триває доти, доки не настане стан рівноваги й переформування дна не припиниться.

В.В.Яковлевим, В.О.Ткаченко, на основі розв'язання задачі трансформації хвилі на підводній неоднорідності рельєфу дна з прямолінійними межами розроблено й апробовано модель замулення підхідних каналів до портів.

В.В.Хомицьким, А.Г.Марченком, А.Г.Харченком, І.А. Нікітіним проведено лабораторні дослідження трансформації поверхневих гравітаційних хвиль, що поширюються над горизонтальним пологим дном і дном складного профілю у прибережній зоні шельфу; взаємодії хвилі з гідротехнічними й берегозахисними спорудами; впливу нелінійних ефектів на кінематику хвиль. Розроблено та науково обґрунтовано інженерні методи розрахунку штучних піщаних і галькових пляжів, просторового переформування берегів, систем наносоутримувальних бунів, банкетів з гірської маси тощо.

В.В.Хомицьким, В.А.Воскобійником, О.А.Воскобойником, А.В.Воскобійником, І.А.Хижею, Л.П.Абрамовою виконувались роботи з захисту узбережжя Чорного та

Азовського морів і водосховищ Дніпровського каскаду, а також натурні дослідження абразії прибережної зони Кримського узбережжя. Проводилося порівняння результатів теоретичних, лабораторних і натурних досліджень щодо трансформації хвиль у прибережній зоні, їх взаємодії з розмивним дном і переміщенням наносів. Запропоновано конструкції берегозахисних споруд стаціонарного типу та мобільні споруди м'якого типу, які відзначаються низькою собівартістю. Результати досліджень упроваджено в акваторіях Чорного й Азовського морів для захисту берегів від розмиву хвилями, взаємодії хвиль з елементами конструкцій і гідротехнічних споруд у зоні шельфу, видобутку піску в шельфі Чорного й Азовського морів.

Гідропружні коливання і хвилі

І.Т.Селезовим, Л.В.Морозовою досліджено взаємодію гідродинамічних та акустичних хвиль з неоднорідностями, пружними системами, пластинами та оболонками. Знайдено структури пружних панелей та оболонок з мінімальною звукопрозорістю. І.Т.Селезовим, В.О.Ткаченком та В.В.Яковлевим отримано нові класи точних аналітичних розв'язків у замкнутій формі задач дифракції акустичних хвиль на радіально симетричних і несиметричних циліндричних і сферичних розсіювачах.

Розвинуто чисельні методи та алгоритми розв'язання стаціонарних задач дифракції плоских акустичних хвиль на довільних тілах обертання й неоднорідностях. Метод засновано на застосуванні формули Кірхгофа, що дозволяє знизити розмірність задачі. Взаємодія хвиль з жорсткими та пружними тілами досліджувалася в рамках теорії наближення функцій на основі методів скінченних елементів та сплайн-функцій. Такий підхід дозволив суттєво розширити допустимий клас форм тіл. Проведено розрахунки хвильових полів, дифрагованих на тілі типу витягнутий циліндр, закінчений півсферами.

Для зниження шумів та вібрацій у кабінах літальних апаратів розвинуто математичну модель аероакустичних процесів у системі гвинт–фюзеляж, а також принципи моделювання складних джерел звуку та звукопрозорості конструкцій складної форми. У результаті математичного моделювання запропоновано методику розрахунку шуму в кабіні та фюзеляжі літальних апаратів, а також досліджено закономірності акустичних процесів у системах такого типу. Для зменшення звукопрозорості панелей літаків було теоретично знайдено оптимальне розташування стрингерів у панелі під певним кутом, що забезпечує мінімальну звукопрозорість. При цьому звукоізолююча здатність панелі при низьких частотах підвищується на (5 ... 6) дБ.

Проводились дослідження щодо зменшення опору для літаків модельного ряду «Ан» за рахунок накладання вібраційних та акустичних полів у примежовому шарі. На основі кусково-постійної моделі примежового шару досліджено збурену течію в'язкої стисливої рідини, обумовлену взаємодією основної стаціонарної течії з певним збуреним полем. У такій чисельно-аналітичній моделі встановлено верхню межу числа Пекле, визначену ефектами в'язкості. Досліджено обтікання осцилюючої та жорсткої стінок при накладенні акустичного поля типу біжучої хвилі. І.Т.Селезовим показано принципову можливість зниження коефіцієнта тертя до 20%.

І.Т.Селезовим та І.Є.Корніловим розвинуто числову модель нестационарної динаміки розкриття парашута, функціонування якої принципово пов'язане з наявністю тиску, який розтягує купол. Розглянута задача – суттєво нелінійна, оскільки при аеропружному розкритті парашута картина значно ускладнюється через відсутність сформованого стаціонарного тиску та внаслідок різноманітності геометричних форм, пористості й неоднорідності матеріалу та його реологічних властивостей. Задача розв'язується чисельним методом гідродинамічних особливостей, що вводяться у вигляді вихрових кілець з постійною інтенсивністю по контуру. Рівняння руху оболонки розв'язуються методом скінченних різниць. Відсутність збіжності методу дискретних вихорів вимагала введення процедури регуляризації для забезпечення розв'язності задачі. Визначено поле швидкостей, перепад тиску, коефіцієнт опору.

Для дослідження перехідних режимів у гідропружних системах протяжного типу І.Т.Селезовим розвинуто ефективний числовий метод хвильової декомпозиції. Розглядається початково-крайова задача для гіперболічної системи диференціальних рівнянь у часткових похідних у матричній формі, для розв'язку якої застосовується метод скінченних різниць. Ідея методу полягає в розщепленні матриці конвективних членів на набір суттєво простіших дворядних матриць, кожна з яких відповідає одній хвильовій моді – поздовжній, згинальній, крутильній тощо. Це дає можливість на кожному часовому кроці обчислювати по черзі лише одну таку матрицю. Метод застосовувався для дослідження динаміки гідропружних буксирувальних систем.

В.В.Яковлевим та В.О.Ткаченком досліджено задачу збудження поверхневих гравітаційних хвиль в океані від підводного джерела, розташованого на межі розділу води та пружного напівпростору. Побудовано точне рішення в епіцентрі та наближене рішення на основі методу чисельного обернення перетворення Лапласа та процедури регуляризації для покращення збіжності. Аналогічна задача аналізувалась на основі спрощеної моделі мілкої води.

І.Т.Селезовим запропоновано нову модель хвильового типу зародження землетрусів та їх спускового механізму. Вона базується на гідродинамічній течії геоматеріалу вздовж променевої трубки тектонічного потоку та еволюції пошкодженості середовища, яке описується кінетичним рівнянням для коефіцієнта пошкодженості. Аналіз виявив можливість поширення збурень солітонного типу в околах критичних точок, поблизу яких має місце сингулярне виродження. Це призводить до стрибків структурних параметрів і спускового режиму землетрусів.

І.Т.Селезовим розвинуто узагальнені гіперболічні моделі поширення хвиль у пружних пластинах та оболонках, які описують поширення збурень з скінченною швидкістю та розширюють межі застосування класичної теорії в бік вищих частот і дозволяють розглядати наявність локальних неоднорідностей. Тривимірну початково-крайову задачу еластодинаміки зведено до двовимірної на основі розкладів у степеневі ряди за малою поперечною координатою. На відміну від відомих феноменологічних моделей Кірхгофа й Тимошенка–Міндліна, тут вводиться лише одна гіпотеза – малість відносної товщини, що дає змогу побудувати більш загальні моделі як математичні апроксимації. Встановлено необхідні та достатні умови гіперболічного виродження початкової повної гіпер-

болічної моделі. Також розглянуто більш загальну задачу про гіперболічне виродження початково-крайової задачі для гіпершарів у n -вимірному просторі.

І.Т.Селезовим та В.О.Сорокіною досліджено поширення гідропружних хвиль у пружному шарі, що контактує з рідинами однакової або різної густини. Розглянуто аналогічну задачу для неоднорідного по товщині пружного шару. Досліджено дисперсійні властивості таких систем і характерні особливості поширення хвиль в них.

В.В.Яковлевим, В.О.Ткаченком, Т.Б.Гончаренко та В.В.Бондар побудовано довгохвильову нелінійно-дисперсійну модель, що описує поширення згинально-гравітаційних хвиль у пружній пластині, яка плаває на поверхні рідини змінної глибини. Модель враховує ефекти нелінійної дисперсії рідини, а також інерцію, пружність і геометрично нелінійний прогин пластини. Виходячи з отриманих рівнянь, побудовано ієрархічну послідовність більш простих моделей, які узагальнюють відомі з теорії поверхневих хвиль рівняння Перегріна, Буссінеска та Кортвега – де Вріза на випадок згинально-гравітаційних хвиль. В окремому випадку узагальненого рівняння Кортвега – де Вріза побудовано й проаналізовано точні розв'язки, які описують поширення солітонів і кноїдальних хвиль у морі, покритому суцільним або битим льодом. Показано, що згинально-гравітаційні хвилі мають певні дзеркальні властивості у порівнянні з довгими нелінійними хвилями на воді. Щодо солітону це означає, що без зміни форми поширюється западина, а не підвищення, як у випадку чистої води, і швидкість її поширення з ростом амплітуди зменшується, а не збільшується.

Окрім того, характеристики згинально-гравітаційних хвиль визначаються амплітудою та дисперсією згинальної жорсткості пластини й не залежать безпосередньо від дисперсії води та інерційних властивостей льодової покрівлі. Побудовано асимптотичний солітоноподібний розв'язок узагальненого рівняння типу Кортвега – де Вріза зі змінними коефіцієнтами та встановлено явище розпаду згинально-гравітаційного солітону на уступі змінної глибини.

У роботах В.І.Нікішова для оцінки розсіювання прогресивних гравітаційних хвиль підводними бар'єрами було розвинуто асимптотичний метод поліпшеної редукції, який передбачає розклад розв'язку рівняння Лапласа в ряд по власних функціях задачі. Отримано залежності коефіцієнтів відбиття та проходження від хвильового числа падаючої хвилі.

Під керівництвом В.І.Нікішова створені лабораторний стенд та експериментальні методики для дослідження еволюції нелінійної усамітненої хвилі (солітона) при взаємодії з нерівностями донної поверхні. У різні роки



*Член-кор. НАН України,
докт. фіз.-мат. наук, проф.
В.І.Нікішов – видатний учений
у галузі гідромеханіки та гідрофізики*

в цих роботах брали участь В.В.Олексюк, Г.П.Соколовський, А.С.Корольова, В.М.Вовк, Н.С.Єфремова, Л.В.Черних. На цій основі отримано ряд важливих результатів, які стосуються поширення солітонної хвилі над нерівним дном. Експериментально досліджено взаємодію поверхневої усамітненої хвилі з затопленими перешкодами типу «вертикальна пластина» і «уступ». Показано, що при сильній взаємодії усамітненої хвилі з перешкодами цих двох типів процеси розпаду хвилі є подібними. Виявлено, що при взаємодії усамітненої хвилі з підводною перешкодою можна виділити два основні сценарії – трансформацію та сильну взаємодію. Отримано залежності коефіцієнтів відбиття та проходження для вертикальної пластини та уступу в широкому діапазоні амплітуд падаючої хвилі та геометричних параметрів перешкод. На цій основі запропоновано універсальний коефіцієнт взаємодії – в залежності від його величини реалізується перший або другий сценарій, за якими хвиля проходить над зануреною перешкодою.

А.С.Корольовою за участі Г.П.Соколовського експериментально досліджені процеси поширення та взаємодії поверхневих усамітнених хвиль з проникними перешкодами типу «пальового» та «щілинного» хвилеломів. Встановлено, що перешкода типу щілинного хвилелому більш ефективна порівняно з пальовим – на ньому розіюється близько 25% хвильової енергії проти 15% на пальовому хвилеломі. Вивчалася також взаємодія усамітненої хвилі з напівзануреним тонким екраном. З аналізу отриманих експериментальних даних випливає, що така перешкода більш ефективна з погляду розсіювання енергії падаючої хвилі, ніж підводна стінка.

При взаємодії солітонної хвилі з хвилеломами пальового типу експериментально досліджено розмивні процеси в околі перешкоди (А.С.Корольова, Г.П.Соколовський). Основна задача зводилася до визначення глибини воронки розмиву, яка створюється солітонною хвилею. Виявлено, що процес встановлення рівноваги контролюється відношенням тривалості хвилі до часового масштабу розмиву. Максимальна глибина лунки розмиву становить приблизно 1,2 ширини опори. Показано, що розмив навколо проникних хвилеломів під усамітненими хвилями є досить складним процесом, який визначається багатьма чинниками. Один із ключових параметрів, які впливають на розмив, – відстань між палями. Чим менша вона, тим сильніший взаємовплив між палями. На глибину та геометрію розмиву також значно впливають тип і розмір конструкції.

Водночас у відділі активно розвивалися методи чисельного моделювання хвильової динаміки над нерівним дном у в'язкій рідині. І.М.Горбань розвинула математичну модель і алгоритми для розрахунку еволюції вільної поверхні в каналі скінченної глибини. У них поєднуються метод граничних інтегральних рівнянь для опису еволюції вільної поверхні та вихровий метод для розв'язання рівнянь динаміки рідини в області. Цей підхід було застосовано до розрахунку динаміки солітонної хвилі та викликаних нею течій рідини над зануреними перешкодами різної конфігурації. Дослідження спрямовувались на виявлення найбільш ефективних форм підводних хвилегасників для одночасної протидії хвилям і збереження природної екології в прибережній зоні.

Отримано форми вільної поверхні, часові та просторові характеристики вихрового поля при проходженні солітонної хвилі над тонкою вертикальною пластиною, прикріпленою до донної поверхні. Параметри хвилі й нерівності вибиралися таким чином,

щоб хвиля не руйнувалася. У цьому разі отримано класичну картину взаємодії солітону з зануреною перешкодою, коли він поділяється на прохідну та відбиту хвилі. Порівняння результатів розрахунків з даними лабораторного експерименту, виконаного у хвильовому лотку під керівництвом В.І.Нікішова, засвідчило, що представлена чисельна схема дає адекватний опис параметрів хвиль, утворених над перешкодою. Виявлено, що течія, збурена при проходженні хвилі над зануреною пластиною, є істотно нестационарною. Протягом її еволюції виникають чотири послідовних явища – утворення зсувного шару над пластиною; генерація та відрив інтенсивної вихрової структури, яка обертається в напрямку руху хвилі; формування вертикального струменя з тильного боку перешкоди; утворення вторинних вихорів на верхній крайці пластини та в її підніжжі. Отримані результати свідчать про те, що проходження хвилі над зануреними перешкодами породжує інтенсивне вихрове поле, яке, з одного боку, сприяє дисипації хвильової енергій, а з іншого, має негативний вплив на стійкість підводних технічних систем, оскільки вихрові структури підмивають дно та створюють додаткові силові навантаження на елементи конструкцій.

Досліджено взаємодію солітонної хвилі з зануреними стінками різної форми та проникності (І.М.Горбань). Отримані в чисельному експерименті дані свідчать про те, що підводний бар'єр з горизонтальними щілинами, пористість якого знаходиться в межах $(0, 2 \dots 0, 3)$, буде найбільш вдалим серед конструкцій цього типу, як з точки зору берегозахисту, так і для збереження екології у прибережній зоні. Аналіз споруди, яка складається з двох паралельних занурених стінок, показав, що вона стає ефективною з погляду протидії енергії набігаючих хвиль тоді, коли відстань між стінками перевищує півтори глибини води в області, причому максимальний ефект досягається, якщо ця відстань дорівнює 2,5 глибини.

Гідродинаміка і морфодинаміка руслових течій

В.М.Сеймовим, О.М.Трофимчуком, О.А.Савицьким, Б.М.Островерхом розроблено методи обробки даних натурних спостережень за русловими та береговими процесами та схилами, а також методи математичного моделювання фільтрації вуглеводнів у підземних сховищах газу у відпрацьованих газових і газоконденсатних родовищах з урахуванням напруженого стану, анізотропії та тріщинно-блокової побудови газоносних шарів. Проведено дослідницькі роботи, що пов'язані з питаннями екології та стійкості річкових гідротехнічних споруд, підводних піщаних кар'єрів та судноплавних шляхів. Удосконалено методи дослідження процесів розвитку напруженого стану та незворотних деформацій пружнов'язкопластичного середовища стосовно проблем стійкості ґрунтових споруд, стійкості природних схилів та умов утворення зсувів. Розроблено методи обробки даних натурних спостережень за русловими процесами для визначення вихідних даних математичного моделювання із застосуванням геоінформаційних технологій.

В.В.Хомицьким, В.О.Ткаченком, Б.М.Островерхом, В.А.Воскобійником, О.А.Воскобойником, Л.С.Потапенко на фізичних і математичних моделях виконано комплексне дослідження трансформації гирлових ділянок при прокладці суднового каналу

та транскордонного впливу його споруд на розподіл стоку Кілійської дельти р. Дунай. Впроваджено в практику імітаційні моделі та надано рекомендації для техніко-економічного обґрунтування проекту щодо вибору оптимального варіанту глибоководного судового ходу через руслову та барову частину Новостамбульського (Бистрого) гирла. Розроблено критерії впровадження системи моніторингу гідроморфодинамічних процесів і створення постійно діючих моделей елементів Кілійської дельти. Впроваджено в практику моделі та надано рекомендації щодо вибору заходів мінімізації замулення морського підхідного каналу глибоководного судового ходу на баровій частині Новостамбульського (Бистрого) гирла. Розроблено методики визначення обсягів ремонтних черпань з врахуванням природного замулення руслового судноплавного каналу, обсягів та розташування руслових піщаних кар'єрів за допомогою математичних моделей та геоінформаційних систем.

Б.М.Островерхом, Л.С.Потапенко за допомогою математичних моделей виконано наукове обґрунтування визначення загального та місцевого розмиву руслових опор варіантів північної ділянки автомобільного мостового переходу через Київське водосховище (створ Лютиж–Лебедівка) у складі споруд Великої кільцевої дороги навколо м. Києва. Також науково обґрунтовано визначення загального та місцевого розмиву руслових опор мостового переходу через р. Амудар'я.

Б.М.Островерхом і Л.С.Потапенко розроблено методику визначення впливу вітрових хвиль на замулення в гирловій частині річок за результатами математичного моделювання й натурних спостережень на базі розрахункових комплексів і застосування геоінформаційної системи для генерування розрахункових сіток та аналізу результатів. Для моделювання вітрового хвилювання застосовано стаціонарну спектральну хвильову модель *CMS-Wave*, для моделювання течії та морфодинаміки – модель мілкої води, реалізовану в обчислювальному комплексі *CMSFlow*. Для підготовки вихідних даних, аналізу та обробки результатів моделювання та наземних спостережень також використовувалась геоінформаційна система. Результати математичного моделювання і аналіз натурних спостережень зон акумуляції та розмиву свідчать про задовільний збіг прогнозованого розташування та обсягів зони акумуляції наносів у каналі, розташованих біля оголовку дамби на вході в морський підхідний канал Дунай – Чорне море. У зоні руйнування хвиль на правій брівці каналу виявлено утворення послідовності підводних барів поперечного типу, пов'язане з морфодинамічною нестійкістю, яка виникає при взаємодії хвиль і течій. Аналогічні процеси спостерігаються при математичному моделюванні в рамках теорії мілкої води. Це свідчить про зародження на правобережному боці гирла (брівці підхідного каналу) форми типу природної коси, утворення якої буде сприяти зменшенню замулення каналу. На основі проведених досліджень і результатів експлуатаційного моніторингу запропоновано внесення додаткових конструктивних змін до облаштування морського підхідного каналу та руслових перекатів задля забезпечення стійкості глибоководного судового ходу.

Із застосуванням цього ж модельного підходу розроблено методи прогнозування руслових і морських прибережних процесів, які було використано для аналізу характеристик та вибору параметрів переривчастих хвилеломів. Виконано роботи щодо наукового

супроводу проекту захисних заходів на ділянці північного узбережжя Кіркінітської затоки (с. Приморське). Після проведення порівняльного аналізу результатів чисельного та фізичного моделювання різних варіантів захисних споруд запропоновано переважне застосування системи переривчастих хвилеломів. Показано, що в результаті акумуляції наносів у системі таких хвилеломів та берегу утворюється економічна форма природного аналогу, яка з'єднує берег з хвилеломом неповною переймою (томболо) та утворює стійку бухтову форму.

Розроблені методики впроваджено у рамках виконання госпрозрахункової теми щодо мостових переходів на проектній південній ділянці Великої кільцевої дороги навколо Києва (Бузова–Глеваха) через річку Ірпінь та її притоку Бобриця. Конструктивні та розрахункові виклики на цій ділянці обумовлені наявністю значних торфових шарів різного ступеня заторфованості, які відносяться до зв'язаних. Визначено критичну швидкість, критичне напруження зсуву та швидкість ерозії для гідравлічних умов, які перевищують критичне значення та повинні визначатися на сучасних приладах дослідження неруйнованих зразків ґрунту типу CSM чи EFA.

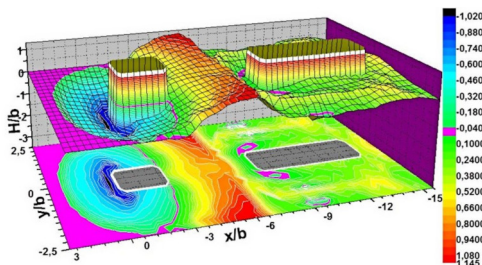
Проведено дослідження кінематики потоків та виникнення додаткових умов збільшення локального розмиву опор у вигляді суцільних прямокутних колон та у варіанті конструктивного рішення з кількома колонами на суцільному цоколі. У зоні розташування підводних донних форм та піщаних кар'єрів проведено розрахунки та досліджені форми локальних розмивів.

Проведено роботи щодо наукового супроводу проектування удосконаленої схеми мостових споруд Південного мостового переходу через р. Дніпро (Українка–Гора) у складі Великої кільцевої дороги навколо м. Києва. Проведено збір вихідних даних, виконано гідрологічні та гідроморфологічні розрахунки для розробки планової моделі деформації розрахункової ділянки річищ р. Павлівка та р. Іква та конструкцій мостових переходів. Зібрана база даних натурних вимірювань включає картографічні матеріали ділянок, що розглядаються, аналіз гідрологічних розрахункових характеристик про рівні та витрати розрахункових повеневих потоків у створі проєктованого мостового переходу через р. Дніпро.

Під керівництвом В.І.Нікішова розроблено комплекс програм для чисельного моделювання гідроморфодинамічних процесів в руслових потоках. На цій основі досліджено динаміку великих піщаних кар'єрів у процесі їх розмивання течією води. Показано, що локалізоване заглиблення на річковому дні трансформується в складну систему ям та насипів, яка переміщується в напрямку течії. Дано оцінку швидкості перенесення форми дна вздовж потоку. Показано, що поширення нерівності уперек русла проявляється у формуванні масштабних ерозійних зон на донній поверхні. Проведено розрахунки еволюції піщаних кар'єрів, утворених унаслідок видобутку піску в р. Дніпро поблизу Дарницького мосту в м. Києві (родовище «Заводське-2»); зроблено оцінки їхнього впливу на стійкість гідротехнічних споруд та на екосистему річки (І.М.Горбань).

Б.М.Островерхом, В.О.Горбанем, А.Г.Марченком, В.А.Воскобійником за допомогою чисельного та фізичного моделювання вирішено проблему впливу взаємодії мостових опор на розмив ґрунту, яка виникла під час проєктування та будівництва нового

автомобільно-залізничного мостового переходу через р. Дніпро поблизу існуючого Дарницького залізничного мостового переходу в м. Києві. Для спорудження нового мостового переходу було спроектовано сучасну матеріалоекономічну опору у вигляді трирядного багатопального ростверку, де циліндричні палі розташовуються одна поблизу іншої.



*Автомобільно-залізничний перехід
через р. Дніпро у м. Києві та результати
моделювання розмиву ґрунту поблизу
його мостових опор*

експерименті (В.А.Воскобійник, О.А.Воскобойник, А.В.Воскобійник) виявлено, що глибина воронки розмиву перед мостовим ростверком, який складається з ансамблю вертикальних паль, істотно зменшується у порівнянні з поодинокую призматичною опорою.

А.Г.Марченком, В.А.Воскобійником, О.А.Воскобойником, А.В.Воскобійником визначено, що в площині осової симетрії опори профіль розмиву складається з двох схилів відкладання піску. Верхній схил має менший кут нахилу й утворюється дією на частинки піску підковоподібного вихору, який виникає під час відриву примежового шару з верхнього фронтального краю отвору розмиву. Нижній схил відкладання піску обумовлений дією підковоподібного вихору, породженого течією, яка направлена до розмивного дна вздовж передньої частини опори. Показано, що ширина отвору розмиву майже у 2,5 рази більша, ніж його глибина. Максимальна глибина розмиву спостерігається перед призматичною опорою на відстані у чверть її ширини, де розташовується ядро нижнього квазі-стійкого енергоємного підковоподібного вихору.

Визначено значний вплив трирядного циліндричного ростверку на розмив ґрунту поблизу призматичної моделі, яка знаходиться вище за потоком. При докритичних

В.А.Воскобійником, А.П.Макаренковим, В.О.Горбанем, І.М.Горбань, О.А.Воскобойником, А.В.Воскобійником установлено, що під час одиночного і групового обтікання мостових опор на жорсткій і розмивній поверхні генеруються великомасштабні підковоподібні вихрові системи в області спряження поверхонь опор із дном, інтенсивні вихрові трубки у зсувних шарах на бічних поверхнях погано обтічних тіл, слідні вихори позаду опор та струменеві течії між близько розташованими опорами. Визначено особливості вихрової течії та механізми взаємодії вихрових систем між собою та з обтічними поверхнями, які залежать від режимів потоку й геометричних параметрів погано обтічних тіл. При чисельному моделюванні (І.М.Горбань) та в лабораторному

швидкостях потоку глибина розмиву перед призматичною опорою зменшується на 10% у порівнянні з її поодиноким обтіканням. Водночас за надкритичних швидкостей течії вона збільшується приблизно на 15%.

В.А.Воскобійником, О.А.Воскобойником, А.В.Воскобійником експериментально обґрунтовано активні способи захисту мостових опор від розмиву, спрямовані на перерформатування гідродинамічної течії поблизу мосту. Їхнє застосування дозволяє збільшити надійність мостових конструкцій і зменшити витрати на моніторинг і додатковий захист опор від розмиву. Розглянуто різні способи керування потоком навколо мостових опор з метою зменшення локального розмиву донної поверхні навколо них. Вони включають встановлення перешкод простої форми в області генерації придонних вихорів, застосування постаментів і додаткових палевих конструкцій, а також модифікацію геометрії опори. Показано, що при обтіканні призматичної опори з фронтальними пластинами енергоємний підковоподібний вихор зміщується вгору проти течії, внаслідок чого інтенсивність розмиву безпосередньо перед тілом істотно зменшується. При цьому найбільший позитивний ефект на розмив у порівнянні з іншими способами керування спричиняє розміщення перед опорою додаткових паль. Знайдено оптимальні геометричні параметри моделі з пальями, при яких глибина воронки розмиву може зменшитись на 70% у порівнянні з розмивом опори без паль.

Взаємодія складних систем з потоками та хвилями

Роботи в цьому напрямку проводились у рамках створення гідроакустичних систем різних типів, систем вивчення морського середовища та освоєння моря в сенсі розвідки та видобутку корисних копалин. Дослідження М.В.Салтанова, В.І.Корольова, П.Г.Авраменка, В.О.Горбаня, Ю.І.Калюха, О.І.Безверного були спрямовані на вивчення статистики та динаміки багатокомпонентних і багатозв'язних дрейфуючих і заякорених систем у потоці та на хвилюванні; статистики та надійності багатоякірних систем утримання плавучих споруд; динаміки якірних ліній постійної та змінної довжини; динаміки морських трубоукладачів типу «судноукладач зі стінгером – система заякорення – трубопровід» на хвилюванні; динаміки морських стояків в умовах впливу хвиль та течій; статистики та динаміки буксируваних систем типу «трос – тіло» (включаючи режими підйому та занурення буксированого тіла при зміні довжини троса); динаміки та статистики протяжних гнучких зв'язків у потоках з змінними швидкостями; вібрацій тросів у потоці та їх гасіння; динаміки занурених у воду тіл і систем зондування з рухомого носія; опору буксируваних гнучких трубопроводів і їхніх елементів в умовах спокійної води та на хвилюванні.

М.В.Салтановим, В.Т.Грінченком, А.П.Макаренковим, В.О.Горбанем, О.І.Адамовим, В.А.Воскобійником було розроблено конструкції гідроакустичних систем та систем морської техніки для вивчення та освоєння Світового океану, що поставило ряд нових завдань оптимізації обтікання тіл. Необхідність урахування деформацій конструкцій, їх взаємодії з потоком, аналіз процесів утворення вихорів потребували розвитку нових теоретичних та експериментальних методів, створення відповідних випробувальних стендів, обчислювальних технологій і пакетів прикладних програм.

Зокрема, був розроблений метод розрахунку та визначені параметри системи утримання плавучих об'єктів. Проведено експериментальне дослідження динаміки якірних канатів, отримані дані, які дозволили уточнити динамічні розрахунки. Як результат було кількісно оцінено динаміку, зусилля в канатах та елементах конструкцій судна-укладальника зі стінгером, а також моменти сил у трубопроводі під час його укладання. Отримано експериментальні дані з динаміки (вібрацій) гнучких ліній у потоках зі змінною вихровою швидкістю, що дозволило розробити уточнений метод розрахунку. Розроблено методи стабілізації та оптимізації технічних засобів вивчення та освоєння Світового океану. На їх основі запропоновано конструктивні рішення стабілізованих буїв, бурових платформ, заякорених, дрейфуючих і буксируваних гідроакустичних систем, буксируваних систем морської геофізичної розвідки та трубоукладальних комплексів. Розроблено загальну математичну модель динаміки та статички багатоелементних і багатозв'язних систем у потоках. На її основі розвинуто аналітичні та числові методи розв'язання прикладних задач. Експериментально визначено гідродинамічні характеристики елементів складних систем, необхідні для розрахунків їхньої поведінки в потоках і на хвилюванні. У зв'язку з проблемою створення автоматизованої системи екологічного контролю вод України побудовано математичну модель повного циклу зондування з рухомого носія та вироблено рекомендації щодо оптимального проектування відповідної системи зондування.

Вихрові структури в рідині

Залежність усереднених гідродинамічних полів, опору форми й тертя, рівня випромінюваного гідроакустичного шуму, тепло- і масообміну від властивостей дрібномасштабних рухів рідини (так званої, тонкої структури течії) та вихрової структури потоку в останні десятиліття стала предметом активної уваги дослідників. Це зумовлено, насамперед, широкими можливостями керування інтегральними характеристиками течії шляхом зміни інтенсивності та масштабів вихрових утворень, характеру їх руху, взаємодії між собою та з межами потоку. Дослідження в цьому напрямі мають фундаментальний характер і дозволяють відповісти на питання про природу турбулізації течії, виникнення випадкових рухів рідини, виходячи з концепції детермінованого хаосу. Теоретичні та експериментальні дослідження за цим напрямом М.В.Салтановим, В.О.Горбанем, І.М.Горбань, В.С.Ткаличем, П.Г.Авраменком, В.І.Корольовим, М.В.Шайбо, Л.І.Янковським, В.С.Завальним, Г.П.Соколовським.

М.В.Салтановим, В.О.Горбанем, І.М.Горбань розроблено чисельно-аналітичні апроксимації в теорії відривного обтікання, засновані на спільному використанні дискретно-вихрової моделі та методів конформних відображень. Виявлено й досліджено резонансні властивості вихорів у пристінних потоках поблизу нерівностей межі. Розроблено алгоритми й програми моделювання пристінних течій, і на їх основі запропоновані способи керування вихровими структурами, засновані на штучній генерації стійких локальних відривних зон. Розвинуто теорію гвинтових течій Громеки–Жуковського, отримано узагальнення низки широко відомих вихрових структур

(зокрема, вихорів Хілла, Лемба–Чаплигіна і Чаплигіна). Побудовано аналоги традиційних течій Громеки–Жуковського в гідродинаміці за наявності джерел маси, імпульсу й енергії та в гідродинамічному наближенні багатокомпонентної провідної рідини. Встановлено, зокрема, що в класі гвинтових течій знаходяться усталені хвилі скінченної амплітуди, які узагальнюють на нелінійний випадок добре відомі в лінеаризованому гідродинамічному наближенні плазми звичайну та незвичайну хвилі.

Слід зазначити, що розвиток техніки вимагає нових підходів до розв'язання проблем керування потоками рідини й газу. Одна з принципових можливостей на цьому шляху полягає в трансформації вихрової структури течій. Лабораторні дослідження, виконані П.Г.Авраменком, В.І.Корольовим, М.В.Шайбо, В.А.Воскобійником розвивають концепцію формування локальних вихрових зон у пристінній області. В.О.Горбанем та І.М.Горбань у чисельному експерименті на основі моделі ідеальної рідини проаналізовано можливі схеми керування течією за допомогою одного, двох або більше інтерцепторів і системи відбору рідини з відривних зон. Отримані залежності дозволяють оцінити необхідну інтенсивність відбору рідини, яка забезпечує локалізацію відриву та стійкість відповідних циркуляційних зон. Проведений аналіз поглиблює розуміння фізичних закономірностей генерації та руху вихрових структур у пристінних потоках. Отримані результати можуть бути корисними для подальшого розвитку методів керування пристінними течіями.

Прогрес комп'ютерних технологій сприяв розвитку числових алгоритмів для моделювання відривних в'язких течій, які ґрунтуються на використанні повної системи рівнянь Нав'є–Стокса. В.О.Горбанем та І.М.Горбань було розвинуто та успішно апробовано числову схему для розрахунку двовимірних в'язких течій. Вона належить до класу лагранжевих алгоритмів з високою роздільною здатністю, які розглядаються як швидка альтернатива прямому чисельному моделюванню відривних потоків. Такий підхід ґрунтується на ідеї переходу в математичній моделі від змінних тиску і швидкості до завихреності та описує її зародження, перенесення й дифузії. За допомогою вихрового числового алгоритму отриманий ряд важливих результатів щодо гідродинамічної взаємодії тіл у потоках в'язкої рідини при помірних (до 10^3) числах Рейнольдса. Досліджено вихрові поля й динамічні навантаження при паралельному або послідовному розташуванні в потоці двох квадратних призм у широкому діапазоні відстаней між ними. Описано складні інтерференційні картини вихрової течії, які формуються в цих системах. Отримано параметри, при яких досягаються екстремальні навантаження.

Числове моделювання на основі вихрового методу використовувалось для обґрунтування алгоритмів керування відривними течіями, які передбачають зменшення динамічних навантажень у потоці за допомогою штучного створення стійких циркуляційних зон (В.О.Горбань, І.М.Горбань, В.М.Вовк). Запропоновано змінювати вихрову структуру течії навколо тіла за рахунок розміщення в пристінному потоці спеціальних нерівностей, таких, як інтерцептори, поперечні канавки тощо. Розвинута теорія передбачає вивчення топології поля течії при різних параметрах керуючого пристрою, щоб вибрати ті з них, при яких в області може існувати стійкий вихор. Для підтвердження позитивного впливу керуючої схеми на картину обтікання та гідродинамічні характеристики тіл

у багатьох випадках проводилося чисельне моделювання модифікованих течій. Зокрема, показано істотне зменшення опору прямокутного тіла з двома симетричними фронтальними пластинами у порівнянні з тілом без них.

Хвильове навантаження на берегові та руслові конструкції

Проблеми в галузі берегової та руслової гідротехніки вивчалися комплексно В.В.Хомицьким, Ю.М.Сокольниковим, О.І.Суздальцевим, А.Г.Марченком, Є.Г.Горбатенком, В.О.Ткаченком, Л.М.Терещенко, Б.М.Островерхом з використанням теоретичних, експериментальних і натурних методів досліджень гідродинамічних процесів у береговій зоні моря; гідрогенного переміщення наносів; динаміки й морфології берегової зони; взаємодії хвиль з гідротехнічними спорудами і елементами конструкцій.

Хвилювання, яке розвивається на акваторії водойми – основний чинник, який визначає все різноманіття гідродинамічних процесів у прибережній зоні. При цьому основне наукове завдання зводиться до дослідження поширення та трансформації хвиль у суцільному водному середовищі. В.В.Яковлевим, В.О.Ткаченком, В.В.Бондар за допомогою математичного та фізичного моделювання побудовано методи розрахунку хвильових полів і структури поширення хвиль залежно від топографії дна, у тому числі, за наявності неоднорідностей з просторовими змінами та іншими складними природними умовами. Отримані результати дозволяють обґрунтувати розрахункові параметри хвиль на відкритих і захищених акваторіях для берегозахисних споруд різних типів і класів.

Взаємодія хвиль з берегом має просторовий характер при косому підході хвилювання – ця взаємодія призводить до утворення в межах підводного берегового схилу енергетичної вздовжберегової течії та вздовжберегового потоку наносів.

Вивчення особливостей і кінематичної структури течії та транспорту наносів було предметом широких досліджень, для проведення яких знадобилась розробка критеріїв просторового моделювання. В.В.Хомицьким, В.В.Яковлевим, В.О.Ткаченком, Б.М.Островерхом на основі теорії побудови гідравлічних моделей як окремого випадку апроксимації вихідних моделей гідромеханіки було розроблено теорію асимптотичного масштабування. Це дозволяє обґрунтовано спотворювати лінійні масштаби у разі застосування на моделі й на натурі подібності наносів і рідини.

В.В.Хомицьким, В.О.Ткаченком, А.Г.Марченком, Б.М.Островерхом для визначення швидкостей вздовжберегової течії та кількості піщаного матеріалу, що транспортується вздовж берега при косому підході хвилювання. Розроблено розрахункові залежності, які були перевірені в широкому діапазоні натурних умов і увійшли як складова частина до методу розрахунку вздовжберегового переміщення наносів як складової хвильових моделей морської гідравліки.

Модель течій у прибережній зоні ґрунтується на двовимірному представленні процесу нестационарного руху водних мас під дією різних гідрометеорологічних факторів. Вона дозволяє правильно описувати динамічну картину потоку і давати кількісні оцінки, необхідні для прогнозу динаміки наносів і абразійно-аккумулятивних процесів на узбережжі.

Генеровані хвилями рухи водних мас зумовлюють переміщення уламкового матеріалу в прибережній зоні моря упоперек і вздовж підводного берегового схилу. Б.М.Островерхом, Л.С.Потапенко на підставі розв'язання рівнянь транспорту і деформацій дна розроблено наближену модель переформування рухомого ложа прибережної зони моря. Це дозволяє передбачити еволюцію профілю дна і контура берегової лінії як результат розвитку мікро-, мезо- і макроформ донного рельєфу на тлі односпрямованих процесів розмиву й акумуляції наносів.

В.В.Хомицьким, А.Г.Марченком, Б.М.Островерхом розроблено новий науковий напрям – інженерну морфодинаміку берегів морів і водосховищ, – який дозволив на підставі методу природних аналогів отримувати й впроваджувати інженерні методи розрахунку таких нових типів берегозахисних споруд як штучні піщані та галькові пляжі, поперечні наносорегулюючі споруди, берегозахисні споруди перервного типу, берми з гірської маси, штучні кріплення з піщано-гравійних сумішей, бухтові гірляндові дамби, форми заповнення вхідних кутів, системи штучних кіс, подовжених акваторій тощо. Наразі цими спорудами захищено сотні кілометрів берегів морів і водосховищ.

В.А.Воскобійником, О.А.Воскобойником, А.В.Воскобійником, А.Г.Харченком, А.Г.Марченком, І.А.Нікітіним на базі розроблених методик з використанням контрольно-вимірювального обладнання та засобів проведення експериментальних робіт на полігоні та в лабораторіях Інституту гідромеханіки НАН України виконано науково-дослідні роботи з супроводу проєктних і будівельних робіт берегозахисних споруд в басейні Чорного та Азовського морів. Зокрема, проведено захист рекреаційного комплексу підвищеної комфортності на мисі Ай-Тодор у смт Гаспра АР Крим; захист берегової зони та захисних споруд території еколого-туристичного центру «Паркове» у смт Паркове Ялтинського району АР Крим; берегозахисні споруди на території вілли «Південь» на мисі Сарич Балаклавського району АР Крим; захист території санаторію «Полтава» в м. Саки АР Крим; захист території ПП Крилан на мисі Св. Трійці в селищі Оползневє смт Сімеїз Ялтинського району АР Крим; протизсувні заходи у сел. Урзуф Донецької області та берегозахисні споруди оздоровчого комплексу «Урзуф»;



Хвильове навантаження на моделі споруд яхт-клубу у смт Паркове АР Крим (ліворуч) та захисних споруд у бухті Двоаякірна (праворуч)

дослідження факторів динаміки прибережної зони, гідротехнічних споруд та умов відстою флоту в акваторії яхт-клубу «ТАЙ-Інвест» у смт Паркове Ялтинського району АР Крим; дослідження факторів динаміки берега та захисних споруд у бухті Двоакірна, смт Орджонікідзе м. Феодосія АР Крим; дослідження факторів динаміки берега та захисних споруд на ділянці водноспортивного оздоровчого комплексу по Керченському шосе м. Феодосія АР Крим; формування прибережної смуги з виходом у бік моря у районі Василювої балки Балаклавського району м. Севастополя.

Крім того, за допомогою чисельного і фізичного моделювання В.В.Хомицьким, В.О.Ткаченком, А.Г.Марченком, Л.М.Терещенко були розроблені та впроваджені берегозахисні споруди на Канівському водосховищі для комплексу реабілітації, оздоровлення та відпочинку на території Циблівської сільської ради Переяслав-Хмельницького району Київської області; водноспортивної бази Національного авіаційного університету в районі міста Українка Обухівського району Київської області поблизу хвилезахисної дамби «Конча-Заспа – Плюти». Проведено реконструкцію причалів у центрі олімпійської підготовки яхтового спорту у бухті «Омега» міста Севастополь АР Крим та яхт-клубу «Марина» на базі водної станції Ялтинського клубу юних моряків м. Ялти АР Крим.

В.В.Хомицьким, В.О.Ткаченком, А.Г.Марченком, В.А.Воскобойником, О.А.Воскобойником, А.В.Воскобойником, Б.М.Островерхом реалізовано моделювання факторів динаміки берега та конструкцій берегоукріплювальних споруд при будівництві 24-поверхового оздоровчого комплексу по вул. Французький бульвар, 60 у м. Одесі. Виконано фізичне моделювання хвильових полів і течій на ділянці будівництва контейнерного терміналу Державного підприємства Одеський морський торгівельний порт.

Для оптимізації технічних рішень по проектуванню опор залізнично-автомобільного мостового переходу через р. Дніпро в м. Києві визначено загальний та місцевий русловий розмив з урахуванням взаємовпливу з існуючим Дарницьким залізничним мостом. Визначено характер трансформації вітрових хвиль на захисних спорудах складної форми (в тому числі, з проникного матеріалу) для оцінки стійкості різних варіантів конструкції струмененапрямної дамби Морського підхідного каналу Дунай–Чорне море. В.А.Воскобойником, О.А.Воскобойником, А.В.Воскобойником проведено фізичне моделювання та дослідження напружено-деформованого стану гнучкої зависи та динамічних навантажень на якірну систему моделі струмененапрямної споруди в акваторії Ташлицького водосховища-охолоджувача Південно-Української АЕС.

Під час експлуатації морського підхідного каналу глибоководного суднового ходу Дунай – Чорне море в умовах осінніх штормів та обледеніння гребня дамби виникла аварійна ситуація з частковим його руйнуванням: коли кам'яний гребінь покритися льодовим шаром, під дією сильних штормових хвиль великі кам'яні брили скотилися, як на санчатах. В.В.Хомицьким, В.А.Воскобойником, О.А.Воскобойником, А.В.Воскобойником, Б.М.Островерхом, Л.С.Потапенко було проведено науково-дослідні роботи з покращення конструкції дамби задля зменшення її хвильового навантаження.

У ході робіт В.А.Воскобойником, О.А.Воскобойником, А.В.Воскобойником було



Обгороджувальна дамба Морського підхідного каналу глибоководного суднового ходу Дунай – Чорне море (ліворуч) та експериментальне моделювання рекомендованої посиленої конструкції дамби (праворуч)

підтверджено, що хвильові навантаження на фронтальну поверхню моделі існуючої дамби досить великі, що й призвело до її часткового руйнування в штормових умовах. Інтегральні характеристики хвильового тиску на обтічну поверхню моделі дамби показали, що на гребні дамби виявлено високі рівні пульсацій тиску. Визначено, що функція щільності ймовірності осциляцій тиску суттєво відрізнялася від нормального закону розподілу ймовірності через нелінійну взаємодію хвиль з дамбаю – досить великі значення мали коефіцієнти асиметрії та ексцесу.

Результати розрахунків і експериментальні дослідження, проведені В.В.Хомицьким, В.А.Воскобійником, Б.М.Острроверхом, Л.С.Потапенко, дозволили спроектувати ефективну форму фронтальної поверхні обгороджувальної дамби у вигляді ступінчатої споруди з двома бермами, розташованими на різних глибинах. Берми виконали функції підводних хвилеломів і значно зменшили енергію хвильового впливу на верхню частину дамби. Було визначено оптимальну форму дамби та геометричні параметри її фронтальної поверхні, видано проектні рекомендації. Запропоновано в натурних умовах побудувати мористу частину захисної обгороджувальної дамби з такими параметрами: нижній глибоководний укіс з нахилом 1:1,5, далі на глибині 4 м – нижню берму шириною 10 м. Потім зробити укіс з нахилом 1:5, а далі на глибині 2 м встановити верхню берму шириною 10 м. Закінчити захисну дамбу рекомендовано гребнем під нахилом 1:(3 ... 3,5). Облицювати фронтальну частину дамби слід каменем фракції 1,2 м.

Вплив турбулентності течії на гідроакустичні системи

Дослідження цієї проблеми проводилися протягом понад 30 років і охоплювали широкий спектр питань, вирішення яких вимагало створення гідроакустичних систем різних типів і призначення. Дослідження здійснювалися В.Т.Грінченком, А.П.Макаренковим, Г.П.Виноградним, В.А.Воскобійником, О.І.Адамовим як з реальними елементами, так і з моделями елементів таких систем. Основними проблемами, які при цьому вирішувалися, були визначення необхідних для здійснення розрахунків гідродинамічних характеристик, поведінка в потоці та в умовах морських хвиль, вібрація з'єднуючих гнучких елементів, стабілізація, взаємодія між окремими елементами системи тощо. Зв'язані з

цим дослідження були досить цікавими, оскільки доводилося мати справу з нетрадиційними погано обтічними тілами та тілами складної форми (багатoeлементні тіла).

У рамках цих проблем було здійснено великий обсяг досліджень з плоскими та об'ємними проникними (сітчастими) конструкціями з різними параметрами їхніх елементів. Визначались гідродинамічні характеристики таких конструкцій, їх екрановий ефект, пов'язаний зі зменшенням швидкості потоку за сітчастим екраном. Досліджувались можливості використання сітчастих конструкцій для стабілізації погано обтічних тіл, у тому числі, для зменшення вібрації з'єднувальних гнучких елементів.

Досліджувалися також конструкції обтічників і стабілізаторів різних типів, розташованих уздовж гнучкого кабель-каната. Були розроблені нові конструкції стабілізаторів для буксируваних підводних морських систем.

А.П.Макаренковим, Г.П.Виноградним, В.А.Воскобійником, В.О.Горбанем, П.Г.Авраменком в умовах експериментального басейну проведено численні випробування щодо взаємодії проникних і суцільних оболонок з потоком рідини, спрямовані на зниження рівня спектральних складових антен гідроакустичних станцій – стаціонарних, підводних, вільноплаваючих, буксируваних підводними човнами та надводними судами. У результаті були отримані спектральні та кореляційні характеристики пульсаційних полів поблизу гідрофонів і векторних приймачів гідроакустичних антен, які дали можливість створити сучасні зразки гідроакустичних систем різного призначення. Окрім того, було розроблено, випробувано та передано для впровадження посилювачі приймальних антен рибопошукових комплексів.

А.П.Макаренковим, Г.П.Виноградним, В.А.Воскобійником, В.О.Горбанем проведено експериментальні випробування моделей морських буїв для гідрофізичних досліджень. Були розроблені та запатентовані нові конструктивні схеми таких буїв з використанням проникних для води елементів і спеціальних стабілізаторів, які дозволяють різко зменшити коливання буя на морських хвилях.

У кінці 1960-их рр. за ініціативою Г.В.Логвиновича в інституті було розпочато одні з перших у нашій країні досліджень щодо зменшення гідродинамічного опору та шумності за допомогою введення в примезовий шар розчинів високомолекулярних полімерів. У процесі випробувань А.П.Макаренковим, Г.П.Виноградним, В.А.Воскобійником, С.О.Матвієвським були виявлені основні закономірності взаємодії полімерних розчинів вітчизняних і зарубіжних поліоксietiленів і поліакриламідів на середні та пульсаційні характеристики турбулентного примезового шару моделей торпед і підводних човнів. Розроблено методи оптимального введення розчинів, які дозволяють знизити рівень спектральних складових гідродинамічних шумів на (12 ... 14) дБ в широкому діапазоні частот.

А.П.Макаренковим, Г.П.Виноградним, В.А.Воскобійником, О.І.Адамовим, О.А.Воскобойником, В.С.Шевченком проведено великий обсяг досліджень щодо стабілізації гнучких елементів великої протяжності – антен і сейсмокіс. Було вивчено поведінку таких елементів у потоці в умовах спокійної води, при наявності поверхневих хвиль, при заданих вимушених коливаннях передньої точки, а також в умовах дії струменя від установки рушія. Саме з позицій забезпечення стабілізації гнучких протяжних

елементів проведено випробування оригінального кінцевого пристрою, що складався з системи гнучких протяжних елементів. Його роботу було побудовано лише на дії сил тертя, тобто без утворення великомасштабних вихорів, які порушують стабільність руху самого стабілізуючого пристрою.

Під час експлуатації гнучких протяжних гідроакустичних антен, які буксирують надводні кораблі або субмарини, одним з основних джерел перешкод є гідродинамічний шум. Цей шум має звуковий та псевдозвуковий характер. Він поширюється в оточуюче середовище зі швидкістю звуку або обмежується примежовим шаром – для псевдозвуку, який поширюється зі швидкістю перенесення вихрових структур, які утворюють примежовий шар. Псевдозвукові пульсації тиску виникають під час взаємодії різномасштабних вихрових структур між собою та обтічною поверхнею та викликають її вібрації. Оскільки джерела псевдозвуку знаходяться поблизу обтічної поверхні гідроакустичної антени, то вони суттєво впливають на гідрофони, розташовані під обтічною поверхнею антени. Як показали виконані В.Т.Грінченком, А.П.Макаренковим, Г.П.Виноградним, В.А.Воскобійником дослідження, псевдозвукові пульсації тиску багато в чому залежать від геометричних параметрів антени та якості обтічної поверхні, кінетичних і динамічних характеристик потоку, що обтікає антену.

Результати, отримані В.Т.Грінченком, А.П.Макаренковим, Г.П.Виноградним, В.А.Воскобійником, показали, що турбулентний примежовий шар складався з дрібномасштабних малошвидкісних вихорів та великомасштабних когерентних високошвидкісних вихрових структур. Серед них поздовжні струмінці, пристінні дрібномасштабні вихори, які утворюють пристінну область примежового шару, великомасштабні вихрові структури, кільцеподібні вихори, що охоплюють циліндр, а також вихрові структури, які відриваються від великомасштабних вихрових структур і кільцеподібних вихорів та вироджуються за межами примежового шару. В середині турбулентного примежового шару над обтічною поверхнею гнучкого протяжного циліндра з поперечною кривизною близько $(1,5 \dots 4)$ утворювалися когерентні дрібно- та великомасштабні вихрові структури, які переносилися з швидкостями від половини швидкості потоку у пристінній області примежового шару до швидкості переносу, близької до швидкості потоку в зовнішній частині турбулентного примежового шару. Масштаб вихрових структур коливався від одиниць довжин в'язкості до кількох товщин примежового шару. Найбільший поздовжній розмір великомасштабних вихрових структур був обмежений значенням $6,2$ товщини примежового шару.

А.П.Макаренковим, Г.П.Виноградним, В.А.Воскобійником встановлено, що когерентні вихрові структури, які генеруються турбулентним примежовим шаром і конвектують над обтічною поверхнею циліндра, обумовлюють підвищені рівні когерентності поля пульсацій пристінного тиску, а також зміну фазового спектра у вигляді похилих кривих, кут нахилу яких зменшується. Виявлено, що швидкість виродження максимальних значень коефіцієнта просторово-часової кореляції в широкому діапазоні частот на гнучкому циліндрі вища, ніж на пластині. Дрібномасштабні вихори, які генерують високо-частотні пульсації тиску, вироджуються швидше й переносяться повільніше, ніж великомасштабні вихрові когерентні структури, що формують зовнішню область примежового

шару.

В.Т.Грінченком, А.П.Макаренковим, Г.П.Виноградним, В.А.Воскобійником встановлено, що зі збільшенням чутливої поверхні приймача рівні псевдозвукових пульсацій тиску, зареєстрованих ним, зменшуються через ефект просторового фільтрування. Спектральні щільності потужності пульсацій тиску великих датчиків – більш вузькосмугові й зосереджені в області низьких частот. Виявлено, що зі зростанням швидкості обтікання антени рівні пульсацій тиску зростають швидше для високочастотних тискоутворюючих систем, зумовлених дрібномасштабними вихорами. При віддаленні від носової частини антени горизонтальні та вертикальні вібрації зростають, залишаючись меншими, ніж осьові. Зі зростанням швидкості обтікання рівні вібрацій зростають у всьому частотному діапазоні, але переважно у сфері низьких частот. Встановлено, що пульсації пристінного тиску в турбулентному примежовому шарі на антені, збуджувані низькочастотними великомасштабними вихорами, зростають пропорційно U^2 , а дрібномасштабними високочастотними – пропорційно U^3 . Низькочастотні вібрації антени (до 400 Гц) збільшуються як $U^{2,5}$ а високочастотні (від 400 Гц до 800 Гц) – як $U^{1,6}$. Для зниження гідродинамічних шумів і вібрацій на буксируваній гідроакустичній антені запропоновано використовувати метод групування приймачів, розділення між приймачами на відстані, які перевищують радіус кореляції гідродинамічної перешкоди. Найбільш ефективним є метод віброкомпенсації, особливо в низькочастотній області спектра.

Дослідження ефективності гібридних проникних берегозахисних споруд з перетворювачами відновлюваної хвильової енергії

В Інституті гідромеханіки НАН України за останні кілька десятиріч накопичено значний досвід у галузі річкового та морського гідротехнічного будівництва. Співробітниками В.В.Хомицьким, В.А.Воскобійником, В.О.Ткаченком, О.А.Воскобойником, Л.М.Терещенко, А.В.Воскобійником проведено теоретичні та експериментальні роботи з вивчення особливостей генерації та поширення хвильового руху в морі, на річках та водосховищах, взаємодії їх з берегозахисними спорудами та мостовими й причальними конструкціями. Експериментальні роботи проводилися в натурних і лабораторних умовах у гідравлічних басейнах, лотках і каналах. Проведено фізичне та математичне моделювання взаємодії хвиль з берегами, дном та гідротехнічними спорудами, моделювання вихрових і струменевих течій та методи керування ними. Розроблено алгоритми та методи розрахунку силових факторів при взаємодії гідротехнічних споруд з хвилями, вихровими структурами та русловими течіями. Вперше в Україні розроблено та впроваджено методику розрахунку параметрів переривчастих відокремлених хвилеломів. В основу розробки гібридних проникних берегозахисних споруд з перетворювачами відновлюваної хвильової енергії покладено ідею створення ефективних з точки зору гідродинаміки берегозахисних споруд та застосування на гідротехнічних берегозахисних спорудах перетворювачів відновлюваної хвильової енергії.

Візуальні дослідження В.А.Воскобійника, А.С.Корольової, Л.П.Абрамової, О.В.Полосухіної дали можливість оцінити характерні особливості взаємодії хвильового по-

ля з досліджуваними моделями проникних вертикальних стінок у якості берегозахисних споруд та перетворювачами хвильової енергії типу осцилюючого стовпа води. Проникні вертикальні стінки з опор колового, квадратного і трикутного поперечного перерізу з проникністю від 0% до 60% перетворюють первинну або прийдешню хвилю, породжену щитовим генератором хвиль, у відбиту та прохідну через вертикальну стінку хвилі. Характерно, що відбита хвиля мала висоту, більшу, ніж висота прохідної хвилі. Ця різниця збільшувалася зі зменшенням проникності вертикальної стінки, а також форми поперечного перерізу опори: найбільша вона для опори квадратного поперечного перерізу, а найменша – для колового. Розташування суцільних щитів різного заглиблення в області урізу води також призвело до збільшення різниці між висотами відбитих та прохідних хвиль.

Як показали дослідження у хвильовому каналі гідравлічної лабораторії Інституту гідромеханіки НАН України проведені науковими співробітниками В.А.Воскобійником, А.С.Корольовою, О.А.Воскобойником, А.Г.Харченком, П.Ю.Романенком, І.А.Нікітиним, Г.П.Соколовським, Л.П.Абрамовою, І.А.Хижею, розташування двох рядів проникних вертикальних стінок з суцільними щитами в області урізу води або без них значно збільшувало різницю між висотою відбитої та прохідної хвилі за цю конструкцію.

Встановлено, що найбільші розмиви та намити піщаного ґрунту спостерігалися перед проникними вертикальними стінками, а позаду стінок вони були у (1, 5 ... 2) рази меншими. Між щілинами проникних вертикальних стінок, незалежно від форми їх поперечного перерізу, спостерігалися вихрові та струменеві течії, інтенсивність яких збільшувалася для опор з гострими боковими гранями.

Дослідження В.А.Воскобійника, О.А.Воскобойника, А.С.Корольової, А.Г.Харченка показали, що залежно від режимів хвильового руху конструкції та проникності хвилеломів перед щілинними стінками формується інтенсивний хвильовий рух, а за стінками висоти хвиль значно менші, ніж перед ними. При цьому на хвильовій поверхні в різні часові інтервали спостерігалися набігаючі, відбиті, стоячі хвилі та хвилі, що проходили через щілинні стінки. Хвилі, які взаємодіяли з проникною стінкою, генерували хвильові тиски на обтічній поверхні хвилелому та знакозмінні навантаження на вертикальну стінку.

В.А.Воскобійником, О.А.Воскобойником, А.В.Воскобійником визначено, що спектральні щільності потужності пульсацій хвильового тиску мають найбільші значення перед фронтальною поверхнею проникних вертикальних стінок і перед моделлю перетворювача хвильової енергії, де прийдешня хвиля взаємодіє зі стінкою, утворюючи відбиту хвилю. Найменші рівні пульсацій тиску фіксувалися на відстані однієї довжини хвилі перед суцільною вертикальною стінкою. З наближенням до фронтальної стінки інтенсивність поля пульсацій тиску збільшується в області високих частот. Цей діапазон спектральних рівнів обумовлений дією високочастотних дрібномасштабних джерел тиску, якими є дрібномасштабні складові хвильового руху, що генеруються взаємодією прийдешньої хвилі з суцільною стінкою.

Результати досліджень показали, що висота проникної хвилі збільшується зі збільшенням проникності стінки, особливо зі збільшенням частоти хвилі або зменшенням її

довжини чи періоду. Зі зменшенням проникності вертикальної стінки та збільшенням крутизни початкової хвилі висота відбитої хвилі збільшувалась. Зі зменшенням проникності вертикальної стінки висота проникної хвилі також зменшувалась, але зростала зі збільшенням крутизни початкової хвилі.

В.А.Воскобійником, О.А.Воскобойником, А.В.Воскобійником встановлено, що коефіцієнт відбиття хвилі збільшився зі зменшенням проникності вертикальної стінки та крутизни початкової хвилі. Коефіцієнт проникнення хвилі демонстрував протилежну тенденцію. Коефіцієнт дисипації енергії гравітаційної хвилі C_E зменшувався зі збільшенням проникності вертикальної стінки, але для хвиль зі значною кривизною $h_i/H > 0,038$ спостерігалось зменшення коефіцієнта дисипації енергії хвилі для стінок з малою проникністю та поява його екстремальних значень. При цьому максимуми коефіцієнта дисипації енергії хвилі реєструвались в умовах збільшення проникності вертикальної стінки та збільшення крутизни початкової хвилі.

Результати досліджень під керівництвом В.А.Воскобійника показали, що висоти відбитої хвилі найвищі для опори квадратного поперечного перерізу, розташованої площинною назустріч хвилі, а найменші – для циліндрів колового поперечного перерізу. Висоти пройдені хвилі демонстрували протилежні тенденції. Коефіцієнти дисипації енергії хвиль виявились найвищими для проникних вертикальних стінок з опорами квадратного поперечного перерізу, розташованими площиною назустріч хвилі, а найменшими – для опор колового поперечного перерізу.

Таким чином, доведено перспективність запропонованих заходів вибору параметрів перетворювачів хвильової енергії типу осцилюючого стовпа води на основі математичного моделювання конкретних конструкцій та продовження досліджень, пов'язаних із визначенням механізмів трансформації хвильової енергії та підвищення ефективності установок для отримання екологічно чистої енергії.

Використання енергії хвиль шляхом перетворення її на електричну залежить від ефективності перетворювачів хвильової енергії, які, на жаль піддаються негативному впливу морських факторів. Багато конструктивних недоліків установок можна усунути на етапі конструювання та випробування перетворювачів за допомогою чисельних моделей приладів із застосуванням гідродинамічної теорії поширення та взаємодії хвиль з морськими спорудами.

Б.М.Островерхом, І.М.Горбань, С.В.Масюком, А.С.Корольовою, Л.С.Потапенко розглянуто використання можливостей сучасних обчислювальних методів гідродинаміки для визначення впливу деяких конструктивних факторів перетворювачів хвильової енергії. Результати чисельних досліджень показали, що за умови розташування у хвильовому потоці зануреного хвилелому зі встановленим на гребні перетворювачем відбувається зміна швидкостей течії та тиску у камері перетворювача, яка впливає на ефективність механізму відбору енергії. Додаткові переваги виникають внаслідок впровадження комплексної конструкції з функціями захисту берегових споруд, інших установок перетворення відновлювальної енергії та електропостачання. Отримані результати унаочнили якісний показник впливу конструктивних факторів перетворювача типу осциляції водяного стовпа. У результаті проведення чисельних експериментів з допомогою комп'ютерної си-

стеми *CFD REEF3D* запропоновано заходи щодо вибору параметрів перетворювачів на основі математичного моделювання конкретних конструкцій.

Хвильова біогідродинаміка серцево-судинної системи

І.Т.Селезовим були запропоновані нові моделі поширення пульсових хвиль тиску в кровоносних судинах з неоднорідностями типу стенозів і стиків судин з різними геометричними та фізичними властивостями. І.Т.Селезовим, О.В.Авраменко зроблено теоретичний аналіз впливу стику кровоносних судин та їх звуження на поширення пульсової хвилі тиску.

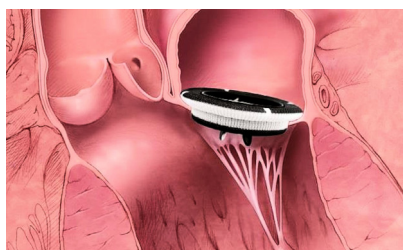
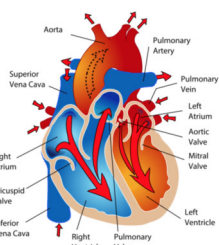
Ці результати мають безпосереднє відношення до імплантації донорських і штучних органів, включаючи вставки в артерії та стенти, оскільки в усіх цих випадках неминуче з'єднуються судини з різними властивостями. Урахування впливу стику судин на надійність анастомозу під час проходження пульсового тиску дуже важлива, оскільки існує можливість руйнування судини в результаті розриву анастомозу через великі товщинозсувні напруження.

Проведено аналіз звуження кровоносної судини на основі простої гідравлічної моделі Каро, в якій враховуються тільки окружні напруження, що дають основний вклад у перистальтичні рухи кровоносної судини. Показано, що при зменшенні площі живого поперечного перерізу судини до 50% енергетичні витрати серця на подолання звуження доволі незначні, а при подальшому зменшенні площі прохідного перерізу їх залежність стає сильно нелінійною й відбувається різке збільшення енергетичних витрат. Також визначено вплив стенозу та фізичної нелінійності матеріалу стінки судини на поширення пульсової хвилі.

І.Т.Селезовим, О.В.Авраменко проаналізовано вплив стику кровоносних судин на основі узагальненої моделі. Розглянуто задачу поширення імпульсу в кусково-постійній судині, яка складається з двох ідеально склеєних судин різних товщин і радіусів. Осесиметричні рухи оболонок описувались рівняннями теорії оболонок Кірхгофа–Лява, а рух крові задавався усередненими по поперечному перерізу функціями. У зв'язку з розглядом перистальтичних деформацій стисливість рідини не враховувалась. В'язкість не враховувалась, оскільки її вплив майже не проявляється в короткотривалий інтервал проходження стику пульсовою хвилею. Сформульовано початково-крайову задачу для імпульсу тиску (систола–діастола), який досягає стику та породжує відбиту та прохідну хвилі. Задачу розв'язано за допомогою перетворення Лапласа по часу з подальшим числовим оберненням.

З урахуванням попередніх теоретичних напрацювань, В.А.Воскобійником, О.А.Воскобойником розроблено методи та створено обладнання для гідроакустичної діагностики роботи двопелюсткового механічного клапана серця фірми Sorin biomedica в Мікролабораторії технічного університету Politecnico di Milano (Італія) за грантом EUMLS (EU-Ukrainian Mathematicians for Life Sciences) – grant agreement PIRSES-GA-2011-295164-EUMLS – under the IRSES (Marie Curie International Research Staff Exchange Scheme) в рамках частини PEOPLE Сьомої рамкової програми ЄС (2012–2016).

Надалі В.А.Воскобійником, О.А.Воскобойником, Л.М.Терещенко проведено експериментальні дослідження та отримано діагностичні ознаки особливостей роботи двопелюсткового механічного клапана серця за грантом EU-financed project AMMODIT (Approximation Methods for Molecular Modelling and Diagnosis Tools) – project reference: 645672, funded under: H2020-EU.1.3.3 – under the MSCA-RISE-2014 (Marie Skłodowska-Curie Research and Innovation Staff) у рамках програми Horizon 2020. (2015–2019). Зокрема, розроблено та створено експериментальні стенди, вимірювальну апаратура, засоби обробки та аналізу експериментальних даних, макети діагностичного обладнання з контролю роботи двопелюсткового механічного клапана серця фірми Sorin biomedica в Мікролабораторії технічного університету Politecnico di Milano (Італія) та в госпіталі Sacco (Мілан, Італія).



Анатомія серця людини та двопелюстковий механічний протез мітрального клапана фірми Sorin biomedica (Італія)

тиску, гідродинамічного шуму поблизу мітрального клапану та вібрацій моделей лівого шлуночка та лівого передсердя були виконані з визначенням статистичних моментів різних порядків.

В.А.Воскобійником, О.А.Воскобойником отримано результати експериментальних досліджень гідродинамічного шуму, генерованого струменевою течією через механічний двопелюстковий протез мітрального клапана італійської компанії Sorin. Фізичне моделювання проведено у лабораторних умовах на моделі камери лівого передсердя та камери лівого шлуночка серця. Гідродинамічний шум течії через штучний двопелюстковий мітральний клапан збільшувався зі збільшенням витрати рідини. Виявлено, що найбільша інтенсивність гідродинамічного шуму та його спектральних складових спостерігалася поблизу центрального струменя двопелюсткового мітрального клапана. Результати досліджень показали, що гідроакустична діагностика стану роботи механічного двопелюсткового клапана серця може бути ефективним засобом діагностування тромбоутворення його на пелюстках.

Вихрова та струмене-ва течії нижче за потоком від протезу серцевого клапана – нелінійні випадкові процеси. Вони аналізуються за допомогою методів математичної статистики й теорії ймовірності. Обробка та аналіз результатів вимірювань полів пульсацій

Гідродинаміка судна

Проблеми гідродинаміки судна займали важливе місце у відділі протягом всього його існування. Експериментальні дослідження пов'язані, насамперед, з іменами П.Г.Авраменка, В.І.Корольова, М.В.Шайбо, Л.І.Янковського. Ними отримані важливі результа-

ти стосовно динаміки судна в умовах складного фарватеру та на мілкій воді, поліпшення пропульсивних характеристик суден в умовах спокійної води і на хвилюванні.

Завдяки стрімкому розвитку комп'ютерних технологій, дослідження в цій області у відділі з початку 2000-их рр. базувалися переважно на чисельному моделюванні процесів, які генеруються плаваючим тілом. Основні результати пов'язані тут з роботами С.В.Масюка – вони стосуються динаміки судна, яке рухається в умовах складного фарватеру та на мілкій воді. На основі методу граничних елементів побудовано тривимірну чисельну схему для розрахунку інерційних гідродинамічних навантажень, які діють на рухоме тіло в обмеженій області. Її перевагою перед іншими підходами є використання неструктурованої сітки, яке дозволило значно поліпшити точність дискретної апроксимації.

У напрямку чисельного моделювання отримано важливі результати щодо динаміки судна в умовах складного фарватеру та на мілкій воді:

- описано гідродинамічну взаємодію між двома суднами в каналі; отримано залежності сил та моментів від розмірів суден, напрямку руху, відстані між ними та співвідношення швидкостей; показано, що при розходженні суден динамічні навантаження є значно вищими, ніж коли вони рухаються в одному напрямку; при взаємному русі двох суден з різними швидкостями більші гідродинамічна сила та момент діють на судно, що рухається повільніше; коли судно проходить повз таке саме пришвартоване судно, то більших навантажень зазнає стояче судно; зі зменшенням глибини води в акваторії гідродинамічні сили та моменти, які діють на судно, істотно зростають;
- визначено сили та моменти, які діють на судно при його проходженні поблизу берегової споруди в умовах течії; показано, що в умовах обмеженого фарватеру зустрічна течія викликає багатократне збільшення сил і моментів, які діють на судно поблизу споруди; зустрічна течія є небезпечнішою за попутну;
- побудовано тривимірну чисельну схему для визначення хвильового опору судна в каналах різного поперечного перерізу; на її основі досліджено генерацію корабельних хвиль; отримано, що одиночна хвиля (солітон) при критичному числі Фруда утворюється лише в прямокутному каналі, а найбільша амплітуда носової хвилі спостерігається біля стінок трапецієвидного каналу та у мілкій частині полігонального каналу.

Публікації відділу

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень співробітниками відділу опубліковано понад 1500 робіт у монографіях, збірниках, періодичних виданнях, матеріалах наукових симпозіумів, конференцій і семінарів. Серед них можна відзначити низку публікацій, які вийшли з друку в передових наукових виданнях, індексованих у наукометричних реферативних базах даних Scopus та Web of Science.

Бібліографія

- [1] Conditions of wave propagation in a semiinfinite three-layer hydrodynamic system with rigid lid / Avramenko O. V., Naradovyi V. V., Lunyova M. V., and Selezov I. T. // *Journal of Mathematical Sciences*. 2020. Vol. 247, no. 1. P. 173–190.
- [2] Avramenko O. V., Naradovyi V. V., Selezov I. T. Conditions of wave propagation in a two-layer liquid with free surface // *Journal of Mathematical Sciences*. 2015. Vol. 212, no. 2. P. 131–141.
- [3] Avramenko O. V., Naradovyi V. V., Selezov I. T. Energy of motion of internal and surface waves in a two-layer hydrodynamic system // *Journal of Mathematical Sciences*. 2018. Vol. 229, no. 3. P. 241–252.
- [4] Basovsky V. G., Gorban I. M., Khomenko O. V. Modification of hydrodynamic and acoustic fields generated by a cavity with fluid suction // *Modern Mathematics and Mechanics*. Springer International Publishing, 2018. P. 137–158.
- [5] Gorban I. M. A numerical study of solitary wave interactions with a bottom step // *Continuous and Distributed Systems II*. Springer International Publishing, 2015. P. 369–387.
- [6] Assessment of uncertainties and errors in post-chernobyl dosimetry / Drozdovitch V., Masiuk S., Kryuchkov V., Minenko V., Chizhov K., Chepurny M., Kukhta T., Golovanov I., Bakhanova E., and Chumak V. // *Radiation Research*. 2023. Vol. 199, no. 5.
- [7] Gorban I. Application of the model of trapped vortices to the control of flow around a bridge pier // *Journal of Physics: Conference Series*. 2024. Vol. 2899, no. 1. P. 012015.
- [8] Gorban I. M., Khomenko O. V. Flow control near a square prism with the help of frontal flat plates // *Advances in Dynamical Systems and Control*. Springer International Publishing, 2016. P. 327–350.
- [9] Gorban I. M., Lebid O. G. Numerical modeling of the wing aerodynamics at angle-of-attack at low Reynolds numbers // *Modern Mathematics and Mechanics*. Springer International Publishing, 2018. P. 159–179.
- [10] Modeling the evolution of a propagating signal from input to output with total absorption / Kryvonos I. G., Selezov I. T., Khimich A. N., and Baranov A. Y. // *Cybernetics and Systems Analysis*. 2016. Vol. 52, no. 1. P. 46–51.
- [11] Thyroid doses for the Chornobyl tissue bank: improved estimates based on revised methodology and individual residence and diet history / Masiuk S., Chepurny M., Buderatska V., Ivanova O., Boiko Z., Zhadan N., Chornovol H., Bolgov M., Shpak V., Tronko M., Cahoon E. K., Chanock S. J., Bogdanova T., Morton L. M., and Drozdovitch V. // *Radiation and Environmental Biophysics*. 2024. Vol. 64, no. 1. P. 85–98.

- [12] Assessment of internal exposure to ^{131}I and short-lived radioiodine isotopes and associated uncertainties in the ukrainian cohort of persons exposed in utero / Masiuk S., Chepurny M., Buderatska V., Ivanova O., Boiko Z., Zhadan N., Hatch M., Cahoon E. K., Zamotayeva G., Shpak V., Tronko M., and Drozdovitch V. // *Journal of Radiation Research*. 2022. Vol. 63, no. 3. P. 364–377.
- [13] Exposure to the thyroid from intake of radioiodine isotopes after the Chornobyl accident. Report I: revised doses and associated uncertainties for the Ukrainian-American cohort / Masiuk S., Chepurny M., Buderatska V., Ivanova O., Boiko Z., Zhadan N., Mabuchi K., Cahoon E. K., Little M. P., Kukush A., Bogdanova T., Shpak V., Zamotayeva G., Tronko M., and Drozdovitch V. // *Radiation Research*. 2022. Vol. 199, no. 1.
- [14] Nonlinear vibrations in homogeneous nonprismatic Timoshenko cantilevers / Navadeh N., Sareh P., Basovsky V., Gorban I., and Fallah A. S. // *Journal of Computational and Nonlinear Dynamics*. 2021. Vol. 16, no. 10.
- [15] Dam failure model and its influence on the bridge construction / Onishchenko A., Koretskyi A., Bashkevych I., Ostroverkh B., and Bieliatynskiy A. // International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2019. Springer International Publishing, 2020. P. 229–237.
- [16] Establishing patterns of change in the coefficients of reflection, transmission, and dissipation of wave energy depending on parameters of a permeable vertical wall / Onyshchenko A., Kovalchuk V., Voskoboinick V., Voskobiinyk A., Aksonov S., Trudenko D., and Hrevtsov S. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. Vol. 4, no. 5 (130). P. 45–56.
- [17] Devising a procedure to calculate and analyze parameters for passing the flood and breakthrough wave taking into consideration the topographical and hydraulic riverbed irregularities / Onyshchenko A., Ostroverkh B., Potapenko L., Kovalchuk V., Tokin O., Harkusha M., Bashkevych I., Koretskyi A., Khvoshchynska N., and Rolinska I. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 1, no. 10(115). P. 6–16.
- [18] Selezov I. T. Development and application of the Cauchy–Poisson method to layer elastodynamics and the Timoshenko equation // *Cybernetics and Systems Analysis*. 2018. Vol. 54, no. 3. P. 434–442.
- [19] Selezov I. T. Diffraction of elastic waves by a sphere in the semi-bounded region // *Cybernetics and Systems Analysis*. 2019. Vol. 55, no. 3. P. 393–399.
- [20] Selezov I. T. Evolution equation of propagation of surface gravity waves in the presence of bottom excitation // *Journal of Mathematical Sciences*. 2010. Vol. 165, no. 2. P. 274–280.

- [21] Selezov I. T. Generalization of the Cauchy–Poisson method and the construction of Timoshenko-type equations // *Journal of Mathematical Sciences*. 2019. Vol. 243, no. 1. P. 63–72.
- [22] Selezov I. Generalization and application of the Cauchy–Poisson method to elastodynamics of a layer and the Timoshenko equation // *Mathematical Modeling and Computing*. 2018. Vol. 5, no. 1. P. 88–97.
- [23] Selezov I. T. Inverse diffraction problem of determining the properties of a plasma object // *Cybernetics and Systems Analysis*. 2019. Vol. 55, no. 5. P. 778–784.
- [24] Selezov I. T. On construction of the refined equations of vibration of elastic plates // *Journal of Mathematical Sciences*. 2014. Vol. 203, no. 1. P. 123–133.
- [25] Selezov I. T. On diagnostics of plasma cylindrical density by wave diffracted field // *Magnetohydrodynamics*. 2019. Vol. 55, no. 4. P. 389–396.
- [26] Selezov I. T. On the development of the Timoshenko theory of transversal oscillations of elastic rods // *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2016. Vol. 45, no. 1. P. 13–20.
- [27] Selezov I. T. Propagation of nonlinear surface gravity waves on the basis of a model degenerated in the parameter of dispersion // *Journal of Mathematical Sciences*. 2016. Vol. 220, no. 3. P. 334–340.
- [28] Nonlinear interaction of internal and surface gravity waves in a two-layer fluid with free surface / Selezov I. T., Avramenko O. V., Gurtovyi Y. V., and Naradovyi V. V. // *Journal of Mathematical Sciences*. 2010. Vol. 168, no. 4. P. 590–602.
- [29] Selezov I. T., Kryvonos Y. G. Modeling the effect of magnetic field on wave propagation in ferrofluids and elastic bodies with void fraction // *Cybernetics and Systems Analysis*. 2013. Vol. 49, no. 4. P. 569–577.
- [30] Selezov I. T., Kryvonos I. G. Modeling medicine propagation in tissue: generalized statement // *Cybernetics and Systems Analysis*. 2017. Vol. 53, no. 4. P. 535–542.
- [31] Selezov I. T., Kryvonos I. G. Modeling of pressure pulse waves in bypass grafting // *Cybernetics and Systems Analysis*. 2017. Vol. 53, no. 1. P. 12–20.
- [32] Selezov I. T., Kryvonos I. G. Modeling of wave propagation in degenerate hyperbolic systems // *Cybernetics and Systems Analysis*. 2015. Vol. 51, no. 1. P. 105–115.
- [33] Selezov I. T., Kryvonos Y. G., Gandzha I. S. Analytical and numerical solutions to the wave diffraction problems // *Wave Propagation and Diffraction*. Springer Singapore, 2017. P. 113–162.

[34]

- [35] Selezov I. T., Kryvonos Y. G., Gandzha I. S. Wave propagation and diffraction: mathematical methods and applications. Springer Singapore, 2018.
- [36] Selezov I. T., Kuznetsov V. N., Chernikov D. O. Generation of surface gravity waves by bottom time-repetitive pulses // *Journal of Mathematical Sciences*. 2010. Vol. 171, no. 5. P. 596–602.
- [37] Sheptilevskiy A. V., Kosenkov V. M., Selezov I. T. Three-dimensional model of a hydroelastic system bounded by a spherical shell // *Journal of Mathematical Sciences*. 2013. Vol. 190, no. 6. P. 823–834.
- [38] Sheptilevski O. V., Selezov I. T. Stress State of a Partially Fixed Spherical Shell Filled with Liquid and Subjected to Impulsive Excitation // *Journal of Mathematical Sciences*. 2017. Vol. 226, no. 1. P. 79–87.
- [39] Physical and mathematical modeling of permeable breakwaters / Tereshchenko L., Khomicky V., Abramova L., Kudybyn I., Nikitin I., and Tereshchenko I. // *Advances in Computer Science for Engineering and Education*. Springer International Publishing, 2018. P. 3–12.
- [40] Feature of the vortex and the jet flows around and inside the three-row pile group / Voskoboinyk A., Voskoboinick V., Voskoboinyk O., Tereshchenko L., and Khizha I. // *Scour and Erosion*. CRC Press. 2016. P. 897–903.
- [41] Interaction of group of bridge piers on scour / Voskoboinick A., Voskoboinick V., Turick V., Voskoboinyk O., Cherny D., and Tereshchenko L. // *Advances in Computer Science for Engineering and Education III*. Springer International Publishing, 2020. P. 3–17.
- [42] Junction flow around cylinder group on flat plate / Voskoboinick V. A., Gorban I. M., Voskoboinick A. A., Tereshchenko L. N., and Voskoboinick A. V. // *Contemporary Approaches and Methods in Fundamental Mathematics and Mechanics*. Springer International Publishing, 2020. P. 35–50.
- [43] Wave loads on protective dam of the marine channel of the Danube–Black Sea / Voskoboinick V., Khomitsky V., Voskoboinyk O., Tereshchenko L., and Voskoboinick A. // *Journal of Hydro-environment Research*. 2021. Vol. 35. P. 1–12.
- [44] Voskoboinick V., Kornev N., Turnow J. Study of near wall coherent flow structures on dimpled surfaces using unsteady pressure measurements // *Flow, Turbulence and Combustion*. 2012. Vol. 90, no. 4. P. 709–722.
- [45] Junction flow inside and around three-row cylindrical group on rigid flat surface / Voskoboinick V., Onyshchenko A., Voskoboinyk O., Makarenkova A., and Voskobiinyk A. // *Heliyon*. 2022. Vol. 8, no. 12. P. e12595.

- [46] Influence of the deep spherical dimple on the pressure field under the turbulent boundary layer / Voskoboinick V. A., Turick V. N., Voskoboinyk O. A., Voskoboinick A. V., and Tereshchenko I. A. // *Advances in Computer Science for Engineering and Education*. Springer International Publishing, 2018. P. 23–32.
- [47] Pressure fluctuations on the scour surface before prismatic pier / Voskoboinick V., Voskoboinick A., Areshkovych O., and Voskoboinyk O. // *Scour and Erosion*. CRC Press. 2016.
- [48] Noise of open and semi-closed bileaflet prosthetic mitral valve / Voskoboinick V. A., Voskoboinick A. V., Stepanovitch V., Redaelli A., Lucherini F., Fiore G. B., Siryk S., and Chertov O. // *International Journal of Fluid Mechanics Research*. 2019. Vol. 46, no. 4. P. 337–348.
- [49] Space and time characteristics of the velocity and pressure fields of the fluid flow inside a hemispherical dimple generator of vortices / Voskoboinik V. A., Voskoboinik A. A., Turik V. N., and Voskoboinik A. V. // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2020. Vol. 93, no. 5. P. 1205–1220.
- [50] Hydrodynamic noise of pulsating jets through bileaflet mechanical mitral valve / Voskoboinick V., Voskoboinyk O., Chertov O., Voskoboinick A., and Tereshchenko L. // *BioMed Research International*. 2020. Vol. 2020, no. 1.
- [51] Selezov I. T., Kryvonos I. G., Moskovkin V. M. Hopf bifurcation in coastal ecosystems // *Cybernetics and Systems Analysis*. 2016. Vol. 52, no. 4. P. 546–554.

ВІДДІЛ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ АКУСТИКИ

Створення відділу гідродинамічної акустики було в інституті в 1981 році було обумовлено формуванням нових наукових напрямків, пов'язаних із розв'язанням важливих прикладних задач гідроакустики. Наукові дослідження в ньому спрямовано на розробку наукового підґрунтя аналізу та керування процесами поширення та взаємодії хвиль у складних пружно-рідинних системах. Створення відділу дало змогу сфокусуватись на дослідженнях з гідроакустики, а залучення нових співробітників дозволило значно розширити його тематику. Ініціатором створення й першим керівником відділу був академік НАН України, докт. фіз.-мат. наук, проф. В.Т.Грінченко. У 2016 році з метою оптимізації структури інституту відділ гідродинамічної акустики було об'єднано зі спорідненим за тематикою досліджень відділом динаміки пружних систем в рідині. З цього часу оновленим відділом керує докт. фіз.-мат. наук, проф. Н.С.Городецька.

Наталія Сергіївна Городецька народилася в 1958 році в м. Києві. У 1981 році вона з відзнакою закінчила Київський політехнічний інститут. У 1982 вступила до аспірантури Інституту гідромеханіки АН України за спеціальністю механіка деформівного твердого тіла, яку закінчила в 1985 році. Після цього працювала в інституті на посадах молодшого наукового співробітника, наукового співробітника, старшого наукового співробітника, ученого секретаря, провідного наукового співробітника, завідувача відділу, заступника директора з наукової роботи. У 1986 році захистила кандидатську дисертацію зі спеціальності механіка деформівного твердого тіла, а в 1994 році отримала вчене звання старшого наукового співробітника за цією ж спеціальністю. У 2002 році Н.С.Городецька захистила докторську дисертаційну роботу зі спеціальності акустика, в 2004 році отримала вчене звання доцента по кафедрі вищої та обчислювальної математики, а в 2013 році – професора за спеціальністю акустика.



Наукова діяльність Н.С.Городецької пов'язана з розвитком таких напрямків як динамічні задачі теорії пружності, хвильові процеси в неоднорідних хвилевідних структурах в акустичному, пружному та пористо-пружному середовищах, медична акустика. Отримані нею наукові результати опубліковані в 140 наукових працях, серед яких 2 авторських свідоцтва, 1 навчально-методичний посібник, 1 колективна монографія. Її внесок у розвиток механіки відзначено премією ім.О.М.Динника НАН України.

Дослідницька стратегія відділу з моменту його створення й дотепер полягає в проведенні комплексних фундаментальних та прикладних досліджень з вивчення акустичних процесів відповідно до сучасних напрямків розвитку гідродинамічної акустики. Серед них можна виділити три основні розділи. Перший з них – акустика рухомих середовищ, у рамках якого основна увага приділяється проблемам впливу потоку на поширення звуку. Другий розділ спрямовано на вивчення генерації звуку нестационарним потоком стисливої рідини – тут дослідження сконцентровано на встановленні та аналізі найбільш суттєвих гідродинамічних джерел звуку. Останній розділ пов'язано з генерацією течії рідини при поширенні звуку в ній. Характеризуючи процес взаємодії звуку з потоком зазначимо, що її кількісним показником є величина енергії, якою обмінюються ці два типи руху. З практичного погляду, лише незначна частина енергії потоку трансформується в енергію звукового поля. Так само, мала частка енергії звукового поля перетворюється на згенерований ним потік. Така різномасштабність характеристик вимагає вирішення фундаментальних проблем, обумовлених побудовою адекватних математичних моделей, а також розробки чисельних методів розв'язання поставлених граничних задач, які б уможлилювали проведення кількісних оцінок енергетичних і просторових характеристик звукових полів. Для чисельного моделювання генерації звуку та поширення хвиль застосовуються чисельно-аналітичні, прямі та гібридні методи, алгоритмічна реалізація яких часто вимагає використання потужних кластерних комп'ютерів і технології паралельних обчислень. Окремий напрямок, який активно розвивається у відділі, пов'язаний з медичною акустикою. Основні завдання, які вирішуються під час проведення цих досліджень – забезпечення якісної реєстрації звуків життєдіяльності людини; фільтрація, виділення та аналіз корисних сигналів на тлі зовнішніх шумів; розробка методик цифрової обробки та візуалізації звуків дихання та серця задля виявлення значущих діагностичних ознак.

Окрім того, у відділі на основі методів механіки деформівного твердого тіла та акустики розвивається напрямок досліджень, пов'язаний з вивченням якісних особливостей процесу поширення хвиль у пружних та поро-пружних тілах. Математичні проблеми, які виникають при розв'язанні відповідних граничних задач динамічної теорії пружності, здебільшого обумовлені ефектом трансформації типу хвильового руху при відбитті від межі. Саме цей ефект, який не має аналогів у полях іншої фізичної природи, спричиняє виникнення феномену локалізації хвильових рухів в околі межових поверхонь.

Після об'єднання з відділом динаміки пружних систем в рідині відділ гідродинамічної акустики успадкував напрямок досліджень щодо динамічної контактної взаємодії

будівельних фундаментних конструкцій з ґрунтовими масивами ускладненої структури – шаруватістю, водонасиченістю тощо.

Акценти в науковій тематиці відділу завжди визначались насамперед загальними тенденціями розвитку гідроакустики, тому її еволюцію доцільно розділити два періоди. З 1981 по 1991 рік дослідження були практично повністю зорієнтовані на розв’язання важливих проблем оборонного комплексу. Протягом цього десятиріччя за завданнями директивних органів виконувались великі фундаментальні та прикладні роботи щодо вивчення процесів генерації гідродинамічних шумів з метою зниження рівня шумів гідроакустичних станцій. Отримані результати були впроваджені в конкретні технічні засоби, що дозволяло знижувати рівень власних шумів на величину до 30 дБ (у 30 разів). За цей цикл робіт колективу виконавців було присуджено премію імені М.К.Янгеля (В.Т.Грінченко, А.П.Макаренков).

За роки незалежності України направленість досліджень змінилась відповідно до нових потреб розвитку народного господарства. На цьому етапі увагу було зосереджено на вирішенні нагальних наукових проблем, стосовно розробки методів аналізу взаємодії акустичних гідродинамічних полів з метою створення нових технологій в медицині та екології.

На сьогодні основними напрямками наукових досліджень відділу є:

- генерація звукового поля потоком рідини;
- вивчення закономірностей взаємодії звуку з деформівними елементами в рідині;
- моделювання процесів генерації та поширення звуків дихання й серця, біоакустика;
- дослідження коливань і поширення звуку в пружних і поро-пружних, газо- та водонасичених середовищах.

Відповідно до виділених напрямків відділ структурно поділяється на дві наукові групи:

- *моделювання процесів генерації звуку потоками* (керівник – академік НАН України В.Т.Грінченко, д.ф.-м.н. І.В.Вовк (по 19.10.22), д.ф.-м.н., член-кор. НАНУ А.О.Борисюк, д.ф.-м.н. В.С.Малюга (по 01.07.22), к.ф.-м.н. В.Н.Олійник, к.ф.-м.н. О.Г.Рудницький, к.ф.-м.н. А.А.Макаренкова, к.ф.-м.н. В.Г.Басовський;
- *проблеми коливань та поширення хвиль в пружних та водонасичених середовищах* (керівник – д.ф.-м.н. Н.С.Городецька, д.т.н. О.А.Савицький, к.т.н. Б.М.Островерх (по 01.04.2020), к.ф.-м.н. Л.В.Ткаченко, к.ф.-м.н. Т.В.Соболь, к.ф.-м.н. І.В.Старовойт.

У 2022 році у відділі відбулась часткова переорієнтація тематики з її перенаправленням на цілі оборони та відновлення й розвитку повоєнної економіки. Слід відзначити,



*Група співробітників відділу гідродинамічної акустики, початок 2000-их рр.
(зліва направо): сидять – робітник-модельник Ю.В.Меламед, інж. Л.В.Ткаченко,
зав. відд. акад. НАНУ В.Т.Грінченко, д.ф.-м.н. Н.С.Городецька, к.ф.-м.н. П.В.Лук'янов;
стоять – інж. М.В.Сидорчук, к.т.н. В.В.Крижановський, к.ф.-м.н. О.Г.Рудницький,
к.ф.-м.н. В.Г.Басовський, к.т.н. А.П.Макаренко, н.с. М.О.Гнітецький,
інж. О.М.Кравченко, к.ф.-м.н. В.Н.Олійник*



*Група співробітників відділу динаміки пружних систем у рідині, 2010-ті рр.
(зліва направо): сидять – інж. М.І.Сідько, к.ф.-м.н. Т.В.Соболь,
зав. відд. д.ф.-м.н. Н.С.Городецька, інж. Т.К.Лісоченко;
стоять – д.т.н. О.А.Савицький, к.ф.м.-н. Т.Л.Рева,
інж. О.Р.Литвиненко, к.т.н. Б.М.Острроверх*

що всі теми відділу не лише мають фундаментально-теоретичне значення, але й відповідають нагальним потребам воєнного стану й відбудови країни. Саме тому, без зміни загального напрямку досліджень за темами на передній план винесено аспекти, пов'язані з вимогами воєнного та післявоєнного часу.

Зокрема, пропонується створення засобів і методів контролю стану здоров'я людини в польових умовах. Для виконання поставленої задачі роботи проводилися за двома напрямками. Насамперед удосконалено експериментальну базу досліджень, розширено модельний ряд пристроїв для оперативної реєстрації сигналів життєдіяльності організму людини. Створено прототип портативного двоканального апаратно-програмного комплексу для цифрової аускультатії нового покоління. Це дозволяє не лише підвищити оперативність реєстрації сигналів аускультатії по двох каналах одночасно, а й залучити до їх аналізу широкий набір кореляційних методик. На додачу до цього розроблено принципово нові алгоритми для швидкої обробки записів звуків дихання, фоно- та електрокардіограм, придатні для автоматичного розпізнавання широкої діапазони об'єктивних параметрів сигналу, які можуть служити діагностичними маркерами.

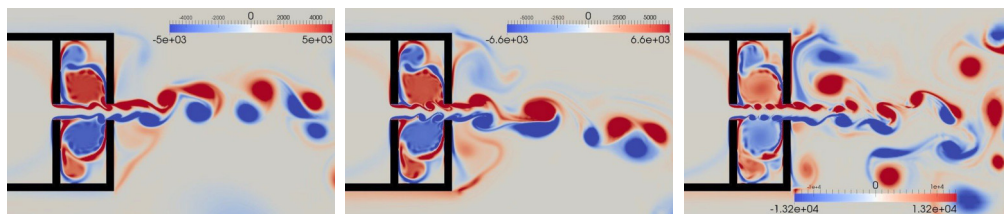
У відповідь на виклики воєнного стану, починаючи з 2022 року, у відділі велику увагу було зосереджена на науково-методичному забезпеченні проведення робіт з розмінування та інженерного підризу снарядів, що не розірвались. У цій ситуації критично важливий захист конструкцій об'єктів, які знаходяться поблизу епіцентру вибуху. Виходячи з цього, проводяться дослідження щодо моделювання різних типів сейсмовибухових хвиль, їхнього поширення та впливу на сейсмостійкість. Окрім того, для післявоєнної відбудови особливого значення набуває тематика, пов'язана з оцінкою поточного стану споруд задля встановлення можливості їх подальшої експлуатації. Виходячи з цього, у відділі розробляються неруйнівні акустичні методи контролю, які дозволять оцінити рівні пошкодження фундаментів і розробити рекомендації щодо їх ремонту та можливості подальшого використання. Для цього застосовуються спеціалізовані комп'ютерні програмні комплекси для оцінки деформацій ґрунтових основ під фундаментами споруд, що реконструюватимуться.

Основні напрямки діяльності відділу

Генерація звукового поля потоком рідини

У відділі значна увага приділяється вивченню процесу генерації звуку потоком, який набігає на тверді тіла. Актуальність цього класу задач зумовлена необхідністю достовірного оцінювання рівнів шумів аерогідродинамічної природи та розроблення методів їх зниження в авіаційній, ракетно-космічній, автомобілебудівній та в інших високотехнологічних галузях промисловості. Знання закономірностей перетворення механічної енергії течії на енергію акустичних хвиль важливе також для діагностування стану складних пружно-рідинних систем, зокрема, трубопроводів різного призначення.

У відділі розвиваються як експериментальні, так і чисельно-аналітичні методи вивчення динамічної взаємодії пружних елементів з потоком. Створено методи і засоби екс-

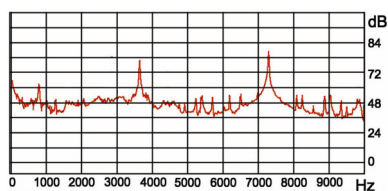


Поле завихреності (зліва направо):

$$V_1 = 0.9 \text{ м/с (Re = 3132)}; V_1 = 1.2 \text{ м/с (Re = 4176)}; V_1 = 2.4 \text{ м/с (Re = 8352)}$$

периментальних вимірювань силових і кінематичних характеристик потоку над поверхнею, що обтікається (А.П.Макаренков, Г.П.Виноградний).

Для кількісної оцінки характеристик акустичного поля, породженого взаємодією потоку з перешкодами, у відділі розвиваються два підходи. Перший з них – аналітично-чисельний метод розв’язування задач акустичного випромінювання локально збуреними течіями в прямих каналах із поперечними перерізами довільних (але незмінних по довжині) форм та площі з акустично жорсткими і акустично м’якими стінками, а також зі стінками змішаного типу за умови наявності в них відповідних збурювачів – локальних звужень (стенозів). У рамках цього методу знайдені поля аерогідродинімічних параметрів використовуються для опису джерел звуку, а для знаходження поля течії та акустичного поля, застосовуються методи функцій Гріна й нормальних мод (В.Т.Грінченко, А.О.Борисюк).



Спектр звукового сигналу в точці спостереження на відстані 3 м для випадку $V_1 = 1.2 \text{ м/с (Re = 4176)}$

значення джерел звуку. Після ідентифікації джерел звуку в гідродинамічно активній зоні досліджується поширення генерованих звукових хвиль у дальньому полі. Таким чином, повна нелінійна задача, яка описується рівняннями Нав’є–Стокса, розбивається на задачу про знаходження нелінійного джерела звуку та на лінійну задачу розрахунку звуку, який генерується цим джерелом. Перевага такого підходу полягає в тому, що для оцінювання звукового поля достатньо мати розв’язок нелінійних рівнянь у ближній зоні, а розв’язок у дальньому полі знаходиться за допомогою інтегральних методів (І.В.Вовк, В.С.Малюга).

У роботах В.С.Малюги гідродинамічна задача у разі малих чисел Маха й компактної області гідродинамічних джерел звуку для моделі в’язкої нестисливої рідини у двовимір-

Другий підхід базується на гібридних методах, які зводяться до розщеплення задачі на дві окремі проблеми – гідродинамічну та акустичну, – для розв’язання кожної з яких застосовується свій оптимальний метод. На першому етапі розв’язується гідродинамічна задача про течію середовища та описуються присутні в ній коливальні процеси, які й генерують звукове поле. Для цього використовуються класичні методи обчислювальної гідромеханіки, які дозволяють розв’язати задачу ви-

ній постановці було розв'язано методами прямого числового моделювання (DNS), а в тривимірній – методом LES. У цих дослідженнях детально розглянуто обтікання потоком нескінченного кругового циліндра та циліндра з плоским спліттером; набігання за-топленого струменя на гострий жорсткий клин; тривимірну задачу обтікання потоком сфери; рух рідини в плоских каналах зі стенозами, коли встановлено залежність основної частоти випромінювання звуку від швидкості потоку та геометричних параметрів стенозу. Для всіх цих задач було зроблено якісну оцінку звукового поля.

Одним з популярних гібридних підходів оцінювання генерації звуку тілами в потоці в'язкої рідини є акустична аналогія. Незважаючи на широке використання методів на її базі, основною проблемою сьогодні є узгодження окремих складових гібридної моделі. Зокрема, йдеться про узгодження розв'язку нелінійної задачі гідромеханіки для ближнього поля з розв'язком лінійної задачі поширення звуку. У рамках досліджень відділу розглянуто узгодження високоточного вихрового методу розв'язання двовимірних рівнянь Нав'є–Стокса з розв'язанням рівнянь акустичної аналогії Фоукс Вільямса – Хоукінгса в частотній області. Загальний план досліджень включав адаптацію вихрового методу для паралельних розрахунків двовимірних задач з інтерфейсом обміну даних MPI на кластері Інституту кібернетики НАНУ, а також дослідження генерації звукового поля двовимірними круговими канавками та квадратними циліндрами в потоці в'язкої рідини (В.Г.Басовський, І.М.Горбань).

Другий клас задач, розв'язаний гібридними методами, належить до комп'ютерного моделювання звукоутворення для різних режимів дозвукового обтікання крилового профілю. Гідродинамічне поле при обтіканні крилового профілю було проаналізовано за допомогою чисельного моделювання на основі вихрового методу. Такі обчислювальні схеми ґрунтуються на ідеї переходу в математичній моделі від природних змінних – тиску та швидкості – до іншої невідомої величини – завихреності. Перевага вихрових методів перед іншими схемами полягає в тому, що вони дозволяють виключити з рівнянь тиск. Це дозволяє уникнути розв'язання складної проблеми про вибір граничних умов на твердих межах. Окрім того, такий підхід характеризується адаптивністю, оскільки розглядаються лише локальні області потоку, зайняті завихреністю. При цьому зберігається можливість прямої фізичної інтерпретації результатів чисельного моделювання. Важливо також, що такі алгоритми мають внутрішню здатність до розпаралелювання. Розв'язок гідродинамічної задачі стає основою для побудови звукового поля, яке знаходять, розв'язуючи рівняння Фоукс Вільямса – Хоукінгса в частотній області. Це дає змогу точно врахувати двовимірність задачі (В.Г.Басовський, І.М.Горбань).

Проведено порівняльний аналіз напівемпіричних моделей для оцінки ефективності генерації звуку пружними пластинами, що збуджуються турбулентними потоками. Розкрито механізм формування активних зон випромінювання. Дано порівняння результатів з експериментальними даними (В.Т.Грінченко, А.О.Борисюк).

Ще один напрямок роботи відділу пов'язаний з вивченням взаємодії звуку з нестационарним) потоком рідини та обумовленого нею спотворення звукових сигналів. Процес взаємодії звуку й потоку супроводжується такими ефектами, як флуктуації параметрів акустичної хвилі й розсіювання звуку на неоднорідностях опромінюваної рі-

дини за густиною, температурою, швидкістю звуку. Це дозволяє використовувати акустичні сигнали як інструмент дистанційної неспотворювальної діагностики таких складних для вивчення об'єктів як анізотропна океанічна турбулентність і турбулентні сліди в температурно-стратифікованому середовищі. Зауважимо, що дуже часто такий метод вимірювань виявляється єдино можливим. Зокрема, це характерно для тих ситуацій, коли необхідно отримати інформацію про середовище у важкодоступних місцях з великими об'ємами за обмежений час. Це й стимулювало розвиток досліджень, спрямованих на розроблення неспотворювальних акустичних методів зондування турбулентних потоків.

Відновлення стану зондованого середовища за характеристиками зондувального сигналу призводить до обернених задач, характерною особливістю яких є математична некоректність. У рамках цього підходу було розроблено теоретичні моделі та експериментальні методики, які реалізують потенційні можливості методів дистанційних акустичних вимірювань випадково-неоднорідних середовищ, а також побудовано моделі, які пояснюють отримані експериментальні дані. Це дозволило розробити процедуру відновлення спектральних характеристик розвинених турбулентних потоків за амплітудними та фазовими флуктуаційними характеристиками акустичного сигналу зондування (В.Т.Грінченко, О.Г.Рудницький).

Ракетна акустика

2016 рік ознаменувався започаткуванням досліджень у новому для відділу напрямку – ракетній акустиці. У цей період до Інституту гідромеханіки НАН України звернулось по допомогу Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К.Янгеля», яке після спричиненого анексією Криму і війною на Донбасі розриву зв'язків з російськими суміжниками шукало нових партнерів для виконання ряду спеціальних тематик у рамках великого контракту з південнокорейською компанією Hanhwa Group, який тривав до 2020 року.

Газодинамічний шум ракетного двигуна

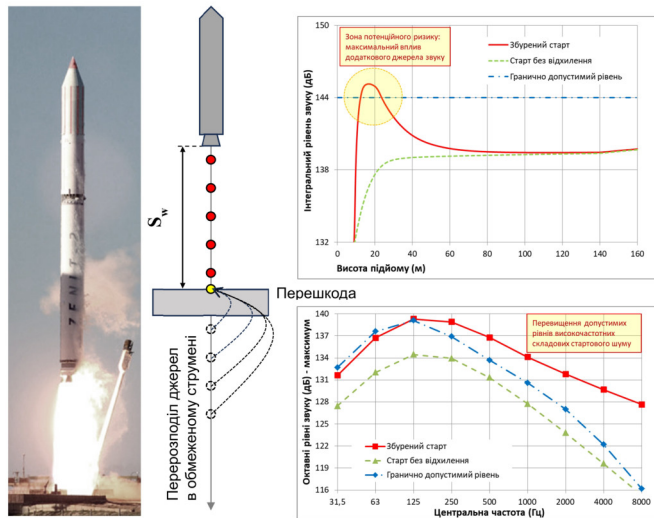
Спершу необхідно було оцінити рівні зовнішніх акустичних навантажень, які виникають в околі головної частини ракети-носія при її старті. Важливість цієї проблеми визначається тим, що реактивні двигуни космічних ракет належать до найпотужніших техногенних джерел звуку, здатних при перевищенні проектних порогових значень вивести з ладу апаратуру керування, пошкодити корисний вантаж, а то й призвести до руйнування конструктивних вузлів самої ракети. При цьому вимагалось розробити інженерну методику, яка б дозволяла проводити експрес-оцінювання акустичних навантажень без залучення суперкомп'ютерів, оминаючи числове моделювання процесу генерації звуку гарячим турбулентним надзвуковим реактивним струменем з характерними числами Рейнольдса понад 10^7 .

Відповіддю на ці виклики стало опанування фахівцями відділу світового досвіду інженерного моделювання частотно-просторових властивостей породжених надзвуковим струменем ракетного двигуна акустичних джерел газодинамічної природи. Такі методи

дозволяють «конструювати» акустичні властивості реактивного струменя на базі емпірично встановлених універсальних автомоделних залежностей, виходячи з обмеженого набору його інтегральних характеристик – тяги й параметрів струменя на зрізі сопла.

Спираючись на рекомендації засадничого документу NASA SP-8072, В.Т.Грінченко та В.Н.Олійник розробили оригінальну версію напівемпіричної методики оцінювання зовнішніх акустичних навантажень на базі методу дискретних джерел. Проведені модифікації дозволили наблизити оцінки загальних і октавних рівнів акустичних навантажень на корпус ракети до експериментальних даних і змодельовати акустичні ефекти, які супроводжують її зліт зі стартового комплексу, обладнаного закритим газовідвідним каналом.

Досягнутий успіх було розвинуто за рахунок розширення напівемпіричної схеми на випадок взаємодії реактивного струменя з перешкодами. Це стало результатом поглибленого розуміння особливостей зміни характеристик турбулентних акустичних джерел при натіканні струменя на жорстку поверхню під великими кутами атаки. На цій основі було розроблено ефективний алгоритм, який дозволяє прогно-



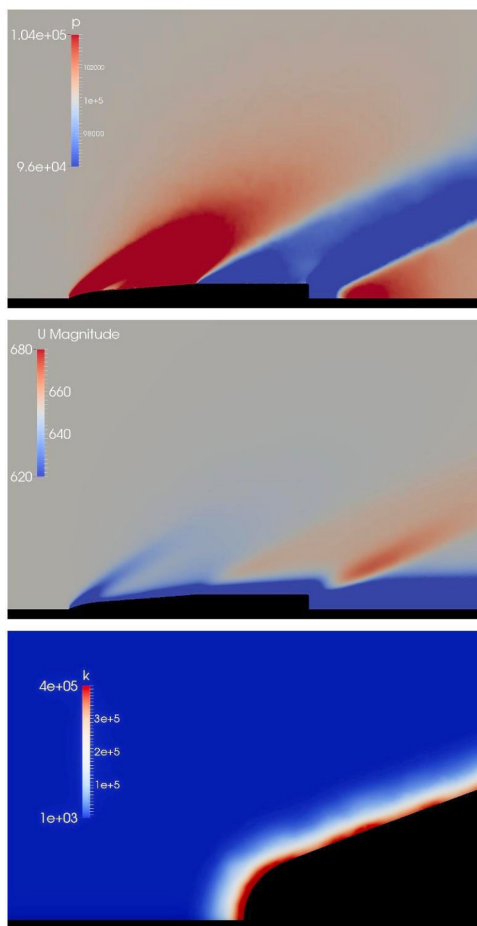
Результати моделювання стартових зовнішніх акустичних навантажень на головну частину ракети

зувати надлишкові рівні ракетних шумів, спричинені частковим виходом реактивного струменя на стартовий стіл (В.Н.Олійник). Нині згадана методика використовується проектно-розрахунковими підрозділами КБ «Південне» при моделюванні старту ракети в умовах компенсації бокових вітрових навантажень і проектуванні стартових споруд нестандартної конфігурації, включаючи надводні платформи.

Гібридна методика розрахунку поширення генерованого ракетним двигуном звуку з урахуванням дифракційних ефектів і стохастичної природи турбулентних ракетних шумів була запропонована І.В.Вовком у співпраці з В.Т.Маципуною (КНУ імені Шевченка). Цей підхід, в основу якого ліг добре розроблений математичний апарат методу часткових областей, відкриває шлях для коректного опису збуреного стартом ракети акустичного поля в приземному шарі атмосфери. У перспективі його застосування допоможе повніше оцінити ступінь акустичного впливу космодромів на стан навколишнього середовища як складової їхньої екологічної безпеки.

Аеродинамічні шуми обтікання

Якщо одразу після старту головну роль у формуванні акустичних навантажень корпусу ракети відіграє газодинамічний реактивний струмінь, то зі зростанням швидкості руху до звукової його внесок неухильно знижується – так проявляє себе ефект Допплера. На суб- і трансзвукових інтервалах атмосферного польоту, які відповідають максимальним значенням лобового динамічного напору, на передній план виходять аеродинамічні шуми, спричинені обтіканням головної частини ракети.



Поля тиску, швидкості та кінетичної енергії турбулентності при обтіканні корпусу ракети, яка рухається в атмосфері зі швидкістю 650 м/с

У моделюванні аеродинамічних акустичних навантажень також було досягнуто суттєвого прогресу. Найбільш вагомий внесок у розробці цієї проблеми належить В.С.Малюзі, який на базі методів комп'ютерної аеродинаміки розробив метод числового розрахунку пристінкових турбулентних пульсацій тиску на поверхні обтічника. Зокрема, для цього було застосовано підхід усереднення турбулентної течії за Рейнольдсом, алгоритмічно імплементований з використанням програмних бібліотек *OpenFOAM*. Зважаючи на значні обчислювальні затрати методу, тут було реалізовано схему паралельних обчислень з використанням інтерфейсу MPI, а самі розрахунки проводились на кластерному суперкомп'ютері СКІТ Інституту кібернетики НАН України.

В.Т.Грінченко та В.Н.Олійник, аналізуючи просторові масштаби вихрових структур, які беруть участь у формуванні псевдозвукових пристінкових пульсацій тиску на поверхні обтічника, розробили наближені інженерні методики оцінки шумів обтікання ракети й передбачили можливість ефективного проникнення генерованих ними акустичних навантажень під обтічник у трансзвуковому режимі польоту.

Сучасний етап співробітництва з ракетобудівною галуззю

У ході виконання науково-технічних робіт з ракетної акустики було розпочато формування технічних вимог для облаштування на базі КБ «Південне» спеціалізованого експериментального стенду для проведення натурних акустичних вимірювань шумів ракетного двигуна (В.Т.Грінченко, І.В.Вовк).

Нині відділ ГДА проводить дослідження, передбачені Планом спільної науково-дослідної діяльності ДП «КБ «Південне» і наукових установ НАН України. Так протягом 2022–2023 рр. було сформульовано рекомендації щодо зниження зовнішніх акустичних навантажень шляхом впорскування води в зону реактивного струменя, а в 2024–2025 рр. проведено оцінювання рівнів акустичних навантажень у підобтічнику просторі головної частини з урахуванням ефектів акустопружної взаємодії (В.Т.Грінченко, В.Н.Олійник). Зокрема, показано, що резонансне збудження зовнішніми акустичними навантаженнями окрених згинальних мод оболонки корпусу ракети призводить до різкого підвищення максимальних рівнів звукового тиску на поверхні корисного вантажу в околах відповідних частот.

Розвиток методів розв’язання задач гідроакустики, динамічної теорії пружності і гідропружності

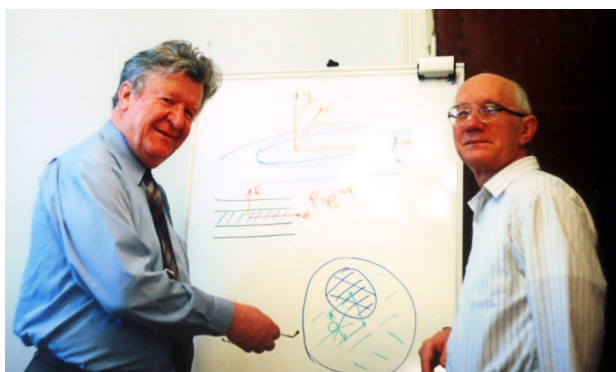
Визначення характеристик звуку, випромінюваного різними типами акустичних систем і властивостей дифрагованих на перешкодах складної форми полів необхідне для розв’язання багатьох прикладних задач гідроакустики. Відповідні математичні моделі, які описують таке випромінювання та розсіювання, призводять до розв’язання крайових задач для рівняння Гельмгольца. З огляду на це, в наукових розробках відділу значне місце займали роботи, спрямовані на розвиток методів розв’язання граничних задач для областей складної форми.

В основу цих робіт було покладено результати розвитку загальних підходів до розв’язання граничних задач математичної фізики, що призвели до формування нового поняття «загальний розв’язок граничної задачі». Уявлення про загальний розв’язок граничної задачі виявилось конструктивним і допомогло суттєво розширити клас задач акустики, що допускають повний аналітичний опис поля в областях складної геометричної форми (В.Т.Грінченко). Розвинутий метод базується на широкому залученні фундаментальних розв’язків акустичних задач у канонічних областях. Важливо, що процедура виконання граничних умов та умов спряження ґрунтується на добре вивчених властивостях повних ортогональних систем функцій типу Штурма–Ліувілля. Використання загальних властивостей розкладів за такими функціями дозволило розробити й реалізувати нові підходи до розробки чисельних алгоритмів, які дозволяють кількісно оцінити характеристики звукових полів.

Побудова загального розв’язку задачі полягає в розбитті всієї області існування звукового поля на часткові підобласті, в яких знаходяться власні розв’язки для класичних граничних задач, що дуже ефективно з погляду виконання граничних умов та умов спряження. На першому етапі розвитку методу для побудови загальних розв’язків викори-

стовувалися лише власні розв'язки тільки в одній системі координат. Так були отримані розв'язки задачі поширення звуку в акустичних хвильоводах змінного перерізу, розсіювання звуку на циліндричних та сферичних перешкодах ускладненої форми, періодичних ґратках (В.Т.Грінченко, І.В.Вовк, О.М.Гомілко, І.В.Сенченко).

Використання власних розв'язків рівняння Гельмгольца у різних системах координат значно розширило межі застосування методу часткових областей. Першою задачею, яка отримала повний розв'язок у рамках такого підходу, була задача про випромінювання звуку скінченним циліндром (В.Т.Грінченко, І.В.Вовк), яка має фундаментальне значення для акустики з огляду на розуміння особливостей випромінювання звуку тілами скінченних розмірів. Подання акустичного поля у вигляді суперпозиції власних розв'язків у сферичній та циліндричній системах координат має глибокий фізичний зміст і дозволяє адекватно відобразити особливості формування умов випромінювання на нескінченності для випромінювачів скінченних розмірів.



Професори В.Т.Грінченко та І.В.Вовк обговорюють математичні тонкощі розв'язання задач акустики

Надалі плідність такої методології було підтверджено на прикладах широкого кола нових граничних задач для різних неканонічних областей. Зокрема, розв'язано задачі про поширення звуку в різних хвильоводах зі складними змінами геометрії поперечного перерізу або зміною напрямку перенесення енергії. При цьому були запропоновані нові підходи до формулювання умов спряження полів у

різних системах координат. Зокрема, було розв'язано важливу для практики задачу про розсіювання звуку скінченною пружною циліндричною оболонкою з напівсферичними закінцівками (В.В.Мелешко, О.М.Гомілко, В.Г.Басовський).

У процесі розв'язання граничних задач акустики для областей складної форми методом часткових областей, хвильові поля подавались через власні розв'язки, які створюють повну і ортогональну систему функцій. Однак при записі через власні функції розв'язку граничних задач для обмежених пружних тіл виникають специфічні математичні труднощі. Вони обумовлені тим, що в цьому випадку нормальні хвилі утворюють неортогональну систему функцій, а самі власні функції й відповідні їм власні значення – комплексні. З фізичної точки зору, це – безпосередній наслідок взаємодії та взаємного перетворення поздовжніх і поперечних хвиль на обмежуючих поверхнях. Основні проблеми, пов'язані з застосуванням методу часткових областей полягають у необхідності дослідження повноти власних функцій і характеру збіжності коефіцієнтів у розв'язку залежно від властивостей функцій, що розкладаються.

Для подолання цих труднощів у відділі було розроблено більш ефективний підхід

до розв'язання граничних задач для пружних тіл скінченних розмірів – метод суперпозицій. Математичне обґрунтування ряду питань його застосування було дано в роботах В.Т.Грінченка і А.Ф.Улітка. Значний внесок у розвиток методу внесли спільні роботи О.М.Гомілка, В.Т.Грінченка та В.В.Мелешка, в яких було встановлено зв'язок між розв'язком задачі методом суперпозиції та поданням хвильового поля у вигляді нормальних хвиль. Це дозволило досягти фізичної наочності отриманих результатів.

Важливою перевагою методу суперпозицій стала можливість апіорної оцінки асимптотичних властивостей невідомих у нескінчених системах лінійних рівнянь, які виникають на певному етапі розв'язання граничної задачі. При цьому для визначення асимптотичних властивостей невідомих використовувались фізичні особливості поставлених граничних задач. У випадку першої основної граничної задачі асимптотичні властивості невідомих визначали з використанням властивості квазірегулярності нескінчених систем (О.М.Гомілко, В.Т.Грінченко, В.В.Мелешко), а у випадку змішаної граничної задачі – на основі апіорних знань про характер локальних особливостей у точці зміни типу граничних умов (В.Т.Грінченко, Н.С.Городецька). Зв'язок між асимптотичними властивостями невідомих алгебраїчних систем, до яких зводиться розв'язок конкретних граничних задач, та локальними особливостями в точках зміни типу граничних умов став основою для побудови ефективних алгоритмів для одержання кількісних оцінок характеристик хвильових полів. Запропонований метод дозволив суттєво розширити клас задач математичної фізики, які допускають аналітичні розв'язки. Отримання фізично обґрунтованих розв'язків дозволило виявити ряд нових фізичних ефектів, обумовлених локалізацією пружних хвиль в околі граничної поверхні та особливостями трансформації хвиль на неоднорідностях.

Починаючи з 2016 року, після об'єднання з відділом динаміки пружних систем в рідині, у відділі продовжилась робота щодо розробки математичних моделей і чисельно-аналітичних методів розв'язання нестационарних задач теорії пружності та гідропружності, включаючи контактні задачі. Зокрема, було запропоновано методи оцінки наслідків впливу сейсмічних хвиль на гідротехнічні споруди (В.М.Сеймов, Б.М.Островець).

На основі застосування чисельного методу скінченних різниць при строгому виконанні граничних умов і умов спряження, були отримані кількісні оцінки напружено-деформівного стану системи «гребля–основа–рідина» (В.М.Сеймов, О.М.Трофимчук, О.А.Савицький). Для розв'язання просторових динамічних контактних задач при моделюванні динамічної взаємодії незаглиблених фундаментів з пружною основою було розвинуто метод орто-



*Д.т.н. В.М.Сеймов і д.т.н. О.М.Трофимчук
за обговоренням наукових проблем*

гональних поліномів, який є формою методу граничних інтегральних рівнянь (В.М Сеймов). Зокрема, його було використано для аналізу задач контакту споруд з двофазною ґрунтовою основою. При цьому фізико-механічні властивості ґрунтового середовища враховувались у функціях, які пов'язують зміщення та навантаження на межі. Розв'язання граничної задачі зводилося до розв'язання нескінченної системи лінійних алгебраїчних рівнянь відносно коефіцієнтів розкладу ефективних напружень та порового тиску на підшві фундаменту, які входять у інтегро-диференціальні співвідношення, по ортогональних поліномах Чебишева (О.М.Гомілко, О.М.Трофимчук, О.А.Савицький).

Для проведення таких розрахунків створено пакет програм «Динамічна взаємодія масивних споруд з ґрунтовою основою».

Закономірності взаємодії звуку з деформівними елементами в рідині

Один із актуальних наукових напрямків розвитку сучасної механіки пов'язаний з дослідженням закономірностей взаємодії рідини з пружними конструкціями. У разі взаємодії механічної коливальної системи з навколишньою рідиною її динамічні властивості можуть істотно змінюватися. Власні частоти й форми, визначені для умов коливань у вакуумі, зазнають змін, викликаючи істотну модифікацію характеристик випромінюваних і розсіяних звукових полів. У випадку занурення тіла в рідину чи газ для математичного моделювання звукових полів замість класичних граничних умов необхідно виконувати умови спряження. Водночас важливо відзначити, що у разі використання п'єзокерамічних елементів у якості активних компонент випромінювачів слід брати до уваги питання узгодження генератора й коливальної системи.

У процесі розвитку цього напрямку у відділі були встановлені важливі закономірності щодо ролі дисперсійних характеристик у розподілі енергії в рідинно-пружних хвилях, які поширюються в складних хвилеводних конструкціях. Результати розв'язання широкого кола задач розсіяння звуку на ґратках з пружних оболонок стали науковим підґрунтям для створення спеціальних прозорих для потоку й непрозорих для звуку екранів. Зокрема, було встановлено закономірності зміни значень резонансних частот пружних елементів ґраток, вивчено частотні залежності коефіцієнтів відбиття та проходження звуку через них. Практично важливим результатом стала оцінка впливу на акустичні характеристики фізичних параметрів газу, що заповнює оболонку. Аналіз властивостей багат шарових решіток розкрив особливості динамічної взаємодії між шарами та їхнього впливу на звукопрозорість таких екранів (В.Т.Грінченко, І.В.Вовк).

Акустичні властивості пружних конструкцій можливо контролювати за допомогою п'єзоактивних елементів, розташованих на них. Керування прозорістю решіток з пружних оболонок з п'єзоактивними пластинами вивчалися з огляду на оцінку можливості створення активних гідроакустичних екранів. Показано, що при відносно низьких рівнях керуючої електричної напруги можна створити ефективний ширококутовий акустичний екран (В.Т.Грінченко, І.В.Вовк, В.Н.Олійник). Таку можливість підтверджено результатами експериментального визначення характеристик циліндричного випромінювача з активним екраном.

При вивченні пружно-рідинної взаємодії постановка задач спряження вимагає спільного розв'язання рівнянь акустики та пружності (або електропружності у разі елементів із матеріалів з п'єзоефектом). Значна кількість пружних елементів, які використовуються в гідроакустиці, за своїми геометричними параметрами й характером навантаження можуть розглядатись як тонкостінні. Це дозволяє побудувати моделі для опису електропружних елементів з урахуванням цього фактора, спростивши базові рівняння. Ця робота виконувалася у тісній співпраці з колегами з Київського національного університету імені Тараса Шевченка (В.Т.Грінченко, А.Ф.Улітко). Важливим результатом спільних робіт стала побудова теорії деформування тонкостінних елементів з п'єзокераміки, яка описує зв'язані електропружні процеси з такою самою точністю, як і класична теорія пластин та оболонок. Розроблена теорія дозволила розв'язати широке коло задач, пов'язаних із вивченням коливань п'єзоактивних елементів у рідині. При цьому єдина модель описує і взаємодію з рідиною елементів, що коливаються, і сам процес передачі енергії від генератора до випромінювача.

Ефективність передачі енергії від електричного генератора до коливальної системи істотно залежить від узгодженості збуджуваної форми коливань і структури електричного поля в п'єзoelementі. Оскільки форма коливань пружного елемента в рідині змінюється за рахунок взаємодії із середовищем, важливе питання полягає у визначенні ефективних коефіцієнтів електромеханічного зв'язку з урахуванням цієї взаємодії. Аналіз кількісних даних про характеристики різних коливальних систем з п'єзокераміки дозволив розділити типи елементів, для яких пружно-рідинна взаємодія не істотно впливає на ефективність електромеханічного перетворення, та коливальні системи, в яких зазначена взаємодія принципово змінює характер динамічної поведінки (І.В.Вовк, В.Н.Олійник, І.В.Сенченко).

Ефективність випромінювання звуку системами, які складаються з декількох гідроакустичних перетворювачів, зокрема, фазованими ґратками, істотно залежить від ефектів взаємодії перетворювачів як через навколишнє середовище (взаємодії по полю), так і через електричні кола, які зв'язують перетворювачі з джерелами електричної енергії. Ефекти взаємодії по полю, особливо в області частот, близьких до резонансу перетворювачів у ґратках, можуть призводити до того, що деякі з них поглинають акустичну енергію поля. Вивчення лінійних ґраток із циліндричних п'єзокерамічних перетворювачів показало, що внаслідок цього порушується вихідне фазування решітки, структура ближнього поля стає порізаною, погіршується узгодження перетворювачів з електричними генераторами (В.Т.Грінченко, І.В.Вовк, В.Г.Басовський). Якщо ґратки живляться одним загальним генератором, можуть проявлятися ефекти взаємодії перетворювачів через електричні кола, що також призводить до порушення фазування решіток та зниження їх енергетичної ефективності (І.В.Вовк, В.Т.Грінченко).

Зниження робочої частоти при збереженні високої ефективності – важлива проблема конструювання гідроакустичних випромінювачів. У результаті проведених у відділі досліджень показано принципову можливість істотного зниження резонансної частоти завдяки використанню пружно-рідинної взаємодії для циліндричної оболонки, що коливається на основній радіальній моді. (І.В.Вовк, В.Т.Грінченко). Також було пока-

зано, що суттєвого зниження резонансної частоти можна досягти, розмістивши всередині п'єзокерамічної оболонки неспіввісний циліндр із пасивного матеріалу (І.В.Вовк, В.Н.Олійник). При цьому з'являється можливість організувати на цих частотах спрямоване випромінювання звуку без збільшення хвильового розміру перетворювача.

Розглянуто роботу акустичних перетворювачів у складі гідроакустичної труби, призначеної для вимірювань коефіцієнта відбиття звуку від різних матеріалів і конструкцій методом двох гідрофонів. Установлено, що в таких пристроях можуть виникати специфічні, раніше не вивчені вібраційні завади, які істотно впливають на точність вимірювань. Показано, що причиною їхн появи є механічний зв'язок джерела звукових хвиль зі стінками труби через елементи її конструкції. На основі запропонованої розрахункової схеми проведено числові оцінки відносного рівня завад і коефіцієнта відбиття звуку від тонкого шару повітря. Показано, що на окремих частотах визначення коефіцієнта відбиття може виявитися практично неможливим. Запропоновано два способи зниження рівня завад. Один з них полягає в раціональному виборі конструктивних елементів труби, а другий ґрунтується на застосуванні спеціальної обробки сигналів, які надходять з розміщених у трубі вібродатчиків і гідрофонів (І.В.Вовк, В.Г.Басовський, О.Г.Лейко).

Розроблено ефективну методику організації експериментальних досліджень формування поля завад для низькочастотних антен. Створено унікальні вимірювальні сенсори для визначення параметрів псевдозвукових полів. Запропоновано методи зменшення впливу псевдозвуку на робочі характеристики антени (В.Т.Грінченко, І.В.Вовк).

Дослідження коливань та поширення звуку в пружних та поро-пружних водонасичених середовищах

Аналіз деформування елементів гідроакустичних систем на основі наближених теорій можливий лише в області відносно низьких частот. При збільшенні частоти, коли довжина хвилі стає співмірною з характерними розмірами елемента, асимптотичні методи та різні фізичні спрощення, пов'язані з уведенням тих чи інших гіпотез, стають непридатними для опису хвильового процесу. Тому для побудови моделей, що адекватно описують фізичні явища у високочастотній області, необхідно використовувати аналітичні методи розв'язання граничних задач у тривимірній постановці. Математичні проблеми, які виникають у процесі розв'язання динамічних граничних задач для пружних тіл скінченних розмірів, пов'язані з труднощами в поясненні фізики процесу відбиття нормальних хвиль від межових поверхонь при взаємодії та взаємоперетворенні повздовжніх та поперечних хвиль на них.

Аналіз результатів розв'язання конкретних задач для пружних тіл скінченних і напівскінченних розмірів на основі розробленого у відділі методу суперпозицій дозволив встановити нові закономірності хвильових процесів, які не мають аналогів для акустичних середовищ, а також пояснити ряд ефектів динамічного деформування пружних хвилеводів, які спостерігаються в експериментах. Зокрема, були досліджені особливості локалізації хвильових рухів, обумовлених резонансом на неоднорідних хвилях, для різних типів деформації та граничних умов. При аналізі вимушених коливань п'єзокерамічного диска, в

якому експериментально спостерігалася локалізація інтенсивних коливань поблизу його зовнішнього краю (крайовий резонанс), було зафіксовано зростання резонансної частоти зі збільшенням радіуса диска (В.Т.Грінченко, В.В.Мелешко,). Фізична інтерпретація крайового резонансу на основі особливостей трансформації типів хвильових рухів була зроблена в роботах В.Т.Грінченка та Н.С.Городецької. Узагальнюючи гіпотезу Релея щодо подання хвильового поля сумою падаючої хвилі та відбитих від нерівної поверхні біжучих і неоднорідних хвиль, О.М.Гомілко знайшов максимальну висоту нерівності, нижче якої ця гіпотеза залишається правомірною. При відбитті першої нормальної хвилі в разі симетричних коливань напівшару з викривленою межею було встановлено існування крайового резонансу й показано залежність резонансної частоти від величини викривлення (О.М.Гомілко, Н.С.Городецька). Уперше було знайдено явище крайового резонансу для антисиметричних коливань напівшару та встановлено відмінності його прояву на неоднорідних хвилях у залежності від типу симетрії (Н.С.Городецька, І.В.Старовойт).

Ще одним специфічним ефектом поширення пружних хвиль є частотна залежність прозорості скінченної межі розділу пружних тіл. Він спостерігався експериментально, а теоретичне обґрунтування отримав на основі аналізу модельної задачі про збудження гармонічного хвильового поля в складеному пружному хвилеводі з геометричною та фізичною неоднорідностями. Було встановлено, що ефективність проходження енергії в другий напівшар залежить від частоти й визначається не лише співвідношенням імпедансів, а й тим, в якому з напівшарів біжучі хвилі вищих порядків з'являються раніше (В.Т.Грінченко, Н.С.Городецька).

На основі кількісного аналізу дисперсійних властивостей нормальних хвиль у пружному циліндрі, заповненому рідиною й оточеному нею ззовні, виявлено й виділено специфічні частотні діапазони, в яких уся енергія моди зосереджується тільки в пружній оболонці або тільки в рідинному ядрі (В.Т.Грінченко, Г.Л.Комісарова).

Хоча модель пружного середовища дозволяє описати загальні характеристики поширення хвиль у реальних середовищах, але для аналізу ряду особливостей хвильових процесів необхідно розглядати більш складні моделі середовищ. З огляду на це, у відділі проводились дослідження поширення хвиль у двофазних середовищах. На сьогодні при макроскопічному описі хвильових процесів у пористо-пружному насиченому рідиною середовищі здебільшого застосовуються два підходи. Один з них базується на дослідженнях М.Біо, а другий був розвинений на основі теорії сумішей. У відділі дослідження хвильових процесів виконувались у рамках теорії Біо. Зокрема, для різних параметрів пористого середовища було проаналізовано частотні спектри пористо-пружного насиченого рідиною хвилеводу з вільними бічними поверхнями. Визначено умови за яких енергія переноситься по пружному скелету, а за яких зосереджена в поровій рідині (Н.С.Городецька). Праналізовано поширення поверхневих хвиль на вільній межі пористо-пружного півпростору. Показано, що поверхнева хвиля типу Релея існує лише для обмеженого діапазону зміни фізичних характеристик середовища. Встановлено, що на межі пористо-пружного середовища й рідини може поширюватись поверхнева хвиля Стоунлі та псевдоповерхневі хвилі Стоунлі й Релея, причому всі вони існують для обмеженого діапазону зміни параметрів середовища. Для певних комбінацій параметрів середовища й типу гра-

ничних умов існують випадки, коли разом поширюються всі три хвилі, тільки дві з них, або тільки одна. Тип граничних умов впливає на кінематичні й енергетичні характеристики поверхневої хвилі (Н.С.Городецька, Т.В.Соболь).

У відділі модель пористо-пружного насиченого рідиною середовища використовувалась для опису ґрунтової основи при розв'язанні динамічних контактних задач. Зокрема, на основі цього підходу досліджувались квазістатичні проблеми консолідації двофазного ґрунту, а також аналізувались коливання системи споруда–ґрунт при гармонічних впливах, включаючи аналіз хвильових властивостей ґрунтової основи (О.М.Трофимчук, О.А.Савицький).

Дослідження з архітектурної акустики



Колонна зала Національної філармонії України ім. М.В.Лисенка після реконструкції (світлина з Вікіпедії)

Високий професійний рівень співробітників відділу дозволив їм взяти активну участь у вирішенні прикладних акустичних проблем, пов'язаних з реконструкцією та будівництвом низки унікальних будівель та споруд України. Так, спільно із співробітниками НДІБК (Л.М.Осипчук, Н.А.Трохименко) було виконано великий обсяг акустичних вимірювань у Колонній залі будівлі Національної філармонії ім. М.Лисенка (В.Т.Грінченко, Н.С.Городецька, А.П.Макаренков, О.Г.Рудницький).

У процесі акустичного обстеження залу до та після його реконструкції про-

ведено комплекс робіт, який включав вимірювання часу реверберації, однорідності звукового поля, імпульсні вимірювання для оцінки структури ранніх звукових відбиттів і визначення енергетичних параметрів звукового поля, вимірювання захисної звукоізоляції конструкцій зали, а також рівнів проникаючих шумів та індексу прозорості. Всебічне дослідження як порожнього, так і заповненого залу дало можливість розробити рекомендації щодо реконструкційних робіт і скласти акустичний паспорт Колонного залу. Унаслідок реалізації цих рекомендацій акустичні характеристики реконструйованої зали Національної філармонії були доведені до оптимальних та нині відповідають найвищим міжнародним стандартам.

Для вироблення уявлень про особливості акустичних характеристик давньоруських храмів проводилися дослідження в приміщеннях Кирилівської церкви та Софійського собору в Києві. Отримані результати покладено в основу рекомендацій щодо акустичного проектування відновлених Михайлівського Золотоверхого собору та церкви Успіння Богородиці Пирогощі (В.Г.Басовський, А.П.Макаренков, О.Г.Рудницький).

Моделювання процесів генерації та поширення звуків дихання та серця. Медична акустика

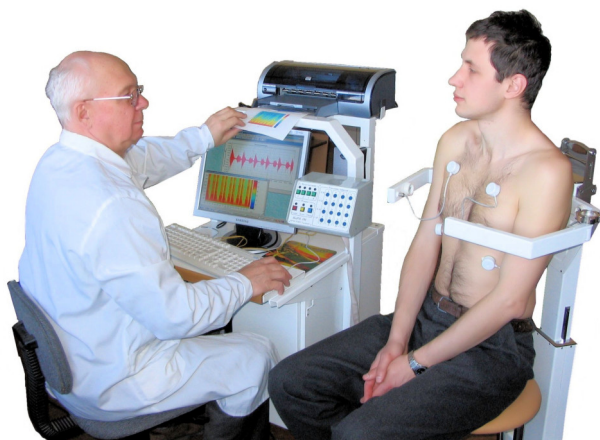
У 1991 році у відділі гідродинамічної акустики було започатковано новий науковий напрямок, присвячений вивченню особливостей генерації та поширення звуків життєдіяльності в організмі людини. Навіть сьогодні, в добу високотехнологічної комп'ютеризованої медицини, неінвазивне вислуховування звуків життєдіяльності – аускультация – все ще залишається суб'єктивною діагностичною методикою. Перетворення діагностичної аускультации на сучасну об'єктивну методику є надважливою і водночас складною задачею. Дослідження в галузі медичної акустики можна розділити на три основні напрямки: створення засобів реєстрації звуків життєдіяльності з поверхні тіла пацієнта; розробка методів фізичного та математичного моделювання процесів генерації та поширення звуків життєдіяльності; розвиток спеціалізованих методик обробки акустичних сигналів біологічної природи з метою виявлення характерних ознак, властивих певному типу захворювань бронхо-легеневої та серцево-судинної систем.

На дослідження з медичної акустики хронологічно припадає рівно третина зі сторічної історії Інституту. За цей період опубліковано понад сто наукових робіт, присвячених актуальним аспектам реєстрації та аналізу респіраторних і кардіологічних сигналів, у співпраці з медиками отримано десятки патентів на засоби та методи реєстрації та діагностичні методики, розроблені з їх використанням. Можна констатувати, що нині наш відділ нині займає одну з провідних позицій у цій галузі та багато в чому визначає сучасні тренди розвитку неінвазивних інструментальних методик дослідження звуків життєдіяльності людини.

Засоби реєстрації звуків дихання та серця

Звуки життєдіяльності організму людини являють собою цілий клас акустичних сигналів, у яких комбінуються вузько- та широкосмугові частотні компоненти в діапазоні від одиниць герц до кількох кілогерц. Вивчення акустичних характеристик цих сигналів було б неможливим без наявності високочутливих сенсорів для їх якісної реєстрації. У відділі розроблені сенсори з необхідними для надійної реєстрації звуків дихання параметрами та відпрацьовано способи їх фіксації на грудній клітці людини при забезпеченні мінімальних спотворень реального сигналу. Цими дослідженнями займались співробітники відділу (А.П.Макаренков, Г.П.Виноградний, І.В.Вовк, В.Н.Олійник, О.М.Артем'єв, В.Г.Басовський, О.Г.Рудницький) У результаті проведеної роботи було створено комп'ютерний чотириканальний комплекс КоРА-03М1, призначений для реєстрації, обробки, візуалізації, з можливістю прослуховування та аналізу звуків дихання. Він дозволяє виявляти характерні акустичні ознаки, властиві конкретному виду бронхолегеневих захворювань. На основі аналізу тривимірних фонореспіросонограм звуків дихання спільно з висококваліфікованими медиками (В.Г.Майданник, Л.П.Глебова, Л.Б.Ярошук, А.В.Басанець, О.В.Єрмакова) знайдено відповідність між акустичними сигналами й вербальними описами діагностичних ознак (В.Т.Грінченко, А.П.Макаренков, О.Г.Рудницький, А.А.Макаренкова, І.В.Вовк, В.В.Крижановський, В.Н.Олійник).

Розроблені засоби та методики реєстрації аускультативних звуків дихання дозволили реалізувати запис та обробку біологічних сигналів у одноканальному та багатоканальному режимах. Використання даних з кількох каналів дозволяє формувати багатокомпонентні статистичні характеристики, що підвищує ефективність алгоритмів класифікації дихання за принципом «хворий–здоровий». У відділі було створено ряд модифікацій чотириканальних фоноспірографічних комплексів «КоРА» (загальне керівництво проектом – В.Т.Грінченко; апаратна частина – А.П.Макаренков, Г.П.Виноградний, О.М.Артем'єв; програмне забезпечення – В.В.Крижановський). Комплекси КоРА у 2008 році пройшли державну сертифікацію та були офіційно допущені до використання в медичних закладах України.



*Багатоканальна реєстрація звуків дихання
за допомогою фоноспірографічного комплексу
КоРА-03М1*

Надзвичайно велику підтримку у впровадженні акустичних діагностичних інструментів у медичну практику надали нам академіки НАМН України В.Г.Майданик та Ю.І.Кундієв. Створені у відділі фоноспірографічні комплекси використовувались в Інституті медицини праці НАМН України, Головному клінічному військовому госпіталі МО України, Дніпропетровській медичній академії МОЗ України, дитячій клінічній лікарні №6 м. Києва, Івано-Франківській

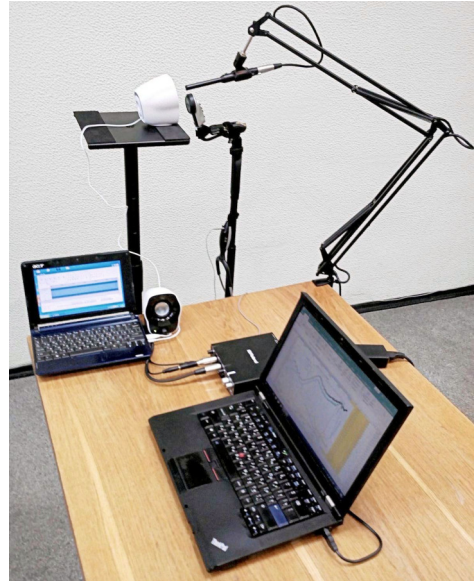
обласній дитячій клінічній лікарні. Ще один зразок комплексу нині використовується для досліджень на кафедрі електронної інженерії НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Зібрана в ході досліджень унікальна цифрова база даних звуків дихання дорослих та дітей з різноманітними патологіями бронхолегеневої системи була основою для захисту 7 дисертацій з медичної акустики.

Значна увага у відділі приділяється також розробці портативного інструментарію для аускультативної – електронних стетоскопів (А.П.Макаренков, Г.П.Виноградний, О.М.Артем'єв). Зокрема, були створені навчальні стетоскопи з кількома аудіовиходами, які дозволяють одночасне вислуховування пацієнта викладачем і студентами-медиками (А.А.Макаренкова, О.М.Артем'єв). Окремо в цьому контексті слід згадати експериментальні спроби реєстрації кардіологічних звуків у розширеній смузі частот, в ході яких були створені унікальні попередні підсилювачі сигналу. Вони дозволяють працювати з екстремально низькочастотними складовими сигналу – нижче 1 Гц (І.В.Вовк, А.П.Макаренков, О.М.Артем'єв). Окремі, не менш важливі, дослідження були прове-



Електронний стетоскоп медичного призначення ЕФОН-08 при роботі зі смартфоном, устаткованим спеціалізованим програмним додатком



Експериментальний стенд для вимірювання частотних відгуків електронних стетоскопів

дені задля виявлення типів завад, які знижують якість корисних сигналів під час реєстрації звуків життєдіяльності. Ці дослідження дозволили знайти способи усунення завад, що суттєво підвищило результуюче співвідношення сигнал/завада (А.П.Макаренков, Г.П.Виноградний).

Розвиваючи ідею поєднання смартфона з електронним стетоскопом у відділі було створено електронний стетоскоп нового покоління ЕФОН-08 (А.П.Макаренков, О.М.Артем'єв), для якого було розроблено повнофункціональний спеціалізований додаток для керування процедурою аускультатії за допомогою смартфона (В.Н.Олійник). У виготовленні експериментальних зразків стетоскопа ЕФОН-08 ключову роль зіграла група під керівництвом В.Ю.Філімонова (відділ вихрових рухів).

У подальшому розроблялись системи аускультатії з гнучкою архітектурою інструментальної частини (В.Т.Грінченко, В.Н.Олійник). Використання в системі стетоскопів різних моделей породжує проблему уніфікації отриманих даних аускультатії за рахунок компенсації особливостей амплітудно-частотної характеристики конкретного інструмента. З цією метою у відділі було створено спеціалізований експериментальний стенд для вимірювання частотних відгуків електронних стетоскопів (В.Н.Олійник).

Гнучка схема побудови «робочого місця» в перспективі дасть можливість швидкого нарощування кількості кінцевих користувачів при побудові мережових систем аускультатії, де більш глибокий аналіз сигналу буде проводитись на потужних серверах, устаткованих алгоритмами на основі штучного інтелекту.

Методи обробки акустичних сигналів біологічної природи

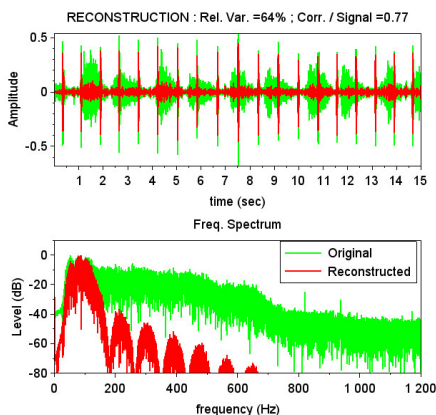
Комп'ютерний аналіз аускультативних даних висуває низку досить нетривіальних проблем, пов'язаних з їхньою обробкою. Для їх розв'язання дослідницька робота у відділі велась в двох напрямках. Перший з них полягає у використанні багатоканальних систем реєстрації та обробки сигналів, отриманих одночасно в різних точках грудної клітки, а другий фокусується на застосуванні нових методів обробки одноканальної інформації. Зокрема, синхронна багатоканальна реєстрація даних аускультатії за допомогою комплексів типу КоРА створила можливість застосування методів кореляційного аналізу, що дозволяє виявити компоненти, які генеруються зосередженими джерелами звуку – серцем чи патологіями на кшталт бронхіальних стенозів. Становлення цього напрямку обробки у відділі відбувалось завдяки зусиллям Л.Г.Красного, О.Я.Калюжного та В.В.Крижановського. Водночас активно проводились роботи, пов'язані з вивченням багатофакторної динаміки звуків дихання під час лікування пневмоній (А.П.Макаренков, О.Г.Рудницький), що дозволяє оцінювати зміну стану пацієнта в процесі одужання. Задовго до широкого входження в практику технологій з використанням штучного інтелекту в нашому відділі робилися спроби адаптивної класифікації сигналів шляхом розділення норми та патологій на кластери в умовному просторі діагностичних ознак на основі підходу, близького до методу К-середнього (В.Т.Грінченко, Л.Г.Красний, І.В.Вовк, А.П.Макаренков).

У співпраці з колективом кафедри електронної інженерії НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» А.А.Макаренкова застосувала біспектральний аналіз для виявлення у фонограмі сухих хрипів. У відділі ведуться роботи, спрямовані на автоматичний підрахунок ритмічних характеристик дихання й роботи серця, зокрема, на базі кореляції часових залежностей енергії складових сигналів аускультатії в кількох октавних смугах (В.Н.Олійник).

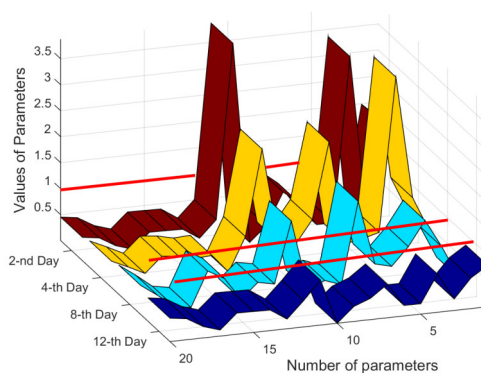
Важливим досягненням стало застосування мультифрактального аналізу статистичних властивостей звуків дихання, зареєстрованих навпроти різних відділів легень. Це дозволило розв'язати питання про механізм генерації везикулярних шумів у нижніх відділах, обґрунтувавши гіпотезу про те, що вони генеруються вібраціями сукупності мембранних стінок альвеол різної геометрії а не потоком повітря через гортань (І.В.Вовк, В.Т.Маципура).

З 2014 року було успішно презентовано метод розділення кардіореспіраторної фонограми на сигнали серця й дихання за допомогою емпіричної модової декомпозиції (О.Г.Рудницький). Згодом аналогічного результату вдалося досягти, застосовавши метод сингулярного спектрального аналізу (В.Н.Олійник). Також було розроблено низку одно- та двоканальних алгоритмів розділення легеневих і серцевих шумів у сумарному сигналі, зареєстрованому на поверхні грудної клітки (О.Г.Рудницький, Л.В.Ткаченко).

Відзначимо, що акустичні дані аускультатії можуть використовуватись не тільки для діагностики легеневих та серцевих патологій, а й для дослідження інших систем та органів. Зокрема, аналіз нелінійно-динамічних характеристик фонокардіограми дозволив використати знайдені закономірності для підвищення ефективності процедури гемоді-



Виділення кардіологічної компоненти зі складної фонограми за допомогою сингулярного спектрального аналізу



Динаміка зміни діагностичних параметрів у процесі одужання пацієнта

алізу у пацієнтів, які перебувають на замісній нирковій терапії. Було показано, що фрактальні характеристики зареєстрованих фонокардіограм суттєво залежать від переносимості пацієнтами цієї процедури та можуть бути додатковим об'єктивним критерієм адекватності гемодіалізу. Цей результат й було захищено відповідним патентом (А.П.Макаренков, О.Г.Рудницький).

У відділі було запропоновано оригінальну зв'язану модель серцево-судинно та респіраторної систем людини. Вона дозволяє прослідкувати динамічну поведінку системи через складний ланцюжок взаємодій її складових. Побудова таких математичних моделей, які спираються на експериментальний матеріал, дозволяє правильно оцінити зміни у складних фізіологічних системах, до яких належить організм у цілому, коли малі варіації контрольних параметрів можуть призводити до якісно нової його поведінки. Основою моделі стало припущення про оптимальність взаємодії серцево-судинної та респіраторних систем. Це дозволило дослідити їхній взаємовплив, який породжує якісно нові ефекти та на новому рівні пояснює деякі експериментальні явища кардіореспіраторної взаємодії (В.Т.Грінченко, О.Г.Рудницький). Альтернативна модель для їх опису була запропонована також Т.С.Краснопольською та Є.Д.Печуком (відділ вихрових рухів).

Нині у відділі розвивається ще один метод неінвазивної неущкоджувальної діагностики – оптоакустична візуалізація, для якої характерні висока просторова роздільна здатність і відсутність іонізуючого випромінювання. Ця методика використовується для візуалізації тканин на глибині до кількох сантиметрів, що робить її корисною для дослідження таких органів як мозок, груди і простата (О.Г.Рудницький, М.О.Рудницька, Л.В.Ткаченко).

Моделювання акустичних властивостей грудної клітки

Значну увагу в своїх дослідженнях співробітники відділу приділяють моделюванню фізичних причин і характерних особливостей генерації та поширення акустичних явищ в елементах респіраторного тракту й тканинах тіла людини. Для побудови фізико-математичних моделей, насамперед, необхідно коректно задати параметри окремих тканин і органів тіла людини. Найцікавішою в цьому плані є легенева тканина – паренхіма. Завдяки насиченій повітрям дрібнокомірчастій структурі та, як наслідок, високій об'ємній стисливості вона при помірній густині має аномально низьку швидкість поширення звуку – загалом від 30 м/с до 60 м/с. Змодельовавши паренхіму сумішшю повітряних бульбашок у воді, В.Н.Олійник пояснив існування сильного згасання звуку в ній унаслідок термічної дисипації на стінках альвеол, які контактують з повітрям. Пізніше в модель було введено можливості врахування нелінійних пружних властивостей стінок альвеол та їх статистичного розподілу за розміром. Отримані результати продемонстрували задовільний збіг з експериментальними даними.

На початку 1990-их рр. у відділі було створено теоретичну модель грудної клітки у вигляді нескінченного кругового циліндра з концентричними шарами легеневої паренхіми, реберного «каркасу», й підшкірного жиру, вкритого мембраною епітелію (В.Т.Грінченко, І.В.Вовк, В.Н.Олійник). Модель показала свою ефективність, а статтю з її презентацією Міжнародна асоціація з вивчення звуків дихання (ILSA) визнала однією з фундаментальних робіт для розуміння основ респіраторної акустики. Запропонована геометрична шарувата структура відносно легко адаптовувалась на випадки наявності на поверхні кількох сенсорів-акселерометрів (В.Н.Олійник), більш реалістичної секторної геометрії легень (І.В.Вовк, В.Т.Маципура) тощо. Це дозволило встановити ряд важливих фактів про властивості грудної клітки як частотного фільтра сигналу, що було використано при відпрацюванні методик контактної акустичної реєстрації з поверхні тіла людини.

Ще одним з напрямків удосконалення спрощеної геометричної моделі стало врахування скінченності циліндра й задання шаруватих зон неоднорідностей акустичних параметрів, обмежених всіма трьома координатними поверхнями (В.Т.Грінченко, В.В.Крижановський). Такі неоднорідності зі зміненими значеннями густини та швидкості звуку імітували області патологічних змін паренхіми, які можуть виникати при пневмонії, пневмоконіозі, розвитку пухлин. Проведені на моделі числові експерименти допомогли чіткіше окреслити можливості виявлення та локалізації заглиблених вогнищ ураження на основі аналізу сигналів, синхронно прийнятих просторово розподіленою антеною сенсорів на поверхні грудної клітки.

Для моделювання процесу поширення звуку повітропроводами бронхіального дерева було змодельовано деревовидне розгалужену систему звуководів з піддатливими стінкам, розміри яких прогресивно зменшуються з кожним новим розгалуженням (В.Г.Басовський, І.В.Вовк, О.І.Вовк). Це дозволило оцінити ефективність проникнення звуку вглиб трахео-бронхіальної системи й спрогнозувати, яка частка акустичної енергії може перейти при цьому в навколишні тканини. Показано, що при поширенні звуку в дрібних бронхах суттєвим фактором стає в'язкість повітря. Важливим розширенням фізичного

моделювання процесу випромінювання звуку трахеєю та головними бронхами людини було врахування незамкнутості кільцеподібних хрящів у складі їхніх стінок. На цій основі з використанням методу часткових областей і теорії згинальних коливань кільцевих стрижнів запропоновано вдосконалений метод оцінки акустичних властивостей верхніх повітроносних шляхів. Встановлено, що вимушені коливання хрящів мають складний характер, який визначається здебільшого двома першими власними модами. При цьому внесок окремих мод у загальний рух хрящів не однаковий та істотно залежить від частоти. Коливання хрящів можуть істотно впливати на розподіл акустичного тиску на поверхні повітроносних шляхів, особливо поблизу перших власних частот (для трахеї це $f \approx 37$ Гц, а для головних бронхів – $f \approx 108$ Гц). Таким чином, під дією осесиметричного розподілу звуку всередині трахеї та головних бронхів їхні стінки будуть коливатись не на осесиметричній моді, як припускали раніше, а за досить складним законом, який може характеризуватися наявністю протифазних ділянок (І.В.Вовк, В.Г.Басовський).

Для проведення медичної діагностики бронхолегеневих захворювань принципово важливо було зрозуміти механізми генерації респіраторних звуків в елементах бронхіального дерева. Згідно з поширеною гіпотезою, основним джерелом звуку під час дихання є турбулізація потоку повітря в голосовій щілині. Виходячи з отриманих анатомічних даних про її будову та геометричні параметри, було створено оригінальну дослідну установку, яка частково моделювала гортань і трахею. Її центральною частиною була циліндрична труба зі вставним звуженням – імітатором голосових зв'язок (І.В.Вовк, О.І.Вовк). В експериментах зі вставками різної геометрії було показано, що, при однакових інших умовах, мінімальний опір і мінімальний рівень супутніх шумів забезпечується тоді, коли потік повітря проходить через трикутну щілину з заокругленими (вальцюватими) стінками вирізу, яка й відповідає природній формі голосових зв'язок. Модернізація установки шляхом постановки додаткових перегородок дозволила змодельовати процес генерації тональних сигналів, які відповідають сухим хрипам – патологічним звукам, які в природі генеруються на звуженнях бронхів, утворених густим мокротинням. В обох випадках було отримано важливі дані щодо залежності рівнів і частотного складу шумів для різних швидкостей потоку і розмірів отвору. Процес генерації тональних звуків в елементах бронхіального дерева також детально досліджувався на основі числового розв'язання рівнянь Нав'є–Стокса (В.С.Малюга). Показано, що джерелом тональних звуків (сухих хрипів) є автоколивання середовища в міжстеннозній області.

Слід також відзначити теоретично-експериментальні роботи А.О.Борисюка, присвячені моделюванню шумів генерованих кровотоком при проходженні стенозних звужень і звитих ділянок кровоносних судин. У них було розроблено теорію генерації шуму обмеженою областю збуреної течії в прямому жорсткому каналі, яку було покладено в основу розробленого методу розв'язання зв'язаних задач акустичного випромінювання течій у каналах з локальними звуженнями. Було запропоновано метод визначення гемодинамічної значущості патологічної звитості великих коронарних артерій, який дозволяє кардіологам за даними відповідної коронарографії визначати кількісні зміни витратних характеристик течії крові у великих коронарних артеріях, викликані появою патологічної звитості останніх (А.О.Борисюк).

Бібліографія

- [1] Гринченко В. Т., Мелешко В. В. *Гармонические колебания и волны в упругих телах*. Киев : Наукова думка, 1981. 283 с.
- [2] Гринченко В. Т., Вовк И. В. *Волновые задачи рассеяния звука на упругих оболочках*. Киев : Наукова думка, 1986. 238 с.
- [3] Гринченко В. Т., Улитко А. Ф., Шульга Н. А. *Электроупругость*. Киев : Наукова думка, 1989. Т. 5 из *Механика связанных полей элементах конструкций*. 280 с.
- [4] Спектральные и корреляционные характеристики турбулентного пограничного слоя на гибком протяженном цилиндре / Виноградный Г. П., Воскобойник В. Л., Гринченко В. Т. и Макаренков А. П. *Известия АН СССР. Механика жидкости и газа*. 1989. № 5. С. 49–54.
- [5] Олийник В. Н. Частотные искажения, вносимые контактными датчиками при одно- и двухканальной регистрации шумов дыхания. *Гидромеханика*. 1997. № 71. С. 89–97.
- [6] Borysyuk A. O. Modelling of the acoustic properties of the larger human blood vessel. *Акустичний вісник*. 1998. Т. 1, № 3. С. 3–13.
- [7] Сеймов В. М., Трофимчук А. Н., Савицкий О. А. *Колебания и волны в слоистых средах*. Киев : Наукова думка, 1990. 283 с.
- [8] Вовк И. В., Гринченко В. Т., Олейник В. Н. Проблемы моделирования акустических свойств грудной клетки и измерения шумов дыхания. *Акустический журнал*. 1995. Т. 41, № 5. С. 758–768.
- [9] Гринченко В. Т., Макаренков А. П., Рудницкий А. Г. Статистические характеристики дыхательных шумов человека при двухканальной обработке. *Техническая акустика*. 1995. Т. 4, № 13. С. 29–34.
- [10] Гринченко В. Т., Вовк И. В. О взаимодействии электроакустических преобразователей в антенной решетке. *Акустический журнал*. 1996. Т. 42, № 2. С. 183–190.
- [11] Grinchenko V. T., Makarenkov A. P., Rudnitskii A. G. Active-passive physics auscultation in the diagnosis of pneumoconiosis. *Acoustical Physics*. 1996. Vol. 42, no. 6. P. 681–683.
- [12] Vovk I. V., Oliynik V. N. Sound radiation by cylindrical piezoelectric shell with asymmetric insertion. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 1996. Vol. 99, no. 1. P. 133–138.

- [13] Borisyuk A. O., Grinchenko V. T. Vibration and noise generation by elastic elements excited by a turbulent flow. *Journal of Sound and Vibration*. 1997. Vol. 204, no. 2. P. 213–237.
- [14] Гринченко В. Т., Красный Л. Г., Крижановский В. В. Реконструкция образов источников дыхательных шумов. *Акустический журнал*. 1997. Т. 43, № 6. С. 796–803.
- [15] Chelyshkov V. S., Grinchenko V. T., Liu C. Direct numerical simulation of translational near-wall flow. *High Speed Body Motion in Water. AGARD R-827*. 1998. P. 11 (1–8).
- [16] Комп'ютерні методи обробки аускультативних даних / Грінченко В. Т., Глебова Л. П., Майданник В. Г., Макаренков А. П. і Рудницький О. Г. *Педіатрія, акушерство та гінекологія*. 1998. № 5. С. 29–33.
- [17] Городецкая Н. С. Затухание волн при симметричных колебаниях пористо-упругого слоя со свободными поверхностями. *Акустичний вісник*. 1998. Т. 1, № 4. С. 4–18.
- [18] Рудницький А. Г. Рассеяние звука температурными неоднородностями в следе за цилиндром. *Акустичний вісник*. 1998. Т. 1, № 3. С. 66–71.
- [19] Крижановский В. В. Модельные исследования спектрально-корреляционных характеристик шумов дыхания в респираторном тракте человека. *Акустичний вісник*. 1998. Т. 1, № 4. С. 33–46.
- [20] Акустика храмов Киевской Руси / Вовк И. В., Гринченко В. Т., Макаренков А. П., Осипчук Л. М., Трохименко М. П. *Акустичний вісник*. 1998. Т. 1, № 1. С. 4–9.
- [21] Вовк И. В., Гринченко В. Т., Дахнов С. Л. Влияние физиологических особенностей верхних дыхательных путей на характеристики шумов дыхания. *Акустичний вісник*. 1998. Т. 1, № 3. С. 14–23.
- [22] Grinchenko V. T., Gorodetskaya N. S. Reflection and transmission of Lamb waves at structure conjunction. *Proceedings of the 7th International Congress on Sound and Vibration: Vol. 2*. Garmish-Partenkirchen. 2000. P. II (993–1000).
- [23] Нові підходи в автоматизації аускультативної діагностики легеневих захворювань / Майданник В. Г., Грінченко В. Т., Рудницький О. Г., Глебова Л. П. і Макаренков А. П. *Педіатрія, акушерство та гінекологія*. 2000. № 6. С. 30–35.
- [24] Вовк И. В., Мацыгура В. Т. Излучение звука решеткой, образованной соосными цилиндрическими пьезокерамическими оболочками с торцевыми экранами. *Акустичний вісник*. 2001. Т. 4, № 2. С. 11–17.
- [25] Олийнык В. Н. О механизмах формирования акустических свойств легочной паренхимы. *Акустичний вісник*. 2001. Т. 4, № 3. С. 53–66.

- [26] Басовский В. Г., Вовк И. В. Собственные частоты и формы колебаний хрящей трахеи и бронхов человека. *Акустичний вісник*. 2002. Т. 5, № 3. С. 5–11.
- [27] Трофимчук А. Н., Гомилко А. М., Савицкий О. А. *Динамика пористоупругих насыщенных жидкостью сред*. Киев : Наукова думка, 2003. 230 с.
- [28] Гринченко В. Т., Олийнык В. Н. Гармонические колебания вязко-упругого слоя биоткани при нагружении круговым гладким штампом. *Акустичний вісник*. 2004. Т. 7, № 4. С. 34–47.
- [29] Гринченко В. Т., Крижановский В. В., Крижановский (мл.) В. В. Алгоритмы адаптивной и ранговой классификации шумов дыхания. *Акустичний вісник*. 2002. Т. 5, № 3. С. 19–27.
- [30] Макаренков А. П., Рудницкий А. Г. Фрактальный анализ звуков сердца как метод определения переносимости процедуры гемодиализа. *Акустичний вісник*. 2004. Т. 7, № 1. С. 62–70.
- [31] Олійник В. Н. Визначення еквівалентних параметрів поверхні тіла людини при взаємодії з контактним сенсором. *Доповіді НАН України*. 2004. № 6. С. 192–197.
- [32] Гринченко В. Т., Городецька Н. С. Метод суперпозиції стосовно граничних задач для неоднорідних хвильоводів. *Математичні методи та фізико-механічні поля*. 2006. Т. 49, № 1. С. 20–30.
- [33] Макаренкова А. А. Акустические характеристики звуков дыхания у больных пневмокониозом. *Акустичний вісник*. 2008. Т. 11, № 1. С. 51–59.
- [34] Grinchenko V. T., Oliynyk V. N. Dynamic properties of a viscoelastic soft tissue layer contacting with a vibrating piston. *Journal of Biomechanics*. 2006. Vol. 39. P. S637.
- [35] Гринченко В. Т., Макаренков А. П., Макаренкова А. А. Компьютерная аускультация – новый метод объективизации характеристик звуков дыхания. *Клиническая информатика и телемедицина*. 2010. Т. 6, № 7. С. 31–36.
- [36] Вовк И. В., Гринченко В. Т., Макаренков А. П. Акустика дыхания и сердечной деятельности. *Акустичний вісник*. 2011. Т. 14, № 1. С. 3–19.
- [37] Вовк И. В., Гринченко В. Т., Мацыпура В. Т. *Волновые задачи акустики*. Киев : Интерсервис, 2013. 571 с.
- [38] Гринченко В. Т., Мацыпура В. Т., Снарский А. А. *Фракталы: от удивления к рабочему инструменту*. Киев : Наукова думка, 2013. 269 с.
- [39] Городецька Н. С., Неділько О. А. Трансформація згинних хвиль на вертикальній границі у ступінчастому хвильоводі. *Доповіді НАН України*. 2014. № 9. С. 55–60.

- [40] Grinchenko V. T., Matsypura V. T., Vovk I. V. The nature of respiration noise and its multifractal properties. *Acoustical Physics*. 2013. Vol. 59, no. 5. P. 590–600.
- [41] Вовк І. В., Малюга В. С. Контроль излучения звука потоком в нерегулярном канале. *Доповіди НАН України*. 2015. № 1. С. 50–55.
- [42] Вовк І. В., Малюга В. С. Автоколебания струи, натекающей на клин. Механизм возникновения обратной связи. *Доповіди НАН України*. 2015. № 1. С. 50–55.
- [43] Городецька Н. С., Нікішов В. І., Щербак Т. М. Розсіювання поверхневих гравітаційних хвиль підводним прямокутним бар'єром. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія фізико-математичні науки*. 2015. № 4. С. 29–34.
- [44] Гомилко А. М., Савицкий О. А., Трофимчук А. Н. *Методы суперпозиции, собственных функций и ортогональных многочленов в граничных задачах теории упругости и акустики*. Киев : Наукова думка, 2016. 416 с.
- [45] Grinchenko V. T., Vovk I. V., Malyuga V. S. Self-induced oscillations of a jet flowing over the wedge. The mechanism of appearance of the feedback. *Journal of Mathematical Sciences*. 2017. Vol. 220. P. 265–272.
- [46] Borysyuk A. O. An approximate method to find changes in the blood flow rate due to planar pathological tortuosity of a larger coronary artery. *Cardiology and Cardiovascular Research*. 2017. Vol. 1, no. 1. P. 7–17.
- [47] Грінченко В. Т., Городецька Н. С. Про особливості спектру власних частот пружних тіл. *Доповіди НАН України*. 2018. № 5. С. 22–27.
- [48] Shcherbak T. M., Nikishov V. I., Gorodetska N. S. On the scattering of surface waves by underwater obstacles. *International Journal of Fluid Mechanics Research*. 2019. Vol. 46, no. 1. P. 295–308.
- [49] Grinchenko V. T., Vovk I. V., Matsypura V. T. *Acoustic wave problems*. Connecticut : Begell House, 2019. 439 p.
- [50] Rudnitskii A. G. Mathematical morphology approach for single-channel processing of auscultative sound. *Journal of Applied Mathematics and Computation*. 2019. Vol. 3, no. 5. P. 616–626.
- [51] Basovsky V. G., Gorban I. M., Khomenko O. V. Modification of hydrodynamic and acoustic fields generated by a cavity with fluid suction. *Modern mathematics and mechanics*. Cham : Springer Nature Switzerland AG, 2019. P. 137–158.
- [52] Vovk I. V., Matsypura V. T., Trotsenko Y. P. Excitation of self-sustained jscillations by a flow of liquid in a cylindrical duct with two diaphragms. *Journal of Mathematical Sciences*. 2020. Vol. 247, no. 2. P. 258–275.

- [53] Trotsenko Y., Vovk I. Numerical simulation of the 3-D flow in a cylindrical duct with two diaphragms at low Mach numbers. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics, Sofia*. 2020. Vol. 50, no. 2. P. 190–201.
- [54] Oliynik V. N. A statistical algorithm for fast estimation of heart rate and localization of cardiac sounds in phonocardiograms recorded by electronic stethoscopes. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Physics and Mathematics*. 2021. no. 3. P. 81–84.
- [55] Nonlinear vibrations in homogeneous nonprismatic Timoshenko cantilevers / Navadeh N., Sareh P., Basovsky V., Gorban I., and Fallah A. S. *Journal of Computational and Nonlinear Dynamics*. 2021. Vol. 16, no. 10. P. 101002.
- [56] Oliynik V. N. On adaptation of certified models of electronic stethoscopes to a smartphone-based system for digital auscultation. *Journal of Electrical and Electronics Engineering*. 2022. Vol. 15, no. 2. P. 64–69.
- [57] Wave scattering on finite wedge-shaped objects / Grinchenko V., Vovk I., Husak V., and Matsypura V. *Advanced Structured Materials*. 2023. Vol. 191. P. 155–170.
- [58] Борисюк А. О., Себов Д. М. Наближений метод визначення змін у витратних характеристиках течії крові у великій коронарній артерії, зумовлених появою її патологічної звитості. Клінічне застосування. *Доповіді НАН України*. 2023. № 2. С. 24–36.
- [59] Сіренко В. М., Батутіна Т. Я., Олійник В. Н. Вплив акустопружної взаємодії на формування акустичних навантажень під обтічником головної частини ракети. *Гідродинаміка і акустика*. 2024. Т. 3(93), № 3. С. 223–244.
- [60] Contemporary methods for the numerical-analytic solution of boundary-value problems in noncanonical domains / Mobarakeh P. S., Grinchenko V. T., Popov V. V., Soltannia B., and Zrazhevsky G. M. *Journal of Mathematical Sciences*. 2020. Vol. 247. P. 88–107.

ВІДДІЛ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ В ГІДРОАЕРОМЕХАНІЦІ ТА ЕКОЛОГІЇ

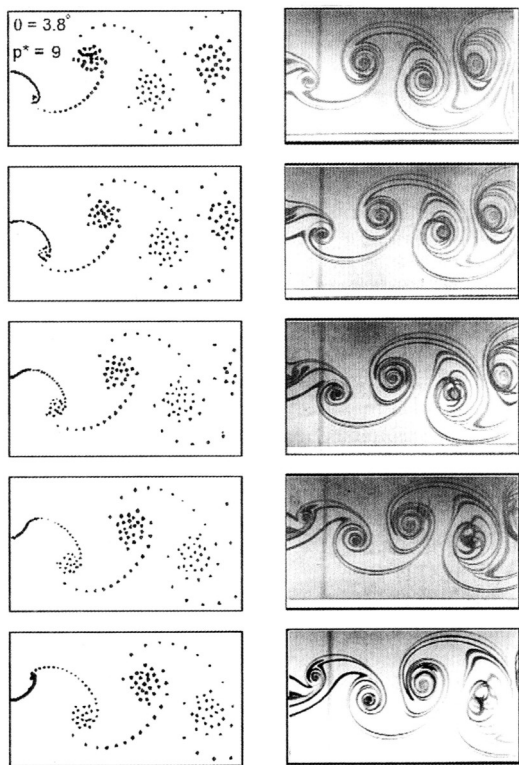
Відділ інформаційних систем в гідроаеромеханіці та екології створений у 2000 році на базі лабораторії гідродинаміки відривних течій відділу течій з вільними межами, якою керував канд. техн. наук А.І.Циганюк. Протягом тривалого часу відділ очолював академік НАН України, докт. фіз.-мат. наук, професор С.О.Довгий. З 2023 року завідувач відділу – канд. техн. наук, ст. наук. співробітник В.В.Мороз. Зараз у відділі працюють один доктор технічних наук і п'ять кандидатів наук.

Основною науковою експериментальною базою відділу є швидкісний гідродинамічний басейн, який входить до об'єкту «Експериментальний комплекс для гідродинамічних досліджень Інституту гідромеханіки НАН України», що становить національне надбання.

Володимир Васильович Мороз народився в 1956 році. У 1981 році закінчив Миколаївський кораблебудівний інститут імені адмірала С.Й.Макарова (нині Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова). В Інституті гідромеханіки працює з 1981 року. Пройшов шлях від інженера до завідувача відділу. Кандидат технічних наук з 1994 року, старший науковий співробітник з 2003 року. Автор 90 наукових публікацій, серед яких 13 патентів на винаходи. У 2013 році за цикл наукових праць з розробки нових методів експериментальних досліджень удостоєний премії ім. О.К.Антонова НАН України. Основний науковий напрямок його діяльності – експериментальні дослідження актуальних задач механіки рідин і газів, зокрема, нестационарна гідродинаміка погано обтічних тіл і гідроаеродинаміка швидкісних суден.



Основні наукові напрямками діяльності відділу

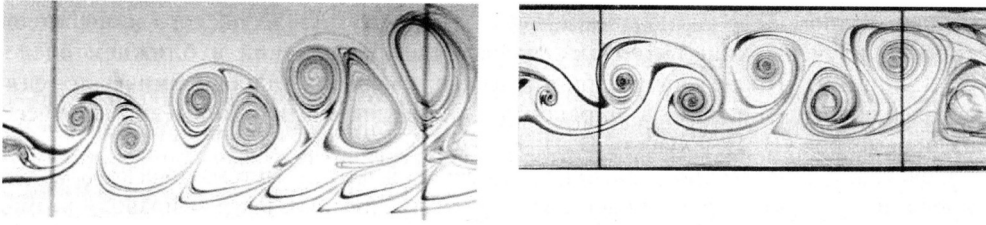


Результати чисельної та експериментальної візуалізації вихрового сліду за ізольованим крилом, що коливається

літальних та плавальних засобів, гідроаеродинаміка у відновлювальній енергетиці, створення автоматизованих систем збору та обробки інформації в гідродинамічному експерименті.

Поеднання якісного фізичного експерименту та математичного моделювання з застосуванням чисельного методу дискретних вихорів дозволило шляхом зіставлення та аналізу розрахункових та експериментальних даних вивчити фізичні закономірності вихрових течій у ближньому сліді (С.О.Довгий, О.В.Шеховцов [1, 16]). Зокрема, встановлено, що врахування нелінійних деформацій вихрової поверхні, яка сходить з крила, дає можливість коректно моделювати нестационарні ефекти, пов'язані з фазовим зсувом гідроаеродинамічних сил. Вона також дозволяє оцінити внесок сил інерційної, циркуляційної та вихрової природи й пояснити механізм виникнення результуючих гідроаеродинамічних сил для різних режимів коливань. Уперше в експериментальній практиці проведено візуалізацію вихрових утворень за системою крил в обмежених потоках, досліджено косі вихрові доріжки та вплив стінки на тягові характеристики крила-рушія.

Дослідницька стратегія відділу полягає в проведенні комплексних теоретико-експериментальних фундаментальних і прикладних досліджень у галузі нестационарної гідроаеродинаміки. Особлива увага приділяється дослідженню нестационарних відривних течій, які утворюються за тілами при складних умовах руху, наприклад, з прискоренням, гальмуванням, поблизу вільної поверхні, зі штучною вентиляцією відривної зони тощо. З метою реалізації дослідницької стратегії у відділі активно розвиваються та вдосконалюються математичні моделі динаміки відривних течій і метод дискретних вихорів. Експериментальні дослідження проводяться у швидкісному гідродинамічному басейні з залученням сучасних автоматизованих систем збору та обробки інформації. Тематика досліджень охоплює також такі напрямки як гідродинаміка та енергетика швидкісних суден, гідробіонічні принципи в проектуванні



*Коса вихрова доріжка за крилом поблизу твердої стінки (зліва)
та вихровий слід за крилом в каналі (справа)*

Результати експериментальної візуалізації використано на ДП «Національна кінематека України» при створенні навчальних фільмів «Види рухів рідини» та «Течії рідини та газу в трубопроводах». Комплексний метод досліджень дозволив виявити нові нелінійні нестационарні ефекти при коливаннях крил, які неможливо отримати з лінійної теорії.

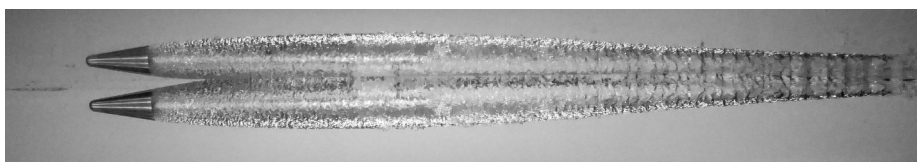
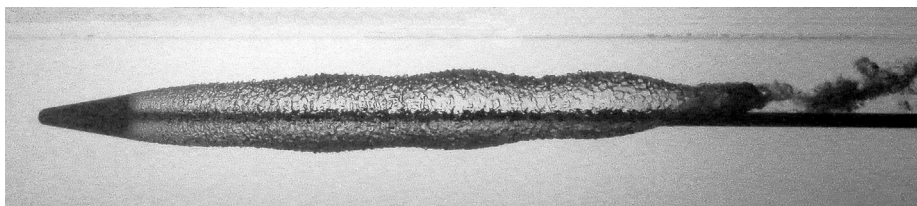
Отримані результати стали основою для проведення співробітниками відділу широкомасштабних досліджень крил і крила-рушія, що коливається, з урахуванням різних факторів та умов обтікання. Зокрема, досліджено коливання системи крил типу «біплан» і «тандем» поблизу твердих стінок, у каналі, на режимах відривного та безвідрывного обтікання (С.О.Довгий, О.В.Копійка [2, 3]).

У галузі чисельних методів розв'язання сингулярних інтегральних рівнянь з початковими даними удосконалено метод дискретних вихорів для вирішення нестационарних задач, що забезпечує задовільну збіжність для будь-якого ступеня нестационарності (О.В.Шеховцов [1]).

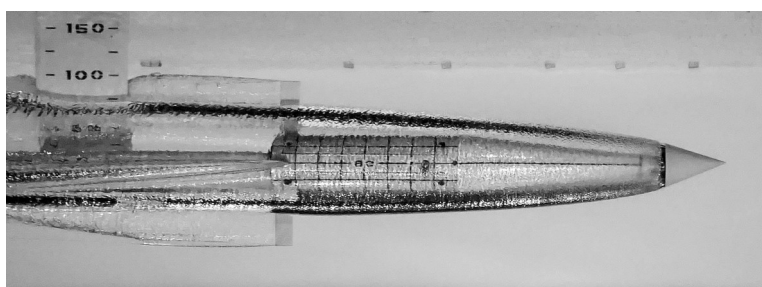
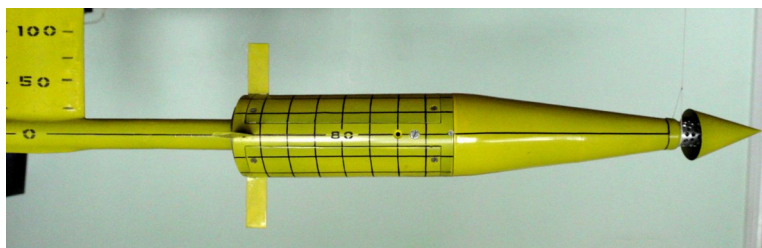
Розроблені у відділі теоретичні та експериментальні методики успішно використовуються для дослідження механізмів формування гідроаеродинамічних сил при русі гідробіонтів і комах, що дозволило вирішити низку завдань гідробіоніки. Зокрема, досліджено пропульсивні характеристики крила-рушія, що коливається, з двома ступенями свободи. У нелінійній постановці чисельно вирішено оптимізаційні задачі теорії крила-рушія та отримано формулу для ідеального ККД плавцевого рушія з двома ступенями свободи (О.В.Шеховцов).

За результатами комплексних досліджень С.О.Довгим і співробітниками відділу запропоновано ряд технічних рішень для практичного використання крил, що коливаються, в авіації та суднобудуванні, отримані патенти та авторські свідоцтва на винаходи.

Окремий різновид відривної течії – вентилярована відривна течія, коли в зону відриву за погано обтічним тілом (кавітатором) штучно подається повітря. Вентиляція відривних течій застосовуються при конструюванні швидкісних суден з метою зменшення їхнього гідродинамічного опору. Нестационарність потоку може бути викликана як його прискоренням чи гальмуванням, так і зміною позиційних характеристик тіла відносно потоку (наприклад, зміною кута атаки чи близькістю схвильованої вільної поверхні). Основна увага приділялася кавітаторам конусної форми, які розглядаються також як органи керу-



*Характерний вигляд пульсуючої вентилярованої відривної течії (згори)
та вентилярованої відривної течії поблизу вільної поверхні (знизу)*

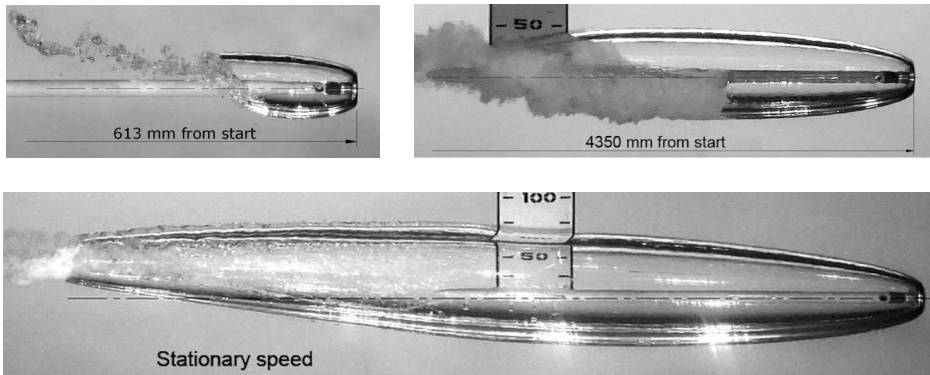


*Схематизований суперкавітуючий підводний апарат з конусним кавітатором
і вентилявана відривна течія навколо нього*

вання рухом суперкавітуючого підводного апарата.

На основі результатів експериментальних досліджень в дослідному басейні запропоновано апроксимаційні залежності коефіцієнта опору та коефіцієнта підйімальної сили нахилоного конусного кавітатора від кута повороту. Показано, що конуси з малим (менше 40°) кутом при вершині можуть бути більш ефективними органами керування, ніж еквівалентні дискові кавітатори (В.О.Кочін, В.В.Мороз, В.В.Серебряков [4, 5]).

Проведено експериментальні дослідження процесу виникнення та розвитку вентиляваних відривних течій при русі кавітаторів зі стану спокою з прискоренням до сталої



*Виникнення та розвиток вентилярованої відривної течії в процесі розгону
дискового кавітатора зі стану спокою*

швидкості. Встановлено кінематичні умови, при яких відбувається порційний витік газу з вентилярованої відривної течії та умови, за яких реалізується витік газу по вихровим трубкам (В.О.Кочін, В.В.Мороз [6]).

За результатами системних теоретико-експериментальних досліджень суттєвим чином удосконалено методику розрахунку параметрів нестационарних вентилятованих відривних течій за тілами, що рухаються в складних кінематичних умовах (В.О.Кочін, В.В.Мороз, В.В.Серебряков [7, 8]). При цьому використовувалась математична модель нестационарної кавітаційної течії, яка базується на принципі Г.В.Логвиновича про незалежність розширення поперечних перерізів кавітаційної течії.

Після аварії на Чорнобильській АЕС стали надзвичайно актуальними проблеми, пов'язані із поширенням забруднень у навколишньому середовищі. У відділі розроблено ефективні математичні моделі процесу масопереносу техногенних забруднень на основі оперативного метеопрогнозу з урахуванням рельєфу місцевості та стратифікації атмосфери.

На основі геоінформаційних технологій розроблено систему «Інформчорнобиль», а також низку систем моніторингу та управління при дослідженні екологічних катастроф, систем у галузі охорони навколишнього середовища та дослідження природних ресурсів, систем підтримки прийняття рішень на основі математичного моделювання та експертних оцінок (С.О.Довгий, О.В.Копійка, А.І.Циганюк). Основні наукові результати у цій галузі відображені у публікаціях [9–14].

Інший важливий науковий напрям робіт відділу – гідробіонічні експериментальні дослідження кінематики плавання та гідродинаміки морських тварин з подальшим технічним моделюванням. За цим напрямом у відділі склалася наукова школа, яку очолює докт. техн. наук, проф. В.В.Бабенко. Під його керівництвом захищено 7 кандидатських дисертацій. У доробку школи, зокрема, є відкриття властивості шкіри китоподібних активно регулювати гідродинамічний опір плаванню та низка монографій, опублікованих у провідних наукових видавництвах світу [15, 17, 18].

Експериментальні дослідження гідродинаміки тварин, які швидко рухаються під водою, ґрунтуються на найновіших дослідженнях про фізіологічні, морфологічні та еволюційні особливості їхньої локомоції. Це дало уявлення про те, як тварини, в тому числі дельфіни та акули, можуть маневрувати під водою на високих швидкостях. Це дозволило запропонувати модель для технологічного вдосконалення підводного руху. Розроблено гідробіонічний підхід до вирішення гідромеханічних задач. Досліджено та систематизовано структурні особливості систем організму та їхню взаємодію під час руху швидкопливаючих гідробіонтів – зокрема, дельфінів, акул, меч-риб, пінгвінів та інших, – які спрямовані на зменшення гідродинамічного опору та витрат енергії. Досліджено вплив змінної форми та виступаючих частин тіла, а також нелінійності та нестационарного руху гідробіонтів на опір руху.

Окрім цього, було проведено фундаментальне дослідження примежового шару та розроблено методологію керування вихровими структурами в ньому, в тому числі, на еластичних криволінійних поверхнях (В.В.Бабенко [19]).

Іншим важливим науковим напрямом робіт у галузі експериментальної гідробіоніки стало вивчення кінематики та гідродинаміки плавцевого рушія морських тварин з подальшим технічним моделюванням (В.М.Глушко, В.П.Каян [20]). Створені оригінальні дослідні установки дозволили отримати великий експериментальний матеріал щодо кінематики плавання різних видів риб і чорноморських дельфінів. Зокрема, встановлено залежності частоти та амплітуди коливань хвостового плавця, швидкості хвилі, яка біжить по тілу водної тварини, від її розмірів і швидкості. У результаті вдалось отримати узагальнені залежності гідродинамічних характеристик від геометричних і кінематичних параметрів плавцевих рушіїв.

Природним продовженням цих біонічних досліджень стали експерименти щодо гідродинаміки жорсткого та гнучкого крила на спеціально спроектованих з цією метою експериментальних установках (В.М.Глушко, В.П.Каян [21]). В одній із них прямокутне крило коливалося в оберненому потоці рідини у вертикальній площині з регульованими величинами частоти, лінійної та кутовий амплітуд коливань. При цьому реєструвалися миттєві величини поздовжніх і поперечних гідродинамічних сил, які діють на крило. Іншу експериментальну установку було виконано у вигляді видовженого тіла, що обтікається, встановленого на вертикальному пілоні в робочій частині гідродинамічної труби. У кормовій частині тіла встановлювався електромагнітний привід для збудження кутових коливань приводного важеля із встановленим на його вільному кінці пружним крилом. При цьому вимірювалася тяга, створювана таким плавцевим рушієм.

На основі численних експериментальних даних побудовано криві дії плавцевого рушія, що пов'язують коефіцієнт тяги та коефіцієнт корисної дії з величиною відносного ходу крила, що коливається, і відображають зв'язок між кінематичними характеристиками крила та швидкістю набігаючого потоку (В.М.Глушко, В.П.Каян [21]). Отримані результати дозволили оптимізувати кінематичні та гідродинамічні характеристики плавцевого рушія з точки зору отримання максимального коефіцієнта корисної дії.

Виявлено, що при відносній лінійній амплітуді коливань крила $= (0,5 \dots 1)$ одночасна оптимізація обох пропульсивних параметрів досягається при величині відносної

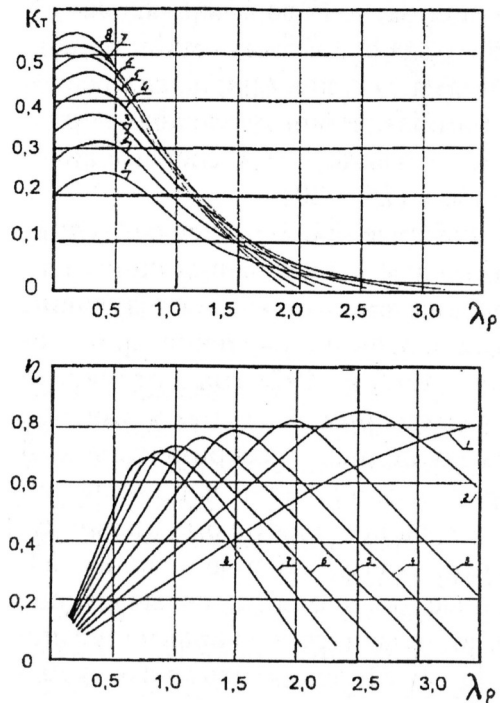
ходи $\lambda_p = 1, 1$, а зі збільшенням A величина λ_p збільшується незначно. Порівняння з результатами дослідження кінематики плавання дельфінів виявило несподіваний результат. Виявилося, що під час рівномірного плавання їхній плавцевий рушій працює при $\lambda_p = (0,9 \dots 1,3)$. При цьому величина λ_p хвостового плавця, що коливається, становить $(1,1 \dots 1,5)$, тобто дельфін рефлекторно коливає хвостовий плавець так, щоб забезпечити максимальну ефективність роботи свого плавцевого рушія В.М.Глушко, В.П.Каян [21]).

Дослідження гнучкого прямокутного крила з пасивно деформованим профілем показали, що воно, на відміну від аналогічного жорсткого крила, створює позитивну гідродинамічну тягу в усьому дослідженому діапазоні величин відносної ходи.

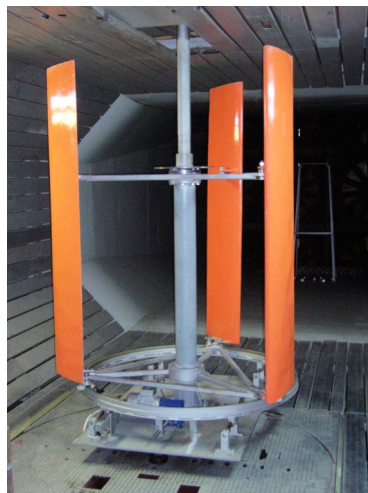
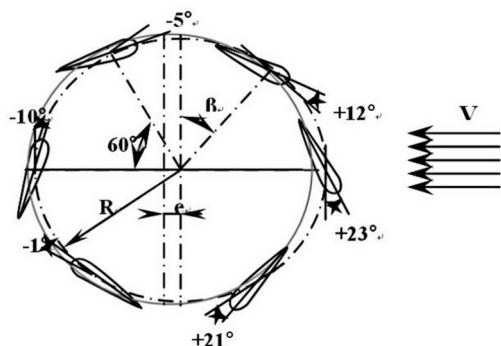
Також співробітниками відділу виконані роботи в галузі вітроенергетики. Теоретично та експериментально досліджувався вплив нестационарних процесів на аеродинамічні характеристики багатоголопастних вертикально-горизонтально-осьових роторів вітроустановок. Розроблено, виготовлено та експериментально випробувано модель ротора вітроустановки з трьома прямокутними лопатями, які при обертанні ротора здійснюють кутові коливання. Апробовано ефективні схеми та способи підвищення гідродинамічних характеристик лопатей і потужності характеристик ротора. Запатентована згодом конструкція ротора дозволила отримати високі значення коефіцієнта його потужності при досить низьких швидкостях потоку, що набігає (А.І.Циганюк, В.М.Пархісенко, О.В.Шеховцов, В.П.Каян [22]).

Тоді ж проводилися роботи з використання явища ерліфт-ефекту для стабілізації параметрів вихідної потужності генератора вітроустановки. Були розроблені й запатентовані схеми та конструкції вітроустановок з пневматичними акумуляторами та перетворювачами енергії, засновані на використанні ерліфт-ефекту. Це дозволяє вирішити проблему напруги та стабілізації вихідної потужності вітроустановок в умовах нестабільного вітрового навантаження на вітроколесо (В.М.Глушко, А.І.Циганюк та ін. [22]).

Протягом тривалого часу досліджувались закономірності розвитку процесів у при-



Залежність коефіцієнта тяги K_T та гідродинамічного ККД η крила-рушія при $A = 0,67$ від відносної ходи λ_p і амплітуди кутових коливань β від 0° до 21° з кроком 3° (криві від 1 до 8 відповідно)



*Зміна кута повороту лопаті та модель вітроротора
з вертикальною віссю обертання в аеродинамічній трубі*

межовому шарі та методи керування його характеристиками (А.І.Циганюк). Розроблено методи розрахунку інтегральних характеристик примежового шару за наявності розподіленого відсмоктування, вдування однорідної рідини, подачі в примежовий шар неньютонівської рідини, а також метод комбінованого керування примежовим шаром за допомогою вдуву й відсмоктування рідини. Останній дозволяє суттєво розширити діапазон ефективності керування на більш високі числа Рейнольдса за допомогою відсмоктування рідини з пристінної загальмованої його області на шорстких поверхнях задля ламінаризації примежового шару. Ефективність методу досягається завдяки штучному потовщенню примежового шару носової частини обтічного тіла в режимі докритичних чисел Рейнольдса [23].

На пластинах і на моделі тіла обертання діаметром 220 мм і довжиною 2200 мм у дослідному басейні у водному середовищі було експериментально вивчено вплив розподіленого відсмоктування на ламінаризацію примежового шару, величину пульсацій швидкостей в ньому та на гідродинамічний опір. Визначено режими відсмоктування, при яких гідродинамічний опір моделі знижувався вдвічі. Було знайдено залежність ступеня турбулентності в примежовому шарі від швидкості буксирування моделі та від інтенсивності відсмоктування. При цьому відстань від носика моделі до точки переходу ламінарного примежового в турбулентний збільшувалась у 18 разів, а рівень турбулентних пульсацій швидкості в примежовому шарі в діапазоні частот від 6 Гц 500 Гц зменшувався на 30 дБ (А.І.Циганюк).

Для технічного втілення в практику методів керування примежовим шаром велике значення мають вибір пристрою та способу подачі або відсмоктування рідини. Такі пристрої можуть бути виконані у вигляді пористих проникних покриттів, сопел чи щілин. Співробітниками відділу було досліджено течії в пористих покриттях та отримано спів-

відношення гідродинамічних параметрів, при яких існують ламінарний і турбулентний режими течії. Розроблено та запатентовано спосіб і пристрій подачі рідини в пристінну область обтічної поверхні.

Проводилися також дослідження течій у криволінійному пристінному струмені нестисливої рідини (ефект Коанда) в залежності від радіусу кривизни поверхонь і висоти сопла, через яке подається рідина (А.І.Циганюк). Встановлено закономірності та умови, за яких керуючий струмінь прилипає до криволінійної поверхні. Отримані результати та виявлені ефекти були успішно застосовані при розробці різних технічних пристроїв, наприклад, ежекторів, змішувачів, пристроїв провітрювання тупикових зон, ставків-охолоджувачів, пиловідділювачів, гідроаероповітряних завіс тощо.

Бібліографія

- [1] Довгий С. А., Шеховцов А. В. Усовершенствованный метод дискретных вихрей. *Обчислювальна та прикладна математика*. 1997. № 2 (82). С. 30–44.
- [2] Довгий С. А., Копейка О. В. Влияние твердой поверхности на гидродинамические характеристики двух колеблющихся крыльев при их нелинейном взаимодействии. *Бионика*. 1990. № 24. С. 28–33.
- [3] Довгий С. А., Копейка О. В. Исследования гидродинамических характеристик двух колеблющихся крыльев в системе типа «биплан». *Бионика*. 1993. № 26. С. 69–74.
- [4] Hydrodynamics of supercavitating bodies at an angle of attacks under conditions of considerable effect of fluid weightiness and closeness of free border / Kochin V., Moroz V., Serebryakov V., and Nechitailo N. *Journal of Shipping and Ocean Engineering*. 2015. Vol. 5. P. 255–265.
- [5] Experimental study on planing motion of a cylinder at angle of attack in the cavity formed behind an axisymmetric cavitator / Serebryakov V., Moroz V., Kochin V., and Dzielski J. *Journal of Ship Research*. 2020. Vol. 64, no. 2. P. 139–153.
- [6] Formation and development of ventilated supercavity past the disk–cavitator in accelerated motion / Moroz V., Kochin V., Semenenko V., and Naumova O. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2023. Vol. 7, no. 2. P. 160–171.
- [7] Dynamics of supercavitating vehicles with cone cavitators / Semenenko V., Kochin V., Moroz V., and Naumova O. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2022. Vol. 6, no. 1. P. 85–96.
- [8] Theoretical and experimental study of dynamics of supercavitating vehicles with cone cavitators / Moroz V., Kochin V., Semenenko V., and Paik B.-G. *Гідродинаміка і акустика*. 2024. Vol. 3(93), no. 2. P. 170–197.
- [9] Довгий С. О. *Еволюція вихорових структур в атмосфері та водних потоках*. Київ, 1997. 119 с.

- [10] Довгий С. А., Калинин В. М. *Использование геоинформационных технологий в системах охраны окружающей среды и исследования природных ресурсов: том 1*. Киев, 1995. 249 с.
- [11] Довгий С. А., Калинин В. М. *Использование геоинформационных технологий в системах охраны окружающей среды и исследования природных ресурсов: том 2*. Киев, 1995. 409 с.
- [12] Довгий С. О., Копійка О. В., Калінін В. М. *Автоматизована система для підтримки прийняття рішень при ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС*. Київ, 1995. 112 с.
- [13] Довгий С. А., Копейка О. В., Прусов В. Л. *Гидродинамические модели в геофизических средах*. Киев, 1996. 136 с.
- [14] Довгий С. А., Прусов В. Л., Копейка О. В. *Математическое моделирование техногенных загрязнений окружающей среды*. Киев : Наукова думка, 2000. 284 с.
- [15] Babenko V. V. *Experimental hydrodynamics of fast-floating aquatic animals*. London : Academic Press, 2020. 270 p.
- [16] Довгий С. А. *Численные методы решения уравнений гидроаэродинамики крыла*. Киев : Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, 1996. 123 с.
- [17] Babenko V. V. *Experimental hydrodynamics for flow around bodies*. London : Academic Press, 2021. 676 p.
- [18] Babenko V. *Interaction of disturbances in shear flows. Bio-based solutions for aero- and hydrodynamic efficiency*. London : Elsevier, 2024. 650 p.
- [19] Babenko V. V., Chun H. H., Lee I. *Boundary layer flow over elastic surfaces. Compliant surfaces and combined methods for marine vessel drag reduction*. Amsterdam : Butterworth-Heinemann, 2012. 613 p.
- [20] Глушко В. Н., Каян В. П. Экспериментальное исследование гидродинамики жесткого колеблющегося крыла. *Бионика*. 1992. № 25. С. 71–75.
- [21] Глушко В. Н., Каян В. П., Кочин В. А. Об оптимизации пропульсивных характеристик машущего движителя. *Бионика*. 1992. № 25. С. 75–80.
- [22] Пархісенко В. М., Циганюк О. І., Шеховцов О. В. Експериментальні дослідження кінематичних та динамічних характеристик роторних перетворювачів енергії потоків з активною перекладкою лопатей. *Вісник Донбаської ДАБА*. 1999. № 99-6 (20). С. 110–113.
- [23] *Формирование турбулентности в сдвиговых течениях* / Козлов Л. Ф., Цыганюк А. И., Бабенко В. В. и Никишова О. Д. Киев : Наукова думка, 1985. 284 с.

ВІДДІЛ МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОТЕРМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Відділ моделювання гідротермічних процесів Інституту гідромеханіки НАН України було створено в 1991 році з метою розширення фундаментальних досліджень з фізико-хімічної гідродинаміки та їх застосування в практичних завданнях охорони навколишнього середовища. У відділі працюють висококваліфіковані наукові співробітники, серед яких один член-кореспондент НАН України, три доктори й чотири кандидати наук, провідний інженер, головний інженер, інженер-механік, по одному інженеру 1-ої та 2-ої категорій. З моменту створення відділ очолює член-кореспондент НАН України професор Є.І.Никифорович.

Євген Іванович Никифорович народився в 1955 році в Латвійській Республіці. У 1977 році він з відзнакою закінчив механіко-математичний факультет Московського державного університету, отримавши диплом за спеціальністю механіка, та вступив до аспірантури Московського державного університету за спеціальністю механіка рідини, газу та плазми, яку закінчив 1980 року. За цією ж спеціальністю в 1982 році став кандидатом, а в 1991 році – доктором фізико-математичних наук. У 2002 році Є.І.Никифорович отримав атестат професора, а в 2019 році його було обрано членом-кореспондентом Національної академії наук України. Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (2018 рік), заслужений діяч науки і техніки України (2015 рік).



Основні наукові напрямки діяльності

Наукові зусилля провідних учених відділу спрямовані на дослідження процесів переносу в термодинамічно нерівноважних суцільних середовищах. Серед них:

- моделі багатокомпонентних стратифікованих середовищ, їхні асимптотичні властивості, динаміка завихреності й стратифіковані примежові шари при наявності масових сил;
- моделі турбулентності та гідродинаміка плавучих турбулентних струменів у поперечному потоці, перенесення й дифузії домішок в атмосфері;
- експериментальні дослідження щодо керування течіями з застосуванням НВЧ-випромінювання та генерації плазми;
- експериментальні й теоретичні дослідження гідротермодинамічних процесів у елементах теплових насосів і водневих паливних елементах задля оптимізації їх роботи та підвищення енергоефективності;
- моделювання та оптимізація спільної роботи теплових насосів з відновлюваними джерелами енергії;
- розробка методів розрахунку й оцінок теплової ємності акумуляторів тепла різної природи;
- моделювання енергетичних характеристик вертикальних теплообмінних пристроїв для використання геотермального тепла.

Найвагоміші наукові результати співробітників відділу

Розроблено новий ефективний чисельний метод інтегрування системи нестационарних рівнянь Нав'є–Стокса для нестисливої рідини з використанням рознесених сіток. Метод широко апробовано на прикладах розрахунку тонкої вихрової структури течій і полів тиску в плоскому каналі при наявності на стінках різних геометричних неоднорідностей, адаптовано для розрахунку такого класу течій в умовах ламінарного й турбулентного режимів. Досліджено двовимірну течію нестисливої рідини в плоскому каналі з прямокутною каверною, яка розташована на його нижній стінці. Вивчено вплив геометричних розмірів каверн і двох форм профілю поздовжньої швидкості в каналі перед каверною на вихорові структури течії в околі та всередині каверни при різних числах Рейнольдса (Є.В.Бруязький, О.Г.Костін, Є.І.Никифорович).

Для розв'язання прикладних задач розроблено нестационарну математична модель геотермальної системи «навколишнє середовище – тепловий насос» з урахуванням просторово-часової мінливості поля температур у навколишньому середовищі та енергетичних характеристик теплового насоса. На основі отриманих чисельно-аналітичних

результатів сформульовано нові науково-технологічні підходи до розвитку інноваційних стратегій конструювання стійких геотермальних систем (Є.І.Никифорович).

Виконано моделювання гідротермодинамічних процесів у складних течіях з використанням нового ефективного алгоритму чисельного інтегрування рівнянь руху в'язкої рідини. Для випадку течії у плоскому каналі з розташованими на його стінці перешкодами у вигляді квадратного виступу та прямокутної каверни визначено характеристики полів течії та тиску при різних числах Рейнольдса. Запропоновано методику комп'ютерного дослідження полів тиску на локальних ділянках задля визначення гідродинамічних сил опору розташованих у каналах перешкод складних конфігурацій, обчислених як різниця опорів ділянок плоского каналу з неоднорідністю та без неї (Є.В.Бруяцький, О.Г.Костін).

Побудовано математичну модель сильно нерівноважної термодинамічної системи «ґрунт – енергетичний колодязь – геотермальний тепловий насос» за умови неперервності температури й теплових потоків між її елементами. Чисельно-аналітичними методами було досліджено стаціонарний випадок функціонування такої системи (Є.І.Никифорович).

Запропоновано ефективний метод чисельного розв'язання задач термогравітаційної конвекції у змінних швидкість–тиск–температура. На його основі чисельно досліджено термогравітаційну конвекцію нестисливої рідини всередині замкнутої квадратної або прямокутної області, вертикальні стінки якої мають різну температуру, а горизонтальні теплоізовані. У рамках наближення Бусинеска детально вивчено особливості полів швидкості, тиску й температури в квадратній і прямокутній областях залежно від чисел Грасгофа та Прандтля. На основі розрахунку миттєвих значень швидкості й температури показано існування сталої конвекції, перехідного та нестаціонарного її режимів залежності від чисел Грасгофа та Прандтля (Є. В. Бруяцький, О.Г.Костін).

Розвинено нестаціонарну феноменологічну теорію вертикальних геотермальних систем, які розглядаються як термодинамічно сильно нерівноважні гідротермодинамічні системи. Уведено фундаментальні енергетичні характеристики системи, які повністю визначають якісні та кількісні властивості енергії, що екстрагується. На основі цієї теорії запропоновано нові технологічні підходи до побудови оптимальних геотермальних систем (Є.І.Никифорович).

Розвинено метод контрольного об'єму, заснований на дискретизації інтегральних законів збереження маси, імпульсу та енергії при ламінарному й турбулентному режимах течії нестисливої або стратифікованої рідини. У змінних швидкість–тиск проведено розрахунки складних течій, які ілюструють можливості методу (Є.І.Никифорович, Є.В.Бруяцький, О.Г.Костін).

Розроблено методику розрахунку нестаціонарних гідродинамічних течій на морській поверхні з урахуванням впливу вітрового навантаження в акваторіях зі складною геометрією берегової лінії. Такий підхід дозволяє сформулювати короткостроковий прогноз поширення поверхневого забруднення на морі чи в океані з урахуванням глобальних течій і локального прогнозу сили та напрямку вітру. На цій основі розроблено пакет прикладних програм для кількісного моделювання процесу еволюції забруднення під дією поверхневих течій в умовах океану, внутрішніх морів і в гирлах річкових систем (Є.І.Никифорович).

кифорович, О.А.Гуржій)

На основі виявлених закономірностей запропоновані нові методи інтенсифікації теплообміну у пакетах оребрених труб за допомогою конфузорного підгинання ребер, а також нові типи інтенсифікованих поверхонь – плоскоовальні труби з неповним оребренням і труби з накатним пелюстковим оребренням. Розроблені нові теплообмінні поверхні з сітчасто-дротяним оребренням для потреб радіоелектронної промисловості. Поєднання глибоких фундаментальних досліджень з розв'язанням важливих практичних задач в інтересах енергомашинобудування, енергетики та інших галузей промисловості. Розроблено інженерні методики розрахунку теплообміну та аеродинамічного опору трубчастих поперечно-оребраних конвективних поверхонь нагріву. Вони пройшли широку апробацію на енергомашинобудівних підприємствах, у науково-дослідних та проектно-конструкторських організаціях, що займаються розробкою теплообмінного обладнання в Україні та далеко за її межами, та були визнані найбільш точними й універсальними (Є.М.Письменний).

Розроблено методи визначення потреб ексергії для створення теплового комфорту всередині будинку, параметрів природної вентиляції будинку та критеріїв обґрунтування впровадження енергоефективних заходів у його системі вентиляції, критеріїв обґрунтування параметрів приведення опору теплопередачі обгороджувальної конструкції будівлі на основі врахування статистично випадкового характеру впливу метеорологічних факторів під час опалювального періоду та в багаторічному перерізі. Це дало можливість змодельовувати та обґрунтувати рішення в системах теплозабезпечення будівель з урахуванням зміни їхніх режимів роботи (Є.І.Никифорович, В.А.Волощук).

На основі вивчення фундаментальних механізмів формування та поведінки вихорів, зокрема, їх селективної реакції на масштаб уведених збурень, запропоновано стратегію керування течіями з малими енерговитратами. Вона полягає в ініціації властивої потоку поздовжньо-вихрової структури та її підтриманні з заданим масштабом вихорів. У рамках сформульованої стратегії розроблено ряд інженерних рішень щодо генерації поздовжніх вихорів у примежовому шарі. Показано можливості, переваги й недоліки реалізації пасивних та активних способів керування управлінням течією, включаючи локалізоване дистанційне підведення енергії за допомогою НВЧ випромінювання. Виконано експериментальні дослідження пасивного керування течією на плоскій і криволінійній поверхнях, а також навколо погано обтічних тіл. Продemonстровано можливість підвищення аеродинамічного якості поперечно обтічного кругового циліндра, а саме, підвищення підйомної сили при одночасному зниженні опору, за допомогою механічної системи сферичних віхрегенераторів, встановлених із заданим кроком уздовж твірної (Н.Ф.Юрченко, П.М.Виноградський).

На основі гібридного LES/URANS підходу розвинено чисельну модель турбулентної течії нестисливої рідини з поперечною перешкодою на стінці при початковому турбулентному межовому шарі з нульовим повздовжнім градієнтом тиску та розроблено метод тривимірної візуалізації результатів чисельних досліджень турбулентної течії. Уперше використано чисельні значення компонентів швидкості та параметра когерентності (набір порогових величин) для тривимірної візуалізації та ідентифікації когерентних ви-

хрових структур великого масштабу. Встановлено, що при візуалізації розміри організованих структур відрізняються в декілька разів. Чим більшим є порогове значення параметра когерентності, тим менші розміри структур, причому, по-різному на кожній з ділянок. Для правильного фізичного розуміння механізмів вихрових утворень різних типів течій у великій області обчислень потрібно візуалізовувати когерентні структури за допомогою тривимірних ізоповерхонь з оптимальним набором порогових величин параметра когерентності (В.Г.Кузьменко).

Методи стратегічного планування систем теплопостачання в містах розроблено за допомогою методик активного залучення зацікавлених сторін – participatory backcasting, моделювання за участі зацікавлених сторін (participatory modelling), теорії системних інновацій соціотехнічних систем (system innovations/transition studies) (К.В.Переверза).

Міжнародне співробітництво в енергетичній галузі

Пріоритетні розробки світового рівня

Високий рівень та актуальність проведених фундаментальних досліджень дозволяють вирішувати важливі практичні завдання. Так, при проектуванні та експлуатації енергетичних об'єктів широко використовуються розроблені у відділі метод теплових розрахунків та оцінок впливу на навколишнє середовище систем охолодження теплових і атомних електростанцій, а також струминно-дифузійна модель розрахунку хімічного й радіоактивного забруднення атмосфери викидами промислових підприємств. Співробітниками відділу спільно зі шведськими колегами з Королівського Технологічного Інституту (м. Стокгольм) було розроблено феноменологічну теорію вертикального джерела приповерхневого геотермального тепла для функціонування теплових насосів і на її основі розвинено методи розрахунку потужності вертикального приповерхневого геотермального енергетичного колодязя.

Результати цієї роботи дозволили вперше ввести та формалізувати поняття дебіту приповерхневої геотермальної свердловини, кількості та якості тепла, що екстрагується з її допомогою. З практичної точки зору йдеться про кількісну оцінку теоретичної межі частини потужності джерела, яку можна перетворити на корисну енергію, придатну для використання. Така межа є найважливішою характеристикою будь-якої технології, яка використовує відновлювані джерела енергії. Її знання необхідне для побудови розумних систем теплозабезпечення на базі використання відновлюваних джерел енергії, визнаних у Європейському Союзі найперспективнішими для переходу до зеленої енергетики.

Слід зауважити, що до проведення наших спільних робіт зі Стокгольмським Королівським Технологічним Інститутом таку теоретичну межу для вертикальних енергетичних колодязів, які використовують приповерхнєве геотермальне тепло, встановлено не було. Розроблену теорію повністю підтверджено експериментальними дослідженнями. Отримані результати були опубліковані в провідних світових виданнях, доповідалися на найпрестижніших конференціях і були позитивно сприйняті світовою науковою громадськістю.

Спільна шведсько-українська лабораторія «Сталі енергетичні технології»

Співробітники відділу беруть активну участь у виконанні й практичній реалізації низки наукових та освітніх міжнародних інноваційних проєктів. Зокрема, член-кореспондент НАН України Є.І.Никифорович був координатором проєкту ERA-ІНМ Сьомої рамкової програми Європейського Союзу, ряду освітніх проєктів ТЕМПУС та проєктів, що фінансуються Шведським інститутом. У результаті цієї діяльності в 2007 році було підписано угоду про створення Спільної шведсько-української лабораторії «Сталі енергетичні технології». Це сприяло інтенсифікації співробітництва між провідними науковими та освітніми установами Швеції та України в галузі освіти, науково-дослідної та інноваційної діяльності.

Співпраця відділу з колегами зі Швеції дала можливість одержати обладнання для навчально-дослідницької лабораторії. Було доцільно створити таку лабораторію спільно з Національним технічним університетом України «Київський політехнічний інститут». Ідея обговорювалась з тодішнім президентом НАН України академіком Б.Є.Патоном, який її з ентузіазмом підтримав і доклав багато зусиль для того, щоб організувати спільну постанову Президії НАН України та Міністерства освіти і науки про створення лабораторії.

Офіційне відкриття лабораторії відбулося в 2007 році в присутності Б.Є.Патона, керівників політехнічного інституту, колег із Швеції, та представників Шведського посоль-



Груповий знімок учасників відкриття Спільної шведсько-української лабораторії «Сталі енергетичні технології» (2007 рік). У центрі сидять (зліва направо) академіки НАН України А.Г.Наумовець, Б.Є.Патон і М.З.Згуровський

ства. Було заслухано доповідь керівника лабораторії від Інституту гідромеханіки члена-кореспондента НАН України Є.І.Никифоровича про основні напрямки роботи та перспективи співпраці з бізнесовими структурами з метою розширення практичного використання новітніх джерел теплової енергії.

Спільна Шведсько-Українська науково-дослідна лабораторія (СНДЛ) створена на основі тристоронньої угоди між Королівським Технологічним Інститутом (Швеція, м. Стокгольм), Національним Технічним Університетом України «Київський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України та Інститутом гідромеханіки Національної академії наук України. Діяльність лабораторії спрямована на вирішення міждисциплінарних проблем створення та практичного використання відновлюваних джерел енергії, науково-технічних проблем підвищення енергоефективності, трансферу новітніх екологічно чистих технологій в енергетиці та комерціалізацію знань. Для вирішення цих задач передбачено широке залучення професорсько-викладацького складу, наукових співробітників, докторантів, аспірантів і студентів установ – учасників угоди. Освітня діяльність лабораторії здійснюється на основі широкого творчого співробітництва вчених з Національної академії наук і вищої школи. Вона забезпечує підготовку висококваліфікованих фахівців у галузі новітніх енергетичних технологій та індустріальної екології, післядипломну освіту працівників промисловості та популяризацію новітніх науково-технічних розробок.

Діяльність СНДЛ здійснюється за такими напрямками:

- експериментальні та теоретичні дослідження гідро-термодинамічних процесів в



Світлини з церемонії відкриття лабораторії

елементах теплових насосів, водневих паливних комірках і відновлювальних джерелах енергії з метою оптимізації їхньої роботи й підвищення енергоефективності;

- моделювання та оптимізація спільної роботи теплових насосів з відновлюваними джерелами енергії;
- розробка методів розрахунку та оцінок теплової потужності акумуляторів тепла різної природи;
- використання теплових акумуляторів для роботи теплових насосів;
- розробка екологічно безпечних технологій генерації та індустріального використання енергії.



Експериментальний стенд для лабораторного моделювання потужності геотермальних теплообмінників

За минулі роки в результаті діяльності лабораторії розроблено магістерський курс по відновлюваним джерелам енергії, організовано навчальну роботу студентів. Результати фундаментальних досліджень є частиною докторської дисертації В.А.Волощука, який зараз очолює кафедру в НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». Встановлені та ефективно підтримуються зв'язки лабораторії з виробничим об'єднанням «Корпорація

Укрінтерм».

Випробувальний стенд для лабораторних досліджень потужності та теплових характеристик різних типів геотермальних теплообмінників для ґрунтових теплових насосів – U-подібних труб, спіральних ґрунтових теплообмінників з різними конфігураціями, спіральні-спіральних енергетичних груп тощо – складається з добре ізольованого дерев'яного ящика, заповненого глиняно-піщаною сумішшю. Вертикальний переріз ящика квадратний зі сторонами 1 метр, довжина стенда – 3 метри. Дерев'яний каркас стенда з зовнішнього боку утеплено листами пінополістиролу товщиною 40 мм, а з внутрішньої – пенофолом товщиною 10 мм. Стенд оснащено нагрівальним термостатом LAUDA Alpha A6, відцентровим насосом і системою збору даних для вимірювання температури за допомогою восьми нікель-хромових термопар. Випробування можна проводити в контрольованих умовах для температури та об'ємної витрати циркулюючої води в геотермальних теплообмінниках. Термостат підтримує постійну температуру вторинної рідини на вході геотермального теплообмінника, розміщеного в піску, а відцентровий насос забезпечує циркуляцію рідини з заданою об'ємною витратою через замкнутий контур. Вимірюють температуру рідини на вході та виході. В ідеальному експерименті

температура на вході має бути сталою. Під час тестування фіксують зміни температури на виході з часом. Контрольовані умови експериментів і виміряні значення температури на виході й вході теплообмінників дають можливість порівняти теплову потужність різних типів геотермальних теплообмінників.

Міжнародні проекти за участі лабораторії

У рамках діяльності лабораторії було виконано низку спільних з провідними університетами Європи міжнародних проєктів, які фінансуються Європейським Союзом:

- ERASMUS2027, Key Action 2, CBHE “Unlocking the Transformative potential of Ukrainian Universities towards climate neutral and sustainable cities” (UniCities), 2023–2025.
- Fp7 project “Advancing Research and Cooperation Capacities of IHM NASU towards ERA” (ERA IHM), 2010–2013.
- Tempus project “Creation of the third cycle studies – Doctoral Programme in Renewable Energy and Environmental Technology” (CREDO), 2010–2013
- Tempus project “Establishing Modern Master-level Studies in Industrial Ecology” (IEMAST), 2012–2014.
- Tempus project “Implementing tools and policies for quality work at institutional level” (UNIQTOOL), 2010–2013.
- Erasmus-Mundus Action 3 (4) projects SDPROMO I and II “Promoting European Education in Sustainable Development”, 2006–2008 and 2008–2010.
- Tempus SCM project “Implementing tools and policies for quality work on institutional level”, 2010–2012.
- Tempus Joint European project “Bridging the gap between University and businesses”, 2005–2008.

Проект Вісбі Шведського інституту (SI Visby project):

- Joint PhD course in scenario methods for energy planning, 2008–2010.
- Establishment of the tight cooperation between KTH and Institute of Hydromechanics of Ukrainian Academy of Sciences (Kiev) in the field of energy efficiency and sustainable energy systems, 2008–2009.
- Sustainable Development in higher Engineering Education, 2006–2008.
- Joint Waste Management course with Lviv Polytechnic Institute, 2004–2006.

- Training in technology transfer and technology commercialization for Ukrainian Universities, 2003–2004.

Наразі діяльність лабораторії спрямовано на розширення співпраці з виробничим сектором України та запровадженням результатів фундаментальних досліджень у навчальні курси вітчизняних технічних університетів. Так, в рамках співпраці між лабораторією, ТОВ СП Укрінтерм і НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського виконувалися роботи з реалізації проєкту програми BOWI (Boosting Widening Digital Innovation Hubs). Це – європейський проєкт з розвитку міжнародної взаємодії в середовищі Digital Innovation Hubs (DIH) – новітніх центрів компетенцій і платформ взаємодії бізнесу, науки, інноваторів і влади. Європа через такі конкурси стимулює й фінансує інноваційні компанії та особливо їх об'єднання – консорціуми. Особливість BOWI полягає в тому, що він спрямований одночасно на підвищення інноваційності, технологічності, конкурентоспроможності українських підприємств і на побудову стійких міжнародних коридорів взаємодії з європейськими партнерами та науковими інституціями.

Науково-дослідна лабораторія сучасної аеродинаміки та міждисциплінарних досліджень

За підтримки Європейського офісу аерокосмічних досліджень США (EOARD) та Офісу цивільних досліджень США (CRDF) у 2011 році було створено Лабораторію сучасної аеродинаміки й міждисциплінарних досліджень – САМД (зав. лабораторії Н.Ф.Юрченко). Її наукова діяльність спрямована на вивчення та розробку методів інтелектуального керування течіями з метою:

- розвитку фундаментальних знань про механізми та оптимізації течій із застосуванням розроблених міждисциплінарних підходів, зокрема, з використанням плазмових методів;
- практичного використання та комерціалізації знань, насамперед, в авіа- та автомобілебудівній галузях;
- розробки рекомендацій для економії палива та зменшення викидів в атмосферу транспортними засобами та забезпечення безпеки на дорогах з урахуванням автомобільної промисловості, що бурхливо розвивається, зокрема, концепцій автономних (безпілотних) транспортних засобів.

Для вирішення цих завдань САМД володіє унікальним аеродинамічним комплексом для міждисциплінарних досліджень (АКМД). Його було створено в рамках виконання національних та 10 міжнародних проєктів (1994–2015 рр.), а також завдяки плідному співробітництву зі спеціалістами з суміжних та інших дисциплін – електродинаміки, радіофізики, НВЧ-техніки, біології. Комплекс доповнюється стандартною аеродинамічною трубою малої турбулентності, яку використовують для проведення порівняльного експерименту, а також з навчальною метою.

Цілі та завдання лабораторії

1. Експериментальні дослідження особливостей обтікання та аеродинамічної якості з метою оптимізації режиму обтікання й підвищення ефективності руху при мінімізації енергозатрат.
2. Розробка та моделювання різноманітних способів пасивного та активного керування течією. Вимірювання виграшу в аеродинамічній якості в залежності від основних і керуючих параметрів потоку.
3. Оптимізація інженерних рішень для реалізації ефективного керування течією в різноманітних потенційних застосуваннях. Удосконалення розробленого методу керування за допомогою локалізованих плазмових утворень.
4. Критерії наукового рівня лабораторії визначаються міжнародними стандартами по факту оцінки матеріалів, представлених на конференціях і в рецензованих публікаціях, а також рекомендаціями та продовженням роботи із подальшим її фінансуванням протягом понад 20 років.



Компонування установок та обладнання, ремонт приміщення, проектування та будівництво аеродинамічного комплексу для міждисциплінарних досліджень

Основні напрямки досліджень

Енергоєфективне керування потоком

Фундаментальні дослідження лабораторії базуються на концептуальному підході до енергоєфективного керування потоком, натхненному рухом швидкісних морських тварин. Основна стратегія полягає в перебудові пристінної течії шляхом створення та підтримки властивих потоку вихорів з метою підживлення прилеглої області енергією основного потоку. Цей метод спрямовано на досягнення значних аеродинамічних переваг – затримки відриву потоку, зменшення опору та шуму з мінімальними енергетични-

ми затратами.

Активне керування потоком реалізується за допомогою поперечних ґраток актуаторів, серед яких найбільш універсальними та ефективними виявилися плазмові системи.

Розробка аспіраційного інфлятора для подушок безпеки



Метою досліджень є створення автомобільних систем подушок безпеки нового покоління, зокрема для автономних транспортних засобів, на прикладі подушки об'ємом 45-60 л, яка заповнюється за 25-30 мс з коефіцієнтом аспірації (ежекції) не менше 4.

Розроблений аспіраційний інфлятор базується на принципі хвиль розрідження Прандтля–Майєра, що було попередньо теоретично та чисельно досліджено фахівцями відділу гідробіоніки та керування приміжовим шаром. При цьому невеликий, піротехнічно згенерований надзвуковий імпульсний струмінь (приблизно 1/4 необхідного об'єму газу) забезпечує втягування решти 3/4 повітря з салону автомобіля. Ця технологія має значні переваги у безпеці та ефективності, включаючи зменшену кількість пального, контрольовані тиск і температуру, а також усунення потреби в деяких датчиках положення пасажирів, оскільки розгортання подушки припиняється при контакті з людиною.

Оснащення лабораторії

Для проведення експериментальних досліджень лабораторію оснащено спеціалізованими установками, значна частина яких була розроблена власними силами.

Основною установкою Аеродинамічного комплексу для міждисциплінарних досліджень є аеродинамічна труба замкнутого типу з еліптичною робочою частиною розміром 75 × 42 × 90 см. Вона здатна створювати швидкості потоку від 1 м/с до 65 м/с і обладнана керованими системами генерації плазмових розрядів і захистом від НВЧ випромінювання. Також підтримується в робочому стані стандартна аеродинамічна труба малої турбулентності.

Спроектовано та побудовано новий спеціалізований експериментальний стенд для випробування ежекторів, який працює на стисненому газі. Ця установка спеціально налаштована для тестування та оптимізації характеристик розроблених надзвукових ежекторних систем за різних робочих тисків.

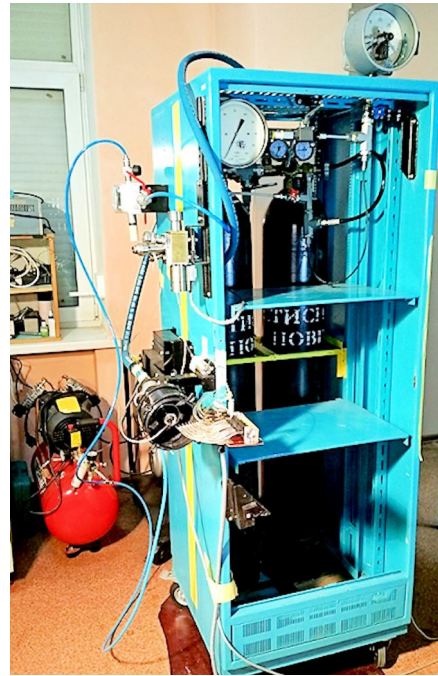
Також при лабораторії діє експериментальна майстерня для оперативного ремонту деталей та частин комплексу, виготовлення та корекції тестових моделей (наприклад, для модифікацій моделі аспіраційного інфлятора у процесі виконання експериментів).

Інноваційне обладнання

У рамках розробленої стратегії енергоефективного управління течією були розроблені ґратки-ґратки механічних вихрегенераторів для пасивного керування, а також теплових резистивних і плазмових систем активного керування. Ряд моделей зі змінними



Аеродинамічна труба з керованими системами генерації плазових розрядів



Спеціалізований стенд для випробування ежекторів

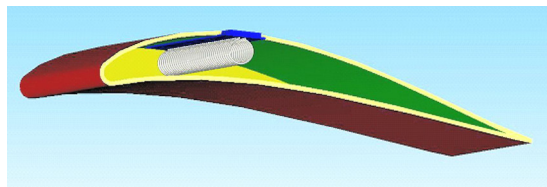
параметрами було випробувано в АКМД. За співпраці з науковцями та інженерами Київського національного університету імені Тараса Шевченка були розроблені, виготовлені та випробувані власні багатоелектродні плазмові ґратки для активного керування потоком. Вони дозволяють керувати широким спектром параметрів, включаючи тривалість імпульсу, частоту повторення та поперечну відстань між розрядами.

Випробувано також плазмові ґратки з НВЧ ініціацією розрядів. Всі розроблені системи активного керування потоком зберігають поверхню моделі гладкою та можуть вмикатися-вимикатися при необхідності у відповідності з законом варіювання керуючих параметрів.

Ключовим елементом стенда для випробування ежекторів є універсальний швидко-



Крило з багатоелектродними плазовими ґратками



Плазмові ґратки з НВЧ ініціацією розрядів, інстальовані під поверхню крила

дійний клапан, який був спеціально розроблений та створений у співпраці з фахівцями київського підприємства «АРМА» для імітації роботи піротехнічного газогенератора. На відміну від стандартних клапанів, цей пристрій має регульований час відкриття та час відгуку системи, що робить його більш гнучким та перспективним для дослідницьких цілей.

Методи та обладнання для вимірювань

Лабораторія використовує як стандартне обладнання, так і інноваційні системи, розроблені для вирішення унікальних дослідницьких завдань.

Аеродинамічні сили вимірюються за допомогою зовнішніх трикомпонентних тензометричних ваг з роздільною здатністю 2 мН. Увесь процес вимірювання, включаючи керування вентилятором, механізмом зміни кута атаки та збором даних, керується інтегрованою системою збору даних. Для керування, аналізу даних у реальному часі та їх постпроцесингу розроблено спеціалізоване програмне забезпечення. Наприклад, програма вимірювань для інфлятора включає детальне картування полів тиску при встановленні гребінки датчиків тиску по радіусу від осі інфлятора, високошвидкісну відеозйомку та оцінку коефіцієнта аспірації.

Потенціал лабораторії та перспективи розвитку

Лабораторія САМД є важливою складовою відділу моделювання гідротермічних процесів, яка продемонструвала суттєвий потенціал та значні можливості для майбутнього як у фундаментальних, так і в прикладних дослідженнях. Розроблена стратегія активного керування потоком була реалізована різними способами, у тому числі за допомогою багатоіскрових розрядів, і виявилась гнучким, ефективним та економічно вигідним підходом. Зацікавленість світової спільноти в розробці аспіраційного інфлятора вказує на чітку можливість продовження роботи в галузі автомобільної безпеки для доведення концепції до практичного застосування. Багаторічний успіх проєктів, які фінансуються закордонними урядовими партнерами (такими як AFOSR, US Air Force Office of Scientific Research) та комерційними компаніями (Automotive Technologies International, USA тощо), демонструє готовність лабораторії до подальшої міжнародної співпраці.

Міжнародні проєкти у рамках створення та розвитку САМД

- Organized Vortical Motion for Flow Control / Організований вихровий рух для керування потоком (1994).
- Flow Control Around Turbine Blades / Керування потоком навколо лопаток турбіни (1997).
- Development of Boundary-Layer Control Techniques Efficient for Flows under Body Forces / Розробка ефективних методів керування примежовим шаром для потоків

під дією об'ємних сил (1998–1999).

- Optimal Flow Control Based on Excitation of Inherent Coherent Vortices: Fundamental Background / Оптимальне керування потоком на основі збудження власних когерентних вихорів: фундаментальні положення (1999–2000).
- Aerodynamic Applications of Boundary Layer Control Using Embedded Streamwise Vortices / Аеродинамічні застосування керування примежовим шаром з використанням вбудованих вихорів, спрямованих у потій (2001–2003).
- Advanced Method of Boundary-Layer Control Based on Localized Plasma Generation / Удосконалений метод керування примежовим шаром на основі генерації локалізованої плазми (2006–2009).
- Turbulence Control Through Selective Surface Heating Using Microwave Radiation / Контроль турбулентності шляхом селективного нагрівання поверхні за допомогою мікрохвильового випромінювання (2007–2012).
- Optimization of the Airfoil Performance Using Distributed Thermal Fields / Оптимізація характеристик аеродинамічного профілю з використанням розподілених теплових полів (2009–2010).
- Electromagnetic emulation of flow optimization based on high-speed features of marine animals / Електромагнітна емуляція оптимізації течії, яка ґрунтується на швидкісних особливостях морських тварин (2012–2015).
- Aspirated inflator optimization for an automobile airbag / Оптимізація газового ежектора для автомобільних подушок безпеки (2014–2016).

Стратегія розвитку відділу

Дослідницька стратегія відділу полягає у проведенні комплексних фундаментальних та прикладних досліджень з вивчення процесів переносу в термодинамічно нерівноважних суцільних середовищах відповідно до сучасних напрямів розвитку фізико-хімічної гідродинаміки та їх застосування в практичних завданнях охорони навколишнього середовища та відновлюваної енергетики. У майбутньому спеціальну увагу буде приділено побудові нових феноменологічних моделей вертикального джерела геотермальної енергії для ґрунтових теплових насосів. Технологічні програми фундаментальних досліджень будуть сфокусовані на розробці інноваційних технологій для систем тепlopостачання/охолодження на базі відновлюваних джерел енергії та розробки концепції цифрового двійника промислового теплового обладнання з метою декарбонізації енергетичного сектору України. Будуть продовжені дослідження особливостей обтікання оптимізованого профілю крила сучасного літака, спрямовані на розробку та вдосконалення методів

енергетично економного та ефективного керування характеристиками обтікання, зокрема, коефіцієнтами опору та підйимальної сили.

Буде продовжено роботу з представниками бізнесу та освіти у галузі декарбонізації енергетичного сектору України та переходу на використання відновлюваних джерел енергії у системах централізованого теплопостачання міст з використанням міжнародного досвіду. Зокрема, буде продовжено плідну співпрацю відділу з ТОВ СП Укрінтерм, Національним технічним університетом України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Королівським технологічним інститутом (м. Стокгольм, Швеція), Дельфтським технічним університетом (Нідерланди) з реалізації міжнародних проєктів у галузі впровадження інноваційних рішень у сфері теплозабезпечення будівель на базі відновлюваних джерел енергії, що фінансуються Європейським Союзом. Продовжиться модернізація спільної українсько-шведської науково-дослідної лабораторії «Енергетичні технології сталого розвитку суспільства», яка обладнана інноваційною діючою системою опалення й гарячого водопостачання у відповідності до сучасних тенденцій розвитку стійких енергетичних технологій.

ВІДДІЛ ПРИКЛАДНОЇ ГІДРОДИНАМІКИ

Відділ прикладної гідродинаміки створено 1981 року на базі відділу фільтрації. Усі науково-дослідні роботи відділу залежно від об'єктів досліджень і впровадження отриманих результатів велись і ведуться в таких двох напрямках:

- гідродинамічні, масообмінні та трансформаційні процеси в пористих середовищах із властивостями, що змінюються, за повного й неповного насичення. Роботи в цьому напрямі розпочато ще в 1950-ті роки минулого століття під керівництвом академіка АН УРСР Г.Й.Сухомела, продовжено проф. М.М.Біляшевським та чл.-кор. НАН України докт. техн. наук, проф. О.Я.Олійником, який завідував відділом з 1980 по 2024 рік;
- динаміка берегів і гідротехнічних споруд морів і водосховищ. НДР у цьому напрямі ведуться з 1948 року спочатку під керівництвом чл.-кор. АН УРСР Б.А.Пишкіна, а потім чл.-кор. НАН України О.Я.Олійника.

Дослідження за зазначеними науковими напрямками виконувались для розв'язання актуальних народногосподарських завдань, пов'язаних зі створенням оптимальних меліоративних систем, будівництвом гідротехнічних споруд різного призначення, створенням водосховищ і хвостосховищ при будівництві ГЕС, ТЕС, АЕС та інших об'єктів, з охороною довкілля, зокрема, із захистом територій від підтоплення та забруднення, а також з очищенням стічних вод тощо.

Теоретичні дослідження фільтрації в неоднорідному пористому середовищі

Під час розв'язання багатьох практичних задач поняття неоднорідного пористого середовища використовується для дослідження процесів фільтрації в різних неоднорідношаруватих пористих середовищах. Ця концепція плідна для визначення параметрів філь-

траційного потоку (напорів, швидкостей і витрат) в основі гідротехнічних споруд (флютбетів, бетонних гребель, водозливів); вивчення припливу ґрунтових вод до різних дренажних пристроїв (дрен і свердловин) і фільтрації з каналів; розрахунків протифільтраційних і захисних споруд (шпунтів, завіс тощо). У результаті виконаних у відділі досліджень створено теоретичні засади розв'язання задач плоскої та просторової фільтрації в неоднорідних пористих середовищах за наявності різних джерел і стоків. Отримані загальні розв'язки задач фільтрації в неоднорідно-шаруватих пластах використано для розроблення інженерних методів розрахунку різних дренажних пристроїв, що діють у складних гідрогеологічних умовах [1–4]. У цьому плані під час будівництва земляних гребель, дамб і каналів ефективним виявилось впровадження так званих переривчастих дренажів замість дорогих суцільних. Методику фільтраційного розрахунку таких дренажів розроблено на основі вивчення просторового припливу ґрунтових вод до різних систем горизонтальних недосконалих дрен скінченої довжини [5, 6]. Виконані дослідження та подальша їх реалізація на об'єктах гідротехнічного будівництва показали, що завдяки влаштуванню переривчастих дренажів у багатьох випадках можна скоротити загальну довжину дренажів у (1, 5 ... 2, 0) рази без помітного погіршення фільтраційного режиму в захисних спорудах [5, 6].

Дренаж в меліорації та в гідро-екологічних дослідженнях

Захист територій і населених пунктів від затоплення й підтоплення ґрунтовими водами в результаті їх різкого підйому, водозабір і зниження рівня підземних вод, а також інші практичні завдання пов'язані з необхідністю влаштування дренажних споруд. Особливо важлива ця проблема для меліорації, де дренаж є основним елементом будь-якої гідромеліоративної системи. Виходячи з цього, різні аспекти дренажу розглянуто та проаналізовано у зв'язку з проблемами меліорації.

Існуючі теорія та практика свідчать про те, що будь-яка гідромеліоративна система, навіть з оптимальними технологічними параметрами, повинна мати у своєму складі дренажну мережу, основне завдання якої полягає в забезпеченні у комплексі з іншими заходами сприятливого ґрунтового-меліоративного режиму [7, 8].

Для здійснення завдань у галузі меліорації було проведено математичне моделювання процесів волого- і солепереносу та фільтрації в насичено-ненасиченому пористому середовищі. Це дало змогу розв'язати основну проблему – створення оптимальних меліоративних систем (О.Я.Олійник, В.Л.Поляков, В.С.Сірий, Ю.І.Калугін, С.В.Телима). Воно насамперед пов'язане з розв'язанням екологічних питань керування водно-повітряним, сольовим і поживним режимами ґрунтів у межах розвитку кореневої системи рослин [15, 29].

При створенні осушувально-зволожувальних систем у зонах з надмірним зволоженням (перезволожених землях) дренаж є основним засобом регулювання водно-повітряного режиму ґрунту. Залежно від прийнятої конструкції та фізичної схеми зволоження, що визначається природними й технічними умовами, ступенем достовірності їх математичної реалізації, повнотою постановки задачі та прийнятим математичним ме-

тодом її розв'язання, розроблено чотири основні математичні моделі двостороннього регулювання за допомогою дренажу:

- а) регулювання положення рівня ґрунтових вод (РГВ) на ділянці між дренами, яке можна застосувати за відомого експериментального зв'язку між положенням РГВ і рівноважною епюрою вологості в зоні аерації або за умови повного періодичного насичення кореневміщуючого шару (субіригація);
- б) регулювання РГВ з наближеним урахуванням процесів вологопереносу в зоні аерації на основі квазірівноважного режиму зміни вологості;
- в) наближеного регулювання режиму вологості на основі зволоження, що надходить зверху за рахунок дощування та знизу за рахунок підживлення від РГВ;
- г) створення й підтримання оптимального режиму вологості в кореневмісному шарі ґрунту незалежно від способу зволоження.

Детальний опис цих моделей, умови та особливості їх застосування наведено в [9, 29].

Особливості керування різними процесами в умовах зрошувальних меліорацій мають низку характерних властивостей і пов'язані з регулюванням не тільки водного, а й сольового режиму. У зв'язку з цим у відділі виконано великі теоретичні дослідження з метою розроблення практичних рекомендацій щодо визначення параметрів дренажних систем під час регулювання водно-повітряного та сольового режимів на зрошуваних землях.

В основу цих теоретичних опрацювань покладено математичні моделі, які описують рух води й солей у насичено-ненасичених потоках. Однак складність вихідних математичних моделей керування водно-повітряним і сольовим режимом часто залежить від того, наскільки точно відображені в постановці математичних задач особливості руху води та солей у ненасиченій зоні, а також гідрогеологічні та кліматичні умови, водно-фізичні властивості ґрунтів і гідрохімічні параметри порових розчинів. Тому прогноз водно-сольового режиму зрошуваних ґрунтів з урахуванням лімітуючих показників ефективного використання поливних вод набуває особливого значення у зв'язку з необхідністю підтримання оптимального водно-повітряного та сольового режимів у період вирощування сільськогосподарських культур.

Використання традиційних методів розрахунку водно-сольового режиму на основі аналітичних розв'язків для типових фільтраційних схем в умовах навіть гідромеханічного фільтраційного потоку не може дати об'єктивної оцінки процесам, які відбуваються в зоні аерації під час зрошення.

Для обґрунтування еколого-економічної ефективності дренажно-зрошувальної системи пропонується метод математичного імітаційно-оптимізаційного моделювання, який враховує близькі до реальних режими зволоження, забір води рослинами, дренаж, а також технічні можливості поливної техніки. Система імітаційно-оптимізаційного моделювання розглядається нами як інформаційна технологія, суть якої полягає в імітації «сценаріїв» природних процесів під впливом керуючих впливів.

Таким чином, модель відіграє роль дослідницької лабораторії, в якій вивчаються окремі технології та оптимізуються їхні параметри.

Маючи в наявності результати імітаційного моделювання «сценаріїв», можна вибрати ті режими поливів, за яких з погляду потреби рослин у волозі упродовж усього вегетаційного періоду середня вологість кореневміщуючого шару менша від найменшої вологості та більша від критичного значення вологості. Це дозволяє вибрати ті значення параметра поливної норми, для яких інфільтрація не перевершує заданого рівня. У разі регульованого дренажу можна вибрати оптимальний режим регулювання рівня ґрунтових вод залежно від недоспоживання рослин, кліматичних умов і засоленості ґрунтових вод [7]. Можливо дати ресурсну оцінку ефективності різних режимів зрошення. Так, за результатами імітаційно-оптимізаційного моделювання встановлено, що найбільш екологічно безпечними у порівнянні з біологічно оптимальними режимами є водозберігаючі режими зрошення [8].

Таким чином, можна констатувати, що в результаті виконаних досліджень розроблено наукові засади й технологічні передумови щодо створення оптимальних меліоративних систем у зонах зрошення та осушення земель (О.Я.Олійник, В.Л.Поляков, В.С.Сірий, Ю.І.Калугін, С.В.Телима).

Дренаж у меліорації та в гідро-екологічних дослідженнях

Рослина, як і всякий живий організм, потребує різноманітного харчування. До її «раціону» входять найпростіші сполуки (С, N, P, K, Ca, Mg), а також набір мікроелементів. Загалом у складі тканин рослини налічується понад 30 хімічних елементів. Основна увага в агрохімічних дослідженнях приділяється Mg, P, K, а особливе місце в цьому ряду посідає азот (N). Насамперед, він є одним з найважливіших структуроутворювальних елементів, будучи невід'ємною частиною амінів, амінокислот і білків. Також він незамінний у специфічних речовинах, які регулюють фізіологічні процеси в рослинах. Необхідність у першочерговому вивченні поведінки N в агроєкосистемах зумовлена не тільки його високою поживною цінністю, а й тим, що саме в N рослини найчастіше відчувають серйозну нестачу. До того ж, N є потенційно небезпечним елементом для довкілля. Останнім часом дедалі частіше втручання людини в природні процеси без достатнього наукового обґрунтування призводить до неприпустимих порушень екологічної рівноваги в агроєкосистемах, надмірного накопичення в сільськогосподарській продукції токсичних сполук, зокрема, нітратів і нітритів. Також встановлено, що азотний статус ґрунту має значний вплив на поглинання рослинами радіонуклідів. Нарешті, азотний режим ґрунту можна розглядати як центральну компоненту загального поживного режиму ще й тому, що на його базі вдається змодельовати продукційний процес та прогнозувати формування врожаю.

Коротко характеризуючи стан вивченості проблеми азоту в агроєкосистемах, особливості методології таких досліджень, слід відокремити два узагальнені підходи. Перший з них, який переважно розробляється у вітчизняній науці, полягає у вивченні зако-



Схема кругообігу азоту та води до моделювання водного та поживного режимів у ґрунтових екосистемах

номірностей зміни вмісту загального азоту або окремих його сполук протягом характерних періодів, наприклад, вегетаційного, на базі балансових співвідношень.

У наших же дослідженнях реалізовано більш прогресивний і перспективний другий підхід, який протягом останніх десятиліть домінує у провідних країнах світу – США, Англії, Канаді, Голландії та ін. Його суть полягає в урахуванні закономірностей взаємних перетворень азотних сполук, їхньої взаємодії з твердою фазою та міграції, причому інтенсивність відповідних процесів тісно пов'язана з фізичним станом ґрунту й суміжних середовищ. Даний підхід базується на узагальненій математичній моделі, що включає як окремі блоки моделі водного, теплового та кислотного режимів, азотної, фосфорної складових загального поживного режиму й трансформації органічної речовини.

Спільною особливістю для всіх зазначених моделей є опис режимоформувальних процесів з використанням редукційних функцій, які характеризують зміну їхніх інтенсивностей за істотної зміни зовнішніх чинників – вологості, температури, показника кислотності ґрунту. Центральними є блоки води й азоту, оскільки вони мають вирішальне значення для росту й розвитку рослин, слугують основою для розрахунку продукційного процесу та оцінки якості рослинницької продукції. Решта блоків, які можуть мати й самостійне значення, в рамках даної роботи призначені для більш точного опису поведінки азоту й води. Тому природно, що найбільшу увагу було приділено саме азотному блоку [9–14, 29].

Модель динаміки азоту враховує велику кількість процесів і чинників. Тому для її реалізації необхідно знати низку вихідних параметрів, багато з яких знаходять у результаті проведення складних експериментів. Очевидно, що зазначені параметри мають різну значущість для розрахункових характеристик. У зв'язку з цим виникло завдання оптимі-

зації експериментальних досліджень. Її суть зводиться до встановлення параметрів, які мають визначатися насамперед і ретельно, а також до виявлення менш суттєвих параметрів, що допускають грубу оцінку. З цією метою виконано аналіз чутливості моделі азоту з використанням у якості критеріїв трьох узагальнених параметрів:

- сумарної кількості мінерального азоту в ґрунтовому розчині, що перебуває в кореневмісному шарі на кінець періоду активного росту рослини;
- сумарної кількості азоту (нітратів), винесеного з кореневміщуючого шару за згаданий період;
- сумарної кількості азоту, поглиненого рослиною за цей самий період.

Результати такого аналізу можуть сприяти помітному поліпшенню планування експериментів, скороченню їхнього обсягу та пов'язаних витрат.

Вузьким місцем у блоках поживного режиму є функції поглинання елементів живлення. З метою обґрунтування останніх були проведені теоретичні дослідження дії кореневої системи на мікрорівні – вивчалися приплив поживних речовин до окремих коренів та їхніх ансамблів, а також фізико-хімічні процеси в зоні впливу коренів з використанням аналітичних методів. Отримано прості за формою розрахункові залежності, які дають змогу коректно застосовувати дані досліджень поглинання поживних елементів ізольованим коренем або асоціаціями коріння, які конкурують, задля побудови функцій добору елементів у рамках концепції біологічного суцільного середовища. Обґрунтовано перехід з мікрорівня на макрорівень для мобільних (NO^-), помірно рухомих (NH^* , K^+) і малорухомих (P^+) іонів. Завдяки такому підходу з'являється принципова можливість уникнути проведення складних, трудомістких дослідів, а необхідну узагальнену інформацію щодо поглинальної здатності угруповання культурних рослин отримати більш повно та з меншими витратами.

Реалізацію узагальненої моделі виконано чисельними методами. Розрахунки проводилися для сільськогосподарських культур (ячмінь, овес) і лісових насаджень (осиково-березовий деревостан). При цьому використовувались літературні дані щодо модельних коефіцієнтів, які стосуються типових чорнозему та лісового ґрунту. Водночас триває пошук нових постановок і розв'язків задач, які б поєднували розумні вимоги до повноти й точності одержання вихідної інформації та кінцевих результатів, співвідносячи їх з реальними можливостями. Зокрема, розроблено спрощену динамічну модель міграції та трансформації азотних сполук, яка є більш науково обґрунтованою порівняно з балансовими аналогами та більш перспективною в плані розв'язання прикладних задач та інженерних розрахунків порівняно з узагальненою моделлю та її аналогами. Було зроблено успішну спробу розглянути «долю» азоту добрив і ґрунту окремо, що дало змогу оцінити ефективність основних джерел азоту під час формування азотного режиму та науково обґрунтувати коефіцієнти використання азоту ґрунту й добрив.

Розроблені моделі та виконані на їхній основі дослідження можуть становити інтерес для агрохіміків, меліораторів, екологів, біологів, фізіологів і дають змогу розв'язувати велику кількість практичних завдань. Відзначимо тільки найважливіші, на наш по-

гляд [10–14]: оптимізація водного режиму в кореневмісному шарі; оптимізація умов азотного живлення культур; оптимізація умов фосфорного живлення культур; планування врожаю; підвищення ефективності використання добрив; запобігання забрудненню ґрунтових і поверхневих вод; збереження та відновлення ґрунтової родючості; мінімізація наслідків радіоактивного забруднення угідь.

Математичне моделювання небезпечних екологічних процесів, пов'язаних зі зміною режиму ґрунтових вод

Останніми роками в Україні відбулися значні зміни водного режиму як наслідок дії багаторічних циклічних природно-кліматичних чинників, так і внаслідок впливу несприятливих техногенних умов. Насамперед, ці зміни торкнулися гідродинамічного, фізико-хімічного, біохімічного та теплового режимів поверхневих і підземних вод. Зміна режиму ґрунтових вод у низці випадків стимулювала розвиток небезпечних гідрогеологічних процесів (підтоплення міських і сільських територій, промислових майданчиків і сільськогосподарських земель, забруднення ґрунтових вод і засолення родючих ґрунтів) та інженерно-геологічних процесів (просідання поверхні землі внаслідок фільтраційної консолідації природних комплексів, які впливають на соціально-побутові умови проживання людей і становлять загрозу для їхнього здоров'я й життя). Підтоплення територій населених пунктів, промислових майданчиків, сільськогосподарських земель відбувається внаслідок підйому рівня ґрунтових вод. Складність проблеми боротьби з підтопленням територій і забрудненням ґрунтових вод визначається численністю та різноманітністю прояву в просторах, які впливають тією чи іншою мірою на розглянуті процеси.

Основними способами боротьби з підтопленням є попереджувальний та захисний, дренаж, заснований на будівництві різних типів дренажу, протифільтраційних завіс і екранів. Питання про вибір оптимальних для конкретних територій захисних заходів слід вирішувати на основі даних прогнозів РГВ, а також хімічного й теплового режиму ґрунтових вод під впливом усього комплексу техногенних і природних чинників з урахуванням нормативних документів, що регламентують допустимі гідро- та гідроізоляційні завіси. Найбільшого поширення при розв'язанні таких завдань набули методи математичного моделювання. Взаємопов'язаність процесів, що відбуваються при цьому, призводить до побудови досить складних математичних моделей, які представляють собою крайові задачі для нелінійних рівнянь математичної фізики. Під час розв'язання задач прогнозу підтоплення та розрахунку захисних інженерних споруд найчастіше застосовуються рівняння гідравлічної теорії фільтрації в неоднорідно-шаруватих пластах.

У відділі прикладної гідродинаміки за останні роки отримано важливі та принципово нові теоретичні результати для подальшого розвитку математичних моделей і методів розв'язання задач фільтрації та підземного тепломасоперепоусу, які становлять значний інтерес для прогнозування й розрахунку захисних інженерних споруд [15–24, 29]. Серед них можна відзначити такі:

- отримано рівняння гідравлічної теорії фільтрації в шаруватому пласті з довільним

співвідношенням коефіцієнтів фільтрації шарів;

- розроблено математичні моделі фільтрації ґрунтових вод з урахуванням вологопереносу в зоні неповного насичення;
- отримано рівняння гідравлічної теорії, які описують початкову стадію фільтрації ґрунтових вод у ненасиченому пласті;
- розроблено математичну модель і метод розрахунку нестационарної фільтрації двох рідин, що змішуються (наприклад, газ–вода);
- розроблено математичну модель фільтрації однорідного забруднення в стратифікованому шарі підземних вод;
- розроблено математичну модель міграції забруднень, які надходять на вільну поверхню ґрунтових вод з урахуванням гравітаційної конвекції;
- розроблено методи прогнозування фільтрації та міграції радіонуклідів у зоні впливу АЕС у проєктному та аварійних режимах з урахуванням захисних інженерних споруд;
- розроблено методи моделювання фільтрації та поширення забруднень у гетерогенних пористих середовищах;
- розроблено методи розрахунку фільтрації води з низькою концентрацією завислих забруднень у проникних дамбах і перемичках з урахуванням зміни коефіцієнта фільтрації в результаті процесів масопередачі та масообміну;
- розроблено математичні моделі та методи розрахунку осідання поверхні землі внаслідок фільтраційної консолідації ґрунту за різних способів дренажування, а також зсувних процесів, що виникають під впливом надлишкового зволоження та підтоплення схилів ділянок.

Ефективність заходів щодо ліквідації підтоплення ґрунтовими водами територій міст і селищ міського типу України визначається насамперед науковою обґрунтованістю проєктів найефективніших систем інженерного захисту, якісним їх будівництвом та експлуатацією.

Нами розроблено та пропонуються для використання методи прогнозування підтоплення територій ґрунтовими водами в складних природних і техногенних умовах, а також хімічного (зокрема, радіологічного) й теплового забруднення підземних і поверхневих вод (О.Я.Олійник, В.С.Кремез, О.О.Добронравов, Н.І.Жовтоног, С.В.Телима). Отримано методи розрахунку дренажних систем, протифільтраційних екранів і завіс, штучних геохімічних бар'єрів як основних елементів систем інженерного захисту територій міст і селищ міського типу від підтоплення та забруднення ґрунтовими водами. Отримано методи розрахунку дренажу для захисту як територій, так і окремих об'єктів у зонах житлової забудови та на промайданчиках різних підприємств і енергетичних об'єктів.

На підставі даних натурних спостережень встановлено причини та фактори формування динаміки процесу підтоплення ґрунтовими водами території Херсонської області. Виконаний регіональний прогноз підйому РГВ показав, що існує небезпека створення надзвичайних ситуацій у системі функціонування промислово-господарського комплексу в даному регіоні [16–24, 52–54, 57, 59–61].

Оскільки точність прогнозів підтоплення територій і забруднення ґрунтових вод, а також параметрів захисних інженерних споруд багато в чому визначається ступенем вивченості фізико-хімічних властивостей водоносних пластів, то для цього були розроблені методи визначення початкових параметрів на основі розв’язання обернених задач фільтрації та масопереносу [24, 56, 58].

Особлива увага наразі приділяється вивченню процесів підтоплення та дренажу на схилових ділянках, складених зі слабких ґрунтів, на яких можливий розвиток небезпечних інженерно-геологічних процесів (зсувів, осідання тощо). Розроблено методи прогнозування зсувів на таких ділянках, а також осідання поверхні землі в результаті фільтраційної консолідації ґрунту [21, 22, 32, 33, 55, 61, 62].

Розроблено методи моделювання по врахуванню внутрішньодренної гідравліки при роботі підземних водозаборів і дренажів. Це дозволяє більш обґрунтовано визначати положення рівнів ґрунтових вод і витрати підземних вод завдяки врахуванню нерівномірності притоку води по довжині дрен-променів через втрату напору при русі води в дренах, а також методи моделювання горизонтальних дренажів та інженерних розрахунків самовиливних свердловин [3, 60].

На основі наявного досвіду та власних оригінальних даних нами розроблено окремі розділи СНіП 2.06.15-85 [22], а також методичні рекомендації щодо розрахунків захисту територій від підтоплення [24], які дають змогу науково обґрунтувати комплекс питань, пов’язаних з проектуванням систем інженерного захисту.

Розроблені математичні моделі та методи розрахунку використовувалися під час розв’язання таких екологічних завдань:

- прогнози підтоплення, спричиненого впливом різних чинників (зрошувані масиви, техногенне інфільтраційне живлення, зменшення дренальної спроможності малих річок унаслідок замулення їхніх русел, наповнення штучних водойм і накопичувачів забруднених вод, несприятливі природні умови), і розрахунки захисних дренажів на територіях міст і селищ міського типу в різних регіонах України;
- обґрунтування дренажних пристроїв, призначених для забезпечення стійкості укосів гребель і запобігання підтопленню прилеглих до них ділянок місцевості (хвостосховища ІІГЗК, ПівдГЗК, ПівнГЗК у Кривому Розі, Алмаликського ГМК в Узбекистані, Міжгірського і Чорнорічинського водосховищ у Криму);
- обґрунтування насосної станції, яку споруджують для запобігання забрудненню Азовського моря водами, які фільтрують із накопичувача промислових стоків металургійного комбінату «Азовсталь»;

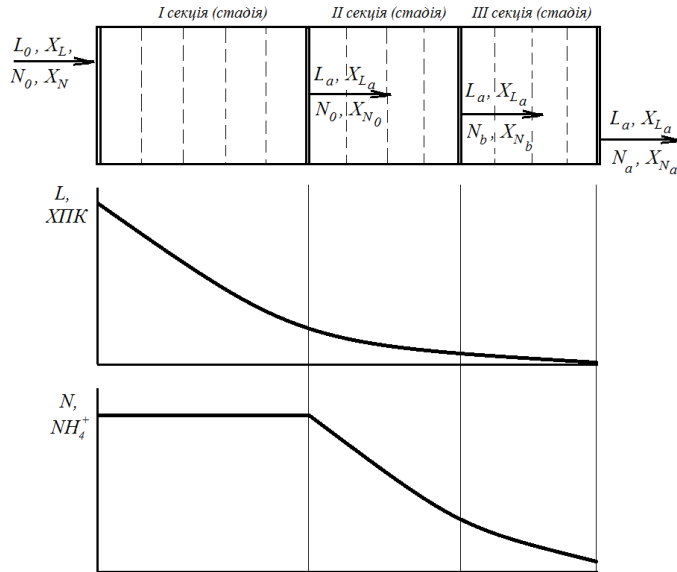
- оцінка впливу Південно-Української АЕС і золонакопичувачів Старобешівської та Миронівської ДРЕС на підземні та пов'язані з ними поверхневі води;
- обґрунтування інженерних споруд, спрямованих на запобігання радіоактивному забрудненню р. Прип'ять водами, що фільтрують із водосховища-охолоджувача ЧАЕС;
- оптимізація проектних рішень водознижувальних і розвантажувальних свердловин, які забезпечують фільтраційну консолідацію ґрунтів основи та виконання робіт з будівництва водоскиду греблі Сіді ель Беррак у Туніській Республіці;
- прогноз впливу експлуатації споруджуваного в Білорусі Хотиславського кар'єра на гідрогеологічні умови Волинського Полісся в Україні;
- прогноз впливу підтоплення території Херсонської області на формування надзвичайних гідрогеолого-екологічних ситуацій в регіоні [16–21, 57, 63, 64].

Моделювання процесів очищення питних і стічних вод

Нині успішно розвиваються наукові дослідження, спрямовані на створення теоретичних засад і розроблення методів розрахунку технологічних і конструктивних параметрів очищення питних і стічних вод від різних забруднень [14, 25, 26, 28, 30, 34–51]. Зокрема, розроблено теоретичні засади та методи розрахунку біологічного очищення побутових стічних вод на біодискових фільтрах, гідродинамічні моделі та методи розрахунку видалення залізистих сполук, а також завислих забруднень із підземних і поверхневих вод фільтруванням з урахуванням зміни фільтраційних властивостей середовища. Проведено широку апробацію отриманих теоретичних розв'язків і залежностей з залученням експериментальних даних різних авторів (Ю.І.Калугін, С.К.Кисельов, В.С.Кремез, В.Л.Поляков, Н.Г.Степова, С.В.Телима).

Глибше й повніше врахування гідродинаміки потоку в очисних спорудах під час розв'язання задач фізико-хімічного та біологічного очищення стічних вод від різних забруднень дає змогу в багатьох випадках істотно інтенсифікувати роботу очисних споруд і поліпшити їхні технологічні параметри. Розроблено математичні моделі й методи розрахунку для дослідження особливостей біологічного очищення стічних вод від органічних забруднень на краплинних біофільтрах [34, 35].

Створено більш детальні моделі кисневого режиму при очищенні стічних вод фільтруванням. Зокрема, проведено дослідження вилучення органічних забруднень на біофільтрах з обмеженим доступом кисню до біоплівки на завантаженнях різних форм. У результаті цього запропоновано більш досконалі методи розрахунку технологічних і конструктивних параметрів очищення стічних вод фільтруванням, а також моделі розрахунку очищення стічних вод на затоплених і крапельних фільтрах і методи розрахунку плоско-радіального фільтрування при різних способах подачі суспензії в циліндричне завантаження при раціональному виборі конструктивних параметрів завантаження очисних фільтрів [35–37].

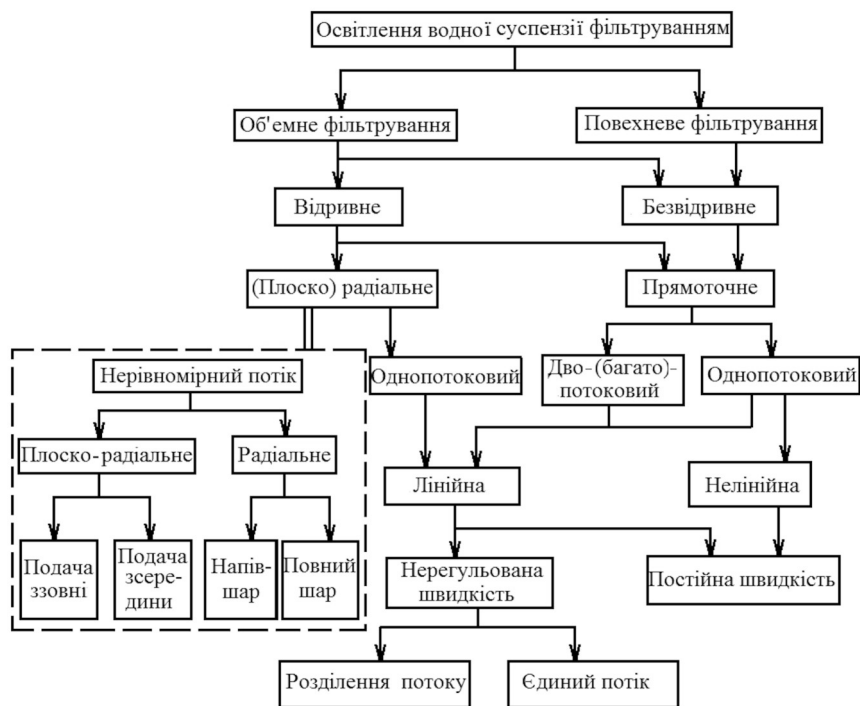


Технологічна схема сумісної біоочищення стічних вод від органічних забруднень і сполук азоту в трисекційних біореакторах, розроблена на основі теоретичних та експериментальних досліджень у відділі прикладної гідродинаміки Інституту гідромеханіки НАН України

Запропоновано методику розрахунку кисневого режиму та практичні рекомендації щодо її використання, яка дозволяє обґрунтовувати найбільш доцільний режим забезпечення киснем процесу очищення в аеротенках-змішувачах зі зваженим та закріпленим біоценозом у вигляді біоплівки з високою концентрацією мікроорганізмів. При цьому в математичних моделях використано кінетичні реакції згідно нелінійного рівняння Моно [38–44].

Розроблена математична модель фізико-хімічного знезалізнення підземних вод з виділенням двох шарів – адсорбційного (накопичення закису) та сорбційного (накопичення гідрооксиду) з урахуванням нелінійних ефектів масообміну, обумовлених обмеженістю адсорбційного та сорбційного ресурсу, інтенсифікацією видалення заліза під впливом накопиченого в поровому просторі осаду та безвідривного фільтрування. Отримано строгі рівняння для визначення вихідної концентрації закису заліза (в рідкій фазі) та розподілу концентрації адсорбованого закису (в осаді) по висоті завантаження та в часі. У результаті чисельних експериментів запропоновано режим подачі розчиненого кисню у воду для оптимізації вилучення заліза з підземних вод [38, 39].

На основі проведених теоретичних досліджень запропоновано математичну модель вилучення органічних забруднень (ОЗ) гетерогенно-стратифікованою біоплівкою, в якій коефіцієнт ефективної дифузії в біоплівці змінюється за лінійним законом. У результаті реалізації чисельними методами створених моделей при використанні різних кінетик



Блок-схема освітлення водної суспензії на швидкому фільтрі

розроблено інженерну методику розрахунку параметрів очищення та значення концентрацій на поверхні біоплівки і по їхній товщині. Уперше враховано вплив процесів масопереносу через примежовий шар з урахуванням особливостей його формування на верхній (вхідний) поверхні стратифікованої біоплівки [38–42, 44].

У результаті досліджень лінійної адсорбції аналітичними методами виведено ефективну формулу для розрахунку відносної концентрації адсорбента в фільтраті, розроблено інженерну методику її використання для типових прикладів. Використано нелінійні ізотерми адсорбції при накопиченні адсорбованої речовини та зумовленого ним різкого зменшення темпу очищення води в завантаженні. З'ясовано, що застосування пористих адсорбентів у адсорбційних фільтрах значно підвищує ефективність водоочищення у порівнянні з суцільними адсорбентами [48–51].

Розроблено методику розрахунку вилучення ОЗ і амонійного азоту, які можуть бути використані при створенні відповідних положень і рекомендацій щодо сумісного очищення стічних вод у різних біореакторах. Для контролю за процесом окислення амонію до нітратів запропоновано використовувати відношення концентрації кисню до амонію. Для оцінки впливу температури, лужності та інших параметрів застосовано відповідні поправочні коефіцієнти в основних кінетичних рівняннях, а вплив інгібіторів враховано з використанням рівняння Халдейна. Задля спрощення вирішення практичних задач біоочищення побудовано спеціальні графіки й таблиці даних на основі розв'язання ме-

тодичних задач чисельно-аналітичними методами. Виконано аналіз сучасного стану досліджень процесів біоочищення в біореакторах різного призначення на основі методів математичного моделювання. Зроблено висновок щодо вибору моделей при розв'язанні конкретних практичних задач [40–44].

Розроблено біоконвеєрну технологію прямої системи багатоступеневого біологічного очищення, яка здатна забезпечувати видалення будь-яких токсичних речовин і є безвідходною. Застосовано спрощений підхід до моделювання анаеробної утилізації субстрату з використанням двостадійної кінетики. Створено теоретичну базу для подальших досліджень аналітичними методами роботи фільтрувальних споруд біологічного очищення в безкисневих умовах [51].

Керування водним режимом сільськогосподарських земель у зоні осушувальних меліорацій України в сучасних умовах

Протягом останніх десятиліть унаслідок глобального потепління в кліматичних умовах України позначилася нова стійка тенденція. Зміни клімату тут мають регіональні особливості і, загалом, подвійний характер. Насамперед, підвищився температурний фон, що проявилось в підвищенні середньорічної температури в середньому на 1,5°С. Але особливо важливим є посилення водообміну між атмосферою та землею, причому переважно в теплу пору року. Особливо суттєвим є вплив цих змін на аграрний сектор економіки України [11, 19, 53, 58].

Сучасні зміни клімату мають суттєвий вплив на структуру сільськогосподарської продукції. Попередні розробки не в змозі забезпечувати на належному рівні регулювання водно-повітряного режиму земель сільськогосподарського призначення. Створена раніше зусиллями великої кількості фахівців інформаційна база вже, по суті, не відповідає новим реаліям, зокрема, не відображає особливості водоспоживання нових видів та сортів сільськогосподарських культур. Фактично, необхідна ревізія раніше накопичених експериментальних та теоретичних знань. Зокрема, актуальною стала розробка більш досконалих інженерних методів розрахунку регулювання водного режиму за рахунок удосконалення фільтраційних розрахунків дії та параметрів дренажу.

В останні десятиліття теоретичні дослідження горизонтальних і вертикальних дренажів розвивалися відповідно до нових завдань, які тепер необхідно розв'язувати меліоративній науці, причому акцент було зроблено на їхній зволожувальній функції [2, 3]. Встановлено, що при інтенсивних водно-фізичних процесах важливо акуратно враховувати не тільки потенційну здатність ґрунту акумулювати гравітаційну вологу в зоні аерації або віддавати її, а й їхню динамічність, зокрема, швидкість переміщення РГВ. Щодо оперативного регулювання водного режиму земель сільськогосподарського призначення, то можна відзначити наступні теоретичні дослідження та розроблені на їх основі інженерні методики [2, 3, 52, 53]:

- неусталена фільтрація при підґрунтовому зволоженні ґрунту;

- неусталений приплив до одиночної горизонтальної дрени в необмеженому в плані водоносному пласті;
- неусталений приплив до систематичного дренажу з урахуванням інфільтрації;
- неусталений приплив до підсистем дренажу та провідних каналів, кротовин;
- усталена фільтрація на тлі дренажу з урахуванням водообміну з суміжними середовищами;
- неусталений приплив до одиночної самовиливної свердловини;
- неусталений приплив до регулярної системи самовиливних свердловин.

Теоретичними методами були розглянуті деякі питання, які мають практичне значення й стосуються фільтрації в ґрунтах особливої структури газу, швидко застигаючої речовини. На особливу увагу заслуговує остання теоретична розробка в традиційному для відділу напрямі. Виконана в ній узагальнена оцінка водно-фізичного стану дренаваного ґрунту буде широко використовуватися надалі з метою обґрунтування меліоративного дренажу стосовно сучасних кліматичних умов. Серед розглянутих факторів виділимо фільтрацію рідини в дренаваному тріщинуватому напірному пласті та компактне поширення реагенту, що загусає, в плоскорадіальному фільтраційному потоці. На базі нового підходу дано теоретичне обґрунтування регулярної системи горизонтальних дрен. Розроблено доповнення до нелінійної теорії газових свердловин.

Вплив горизонтальних і, тим більше, вертикальних дрен, а отже, і вміст води в дренаваному ґрунті істотно змінюються в міру віддалення від них. Тому локальна оцінка водно-фізичного стану ґрунту дає змогу отримувати лише обмежене уявлення про реальні вологозапаси. Новий підхід якраз і дозволяє оцінювати водно-фізичну обстановку в осушуваному або зволожуваному ґрунті узагальнено, тобто за загальними запасами води в міждренному просторі.

Дослідження в галузі берегової гідротехніки

Історично склалося так, що роботи в цій галузі у різні періоди виконувались багатьма дослідницькими групами, які належали до різних структурних підрозділів Інституту гідромеханіки НАН України. Активну участь у цьому процесі відіграв відділ прикладної гідромеханіки, а його багаторічний очільник член-кор. НАН України О.Я.Олійник разом з проф. зав. відділу хвильових процесів І.Т.Селезовим протягом 1970–1990-их рр. були кураторами й, без перебільшення, ідеологами розробки науково обґрунтованих методів захисту берегів водойм від розмиву поверхневими хвилями. Вагомі напрацювання в цьому напрямку дали змогу розрахувати параметри хвиль, які виникають на поверхнях відкритих і обгороджених акваторій. Це, у свою чергу, дозволило виробити ряд важливих рекомендацій для проєктантів берегоукріплювальних споруд [31, 66]. Результати фундаментальних і прикладних досліджень у галузі берегової гідротехніки широко

впроваджуються в практику гідротехнічного будівництва та слугують основою для розроблення низки відомчих і державних нормативних документів. (О.Я.Олійник, В.В.Хомицький) [32, 33, 66].

У 2017–2021 роках відділ брав участь у виконанні НДР з дослідження проблем генерації та взаємодії поверхневих гравітаційних хвиль з берегами та штучними хвилеломами. В результаті виконаних досліджень розроблені нові моделі генерації поверхневих гравітаційних хвиль та удосконалено сучасні методи розрахунку характеристик хвиль, що генеруються рухомими суднами в умовах складного фарватеру і просторово-часових характеристик хвиль, що взаємодіють із перспективними типами хвилеломів. Експериментально досліджено



*Моделювання захисту контейнерного терміналу
Державного підприємства Одеський морський
торгівельний порт*

процеси генерації поверхневих хвиль та їх взаємодію з берегозахисними спорудами та берегами. Ці результати стали основою для визначення хвильового навантаження на гідротехнічні конструкції. Розроблено нові фізико-математичні моделі поширення хвиль на ускладнених за геометрією або за фізичними властивостями системах, дано оцінку перерозподілу енергії хвильового поля при взаємодії з гідротехнічними спорудами. З'ясовано характер та величину хвильових полів, що діють на складні інженерні споруди, що дає можливість оцінити характеристики споруд та засоби, які найбільше впливають на ефективне гасіння хвиль [65, 66]. У дослідженнях приймав участь великий колектив науковців: В.В.Хомицький, Л.М.Терещенко, В.А.Воскобійник, І.Б.Кудибін, А.Г.Харченко, І.А.Хижа.

З 2017 року в інституті існує відділ, який, зокрема, спеціалізується на питаннях взаємодії поверхневих хвиль із берегами річок, озер, водосховищ і морів. Виходячи з цього, читача, який хоче більш детально дізнатися про роботи Інституту гідромеханіки НАН України в галузі берегозахисту, ми відсилаємо до розділу книги, присвяченому діяльності відділу гідродинаміки хвильових та руслових потоків.

Публікаційна діяльність та впровадження

Публікаційна активність дослідників відділу за період 2000–2025 рр. виражається кількістю та рівнем публікацій. Всього опубліковано 95 друкованих праць із них 20 проіндексовані наукометричними базами даних Web of Science та Scopus. Підготовлено 3 монографії (з них дві одноосібні), 28 статей у вітчизняних фахових виданнях, 4 розділи в колективних монографіях, 27 статей у неперіодичних збірниках наукових праць, 5 тез

міжнародних конференцій, які відбулись за кордоном, 2 статті у періодичних закордонних виданнях, 11 тез міжнародних конференцій, що відбулися в Україні та опубліковані в рецензованих збірниках матеріалів вітчизняних конференцій. Дослідники відділу приймали участь у 10 міжнародних та понад 50 вітчизняних профільних конференціях.

Результати теоретичних досліджень фізико-хімічного знезалізнення на швидких фільтрах були передані для впровадження у виробничі організації Західного регіону (Вінницька, Житомирська, Рівненська, Тернопільська, Хмельницька області) й використовувались при проектуванні та експлуатації фільтрувальних споруд. Виконано оцінку експлуатаційних запасів підземних вод на діючих та проектних водозаборах для розширення водозабезпечення м. Львів на перспективу до 2050 року методами математичного моделювання. Матеріали досліджень передано для впровадження у Львівську геолого-розвідувальну експедицію об'єднання «Західукргеологія».

За всіма зазначеними напрямками за завданням різних міністерств і відомств, зокрема за лінією виконання госпдогвірної тематики, підготовлено різного рівня нормативні документи, зокрема науковці взяли участь у розробленні за завданням Держбуду України Державних будівельних норм В.2.4. «Меліоративні системи і споруди» та додатка до них «Проектування і розрахунок дренажу при регулюванні водного режиму на зрошуваних і осушуваних землях».

Кваліфікаційний рівень

Заслуги відділу відзначені Державною премією УРСР (О.Я.Олійник) і премією імені О.М.Динника НАН України (О.Я.Олійник, В.Л.Поляков).

Рівень кваліфікації кадрового складу відділу відповідає вимогам щодо виконання НДР. Станом на 2025 рік у відділі працювали два доктори наук (чл.-кор. НАНУ О.Я.Олійник, д.т.н. проф. В.Л.Поляков), чотири кандидати наук (О.О.Дятел, Ю.І.Калугін, С.В.Телима, А.В.Чирков), три провідних інженери (С.М.Курганська, Є.О.Олійник, О.В.Харламова). Зав.відділом – канд. техн. наук С.В.Телима.

В цілому відділ займає лідерські позиції за науковими напрямками своєї діяльності, має вагомі наукові та практичні результати, визнані на міжнародному та найвищому національному рівні, має високий науковий потенціал та ефективно його використовує. Конкурентоспроможність і загальна результативність діяльності відділу відповідають найвищим стандартам міжнародного рівня. Оригінальність, значимість та якість результатів досліджень відділу викликають значне зацікавлення світової фахової спільноти, про що свідчать численні запрошення відомих зарубіжних профільних видань щодо публікації результатів досліджень відділу.

Стратегія відділу на майбутнє

Згідно зі стратегією розвитку досліджень відділу на майбутнє, планується подальше поглиблене дослідження закономірностей гідродинамічних, фізико-хімічних і біологі-

чних процесів, що протікають сумісно в дво- та багатофазних системах і в комплексі забезпечують видалення органічних і мінеральних забруднень із природних і стічних вод. Також будуть розроблені розрахункові методи, які б забезпечували надійний прогноз наслідків тривалої роботи споруд біологічного очищення в контрольованих і форсованих режимах за нормальних і екстремальних умов. Це дасть спеціалістам змогу при проєктуванні та експлуатації очисних споруд (фільтри, реактори, біофільтри) визначати раціональні конструктивні й технологічні параметри з урахуванням посилених вимог до якості питної й технічної води при одночасному зменшенні вартості водоочищення та підвищенні продуктивності діючих споруд і секцій.

Планується також продовжити подальші дослідження стосовно основ обробки техногенних водних суспензій, що сприятиме активному вилученню шкідливих домішок, разом зі створенням розрахункових методів для забезпечення надійних прогнозів змін характеристик біофільтрування в стабільних та динамічних умовах, обґрунтуванням раціональних робочих режимів, технологічних і конструктивних параметрів для забезпечення максимальної віддачі від споруд біологічного та фізико-хімічного водоочищення.

Планується впровадження розроблених теоретичних методик водоочищення в установах Міністерства регіонального будівництва, Міністерства комунального господарства, Міндовкілля та в інших відомчих профільних установах.

Бібліографія

- [1] Олейник А. Я. *Фильтрационные расчеты вертикального дренажа*. Киев : Наукова думка, 1978. 202 с.
- [2] Олейник А. Я. *Геогидродинамика дренажа*. Киев : Наукова думка, 1981. 284 с.
- [3] Олейник А. Я., Поляков В. Л. *Дренаж переувлажненных земель*. Киев : Наукова думка, 1987. 280 с.
- [4] Олейник А. Я. Фильтрация воды к несовершенным скважинам в двухслойном напорном пласте. *Известия АН СССР. Механика жидкости и газа*. 1967. № 5. С. 147–153.
- [5] Олейник А. Я. *Дренажные системы в зоне орошения*. Киев : Урожай, 1987. 192 с.
- [6] Олейник А. Я., Сырый В. С. Расчет оптимальных параметров регулирования водного режима при капельном орошении. *Математика и проблемы водного хозяйства*. 1986. С. 52–60.
- [7] Калугин Ю. И., Сырый В. И., Курганская С. Н. Обоснование экологически безопасных условий регулирования водно-солевого режима зоны аэрации в условиях дефицита водных ресурсов. *Вісник Української державної академії водного господарства. Сучасні проблеми теорії фільтрації*. 1998. С. 66–69.

- [8] *Методика планування оптимальних екологічно безпечних режимів зрошення*. Київ : Держкомінст України з водного господарства, УААН, 1997. 43 с.
- [9] Олейник А. Я. Регулирование водно-воздушного режима грунтов на фоне дренажа на основе математического моделирования. *Повышение эффективности осушительно-увлажняющих систем*. Киев : УкрНИИГиМ, 1985. С. 129–133.
- [10] Коваленко П. І., Яцик М. В., Поляков В. Л. Управління вологозабезпеченістю сільськогосподарських культур на меліорованих землях з урахуванням динаміки чинників зовнішнього середовища. *Меліорація і водне господарство*. 1996. № 82. С. 3–12.
- [11] Олейник А. Я., Поляков В. Л. Математическая модель трансформации и миграции азотных соединений в почве при внесении минеральных азотных удобрений. *Доповіді АН України*. 1992. № 4. С. 142–145.
- [12] Незвинский А. Я., Олійник А. Я., Поляков В. Л. Моделирование динамики азота удобрений при решении прикладных задач. Анализ и оценка составляющих баланса азота удобрений в пахотном слое. *Меліорація і водне господарство*. 1996. № 83. С. 98–111.
- [13] Поляков В. Л. Неустановившийся приток нелимитированных питательных веществ к изолированным корням. *Гидромеханика*. 1997. № 71. С. 98–104.
- [14] Поляков В. Л. Нелимитированный приток питательных элементов к сообществам корней. *Прикладна гідромеханіка*. 1999. Т. 1(73), № 1. С. 73–78.
- [15] Олейник А. Я. Вопросы моделирования фильтрации и массопереноса для целей охраны подземных вод от загрязнения. *Гидротехническое строительство*. 1985. № 7. С. 13–16.
- [16] Добронравов А. А., Кремез В. С., Сирый В. С. *Расчет на ЭВМ нестационарной фильтрации в районах гидротехнических сооружений*. Киев : Наукова думка, 1980. 184 с.
- [17] Добронравов А. А., Жовтоног Н. И., Кремез В. С. Прогноз теплопереноса во время фильтрации через плотины и дамбы водохранилищ-охладителей. *Гидравлика и гидротехника*. 1993. № 57. С. 52–56.
- [18] Добронравов О. О., Жовтоног М. І., Кремез В. С. Прогноз змін рівнів і хімічного складу підземних вод у зоні впливу каскаду водосховищ. *Меліорація і водне господарство*. 1994. № 80. С. 62–66.
- [19] Олейник А. Я., Поляков В. Л., Кремез В. С. Некоторые актуальные вопросы миграции питательных веществ и загрязнений в системе растение – почва – грунтовые воды. *Гидромеханика*. 1996. № 70. С. 88–98.

- [20] Добронравов А. А., Жовтоног І. І., Кремез В. С. Прогноз фильтрации и миграции загрязнений в зоне влияния золоотвалов. *Гидравлика и гидротехника*. 1998. № 59. С. 93–100.
- [21] Прогноз фільтраційної консолідації глинистих ґрунтів при підготовці підвалин гідротехнічних споруд у складних гідрогеологічних умовах / Олійник О. Я., Білеуш А. І., Дворник С. О., Добронравов О. О., Жовтоног М. І. і Кремез В. С.. *Меліорація і водне господарство*. 1999. № 86. С. 125–134.
- [22] СНиП 2.06.15-85. *Инженерная защита территории от затопления и подтопления*. Москва : Госстрой СССР, 1986. 24 с.
- [23] Олейник А. Я., Добронравов А. А., Кремез В. С. Математическое моделирование экологических катастроф, связанных с изменением режима грунтовых вод. *Вісник Української державної академії водного господарства. Сучасні проблеми теорії фільтрації*. 1998. С. 113–118.
- [24] *Методические рекомендации по расчетам защиты территорий от подтопления в зоне орошения* / под ред. Олейника А. Я. Киев : Укргипроводхоз, 1986. 392 с.
- [25] Олійник О. Я., Степова Н. Г. Математичне моделювання процесів перенесення субстрату та кисню в біодискових фільтрах. *Доповіді НАН України*. 1998. № 10. С. 146–148.
- [26] Калугин Ю. І., Киселев С. К., Олейник А. Я. Моделирование удаления железа из воды фильтрованием с учетом изменения фильтрационных свойств среды. *Доповіді НАН України*. 1998. № 7. С. 146–148.
- [27] Киселев С. К., Олейник А. Я. Гидродинамическая модель фильтрования при очистке подземных вод от соединений железа. *Прикладна гідромеханіка*. 1999. Т. 1(73), № 1. С. 20–25.
- [28] Олейник А. Я., Калугин Ю. І., Валид Ш. Ш. Математическое моделирование экологических катастроф, связанных с изменением режима грунтовых вод. *Доповіді НАН України*. 1995. № 5. С. 146–148.
- [29] Олейник А. Я. Математические модели фильтрации и массопереноса в связи с решением задач гидротехники, мелиорации и охраны окружающей среды. *Прикладная гидромеханика*. Киев : Наукова думка, 1989. С. 100–122.
- [30] Кремез В. С. Розрахунок витрат напору на фільтрі при очищенні води з низькою концентрацією завислих забруднень. *Меліорація і водне господарство*. 2000. № 87. С. 3–12.
- [31] Хомицкий В. В. *Природоохранные аспекты береговой гидротехники*. Киев : Наукова думка, 1984. 274 с.

- [32] *Рекомендації з підвищення надійності берегоукріплювальних споруд під час експлуатації водосховищ*. Київ : Держводгосп України, 1992. 126 с.
- [33] ДБН В.1.1-3-97. *Інженерний захист територій, будинків і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення*. Київ : Держмістархітектура, 1997. 59 с.
- [34] *Дослідження фільтрації рідин і тепломасопереносу в пористих середовищах при біохімічних і фізико-хімічних перетвореннях: Звіт про НДР* / Інститут гідромеханіки НАН України. Київ : 2014. 166 с.
- [35] *Дослідження гідродинаміки розчинів та суспензій в трубопровідних системах і пористих середовищах: Звіт про НДР* / Інститут гідромеханіки НАН України. Київ : 2016. 139 с.
- [36] Теоретичні дослідження гідродинамічних і фізико-хімічних процесів при вилученні забруднень різного походження фільтруванням : Звіт про НДР / Інститут гідромеханіки НАН України. Київ : 2018. 133 с.
- [37] *Гідродинамічні процеси в очисних і дренажних спорудах при наявності біохімічних перетворень : Звіт про НДР* / Інститут гідромеханіки НАН України. Київ : 2021. 72 с.
- [38] *Теоретичне обґрунтування нових методів забору і очистки води від забруднень різного походження з врахуванням фазових перетворень в рідкій і твердій (біоплівки) фазах : Звіт про НДР* / Інститут гідромеханіки НАН України. Київ : 2022. 102 с.
- [39] *Теоретичні дослідження процесів очистки стічних і інших вод від забруднень різного походження в біореакторах з метою підвищення ефективності їх роботи : Звіт про НДР* / Інститут гідромеханіки НАН України. Київ : 2024. 93 с.
- [40] Моделювання і розрахунки очистки стічних вод від сполук азоту в біореакторах з використанням біоплівкових моделей / Олійник О. Я., Телима С. В., Калугін Ю. І. і Олійник Є. О.. *Доповіді НАН України*. 2021. № 5. С. 39–49.
- [41] Моделювання та розрахунки параметрів сумісної очистки органічних забруднень (ОЗ) і сполук азоту (N) в біореакторах з використанням закріпленого біоценозу (біоплівки) / Олійник О. Я., Телима С. В., Калугін Ю. І. і Олійник Є. О.. *Екологічна безпека та природокористування*. 2022. № 3. С. 82–96.
- [42] Аналіз впливу гетерогенності біоплівки на ефективність вилучення забруднень в біореакторах / Олійник О. Я., Телима С. В., Калугін Ю. І. і Олійник Є. О.. *Екологічна безпека та природокористування*. 2023. № 3. С. 5–20.
- [43] Теоретичний аналіз процесів сумісного очищення стічних вод від органічних забруднень і сполук азоту в біореакторах з використанням біоплівкових моделей / Олійник О. Я., Телима С. В., Калугін Ю. І. і Олійник Є. О.. *Доповіді НАН України*. 2023. № 2. С. 55–64.

- [44] Теоретичний аналіз процесів очистки стічних вод від органічних забруднень стратифікованою біоплівкою / Олійник О. Я., Телима С. В., Калугін Ю. І. і Олійник Є. О.. *Доповіді НАН України*. 2023. № 5. С. 3–8.
- [45] Поляков В. Л. Теоретический анализ длительности фильтроцикла. *Химия и технология воды*. 2009. Т. 31, № 6.
- [46] Поляков В. Л. О рациональном выборе формы и размеров загрузки водоочистного фильтра. *Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение*. 2015. № 9 (93). С. 8–16.
- [47] Поляков В. Л. Математическое моделирование безотрывного фильтрования водной суспензии со сменой направления. *Доповіді НАН України*. 2020. № 5. С. 31–41.
- [48] Poliakov V. L. Dynamic linear adsorption with solid adsorbent material. *Доповіді НАН України*. 2021. № 4. С. 46–52.
- [49] Poliakov V. L. Theoretical analysis of reagent filtration of aqueous suspensions with unregulated filtration rate. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2022. Vol. 56, no. 4. P. 477–496.
- [50] Поляков В. Л. Моделирование биофильтрации воды с ограниченным содержанием органического субстрата. Биореактор-фильтр. *Доповіді НАН України*. 2011. № 7. С. 58–66.
- [51] Poliakov V. L. Mathematical and applied calculation of bioconveyer and anaerobic biofiltration. *Anaerobic Digestion-Biotechnology for Reactor Performance and Environmental Sustainability* / ed. by S. Aydin IntechOpen, 2023.
- [52] Поляков В. Л. *Фильтрационные деформации в дренированных почвах: теория и примеры*. Киев : Аграр Медиа Групп, 2014. 382 с.
- [53] Поляков В. Л., Калугин Ю. И. Математическое моделирование водообмена между насыщенной и ненасыщенной зонами дренируемого грунта. *Доповіді НАН України*. 2016. № 6. С. 38–46.
- [54] Poliakov V. L. Theoretical substantiation of regular system of horizontal drains (a new approach). *Доповіді НАН України*. 2023. № 6. С. 40–48.
- [55] Тугай А. М., Олійник О. Я., Тугай Я. А. *Продуктивність водозабірних свердловин в умовах кольтатажу*. Харків : ХНАМГ, 2004. 240 с.
- [56] Телима С. В. Определение геофильтрационных параметров по данным опытно-фильтрационных работ в слоистых водоносных толщах. *Гидромеханика*. 1994. № 68. С. 40–46.

- [57] Телима С. В. Проблеми підтоплення південних районів України ґрунтовими водами. 3. До оцінки фільтраційних втрат із магістральних та розподільчих каналів. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2007. № 9. С. 57–68.
- [58] Телима С. В. До обґрунтування водо- і масообміну на зрошувальних землях України. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2010. № 14. С. 176–182.
- [59] Телима С. В., Олійник Є. О. Розрахунки водозабірних свердловин в багат шаровій водоносній товщі. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2012. № 20. С. 120–131.
- [60] Існуючі математичні моделі і методи фільтраційного розрахунку променевих водозаборів і дренажів / Телима С. В., Тугай Я. А., Олійник Є. О. і Майстренко Г. В. *Містобудування та територіальне планування*. 2013. № 47. С. 618–626.
- [61] Телима С. В., Кремез В. С. Обґрунтування схем розміщення і параметрів сорбційних бар'єрів для захисту ґрунтових вод від забруднення методами математичного моделювання. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2016. № 27. С. 214–220.
- [62] Telyma S. V. The modeling peculiarities of pollution propagation of the different origin in saturated-unsaturated media. *Екологоорієнтовані підходи відновлення техногенно забруднених територій і створення сталих екосистем*. Полтава : Видавництво ПП «Астрія», 2022. С. 245–254.
- [63] Telyma S. V. Hydroecological analysis of impact of filtration from main channels on the processes of flooding by the ground waters the adjacent territories in Kherson region. *Сталий розвиток: Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування*. Київ : Яроченко Я. В., 2022. С. 452–480.
- [64] Телима С. В., Дятел О. О. Розрахунки та прогнозування впливу кар'єру «Хотиславський» на гідродинаміку ґрунтових і підземних вод Волинського Полісся. *Меліорація та водне господарство*. 2018. № 1(107). С. 73–79.
- [65] *Генерація та взаємодія поверхневих гравітаційних хвиль з берегами та штучними хвилеломами : Звіт про НДР* / Інститут гідромеханіки НАН України. Київ : 2021. 120 с.
- [66] *Інженерний захист та освоєння територій. Довідник*. Київ : Будівельник, 1999. 190 с.

ВІДДІЛ ТЕЧІЙ З ВІЛЬНИМИ МЕЖАМИ

Відділ течій із вільними межами (ТВМ) було створено в 1968 році. З 1968 до 1987 року відділом керував академік НАН України Г.В.Логвинович. З 1988 року відділ очолює член-кор. НАН України Ю.М.Савченко.

Юрій Миколайович Савченко народився 1940 року. 1964 року закінчив Київський державний університет ім. Т.Г.Шевченка за фахом механіка та почав працювати в Інституті гідромеханіки АН УРСР. Послідовно обіймав посади від інженера до завідувача лабораторії та завідувача відділу. У 1970 році став кандидатом, а в 1983 році – доктором технічних наук. З 1997 року – член-кореспондент НАН України. Ю.М.Савченко – лауреат премії Академії технологічних наук України 1995 року в галузі розвитку нових технологій і лауреат державної премії України в галузі науки і техніки 2002 року. Автор 135 наукових праць, 36 винаходів. Організатор фундаментальних і прикладних досліджень, які служать основою для створення нових технологій у багатьох галузях промисловості. Лідер розробки принципово нових типів руху тіл у воді, які дозволили перевищити межу швидкості звуку в повітрі (1000 м/с) та досягти звукової швидкості у воді (1440 м/с). Це досягнення – одне з чотирьох у загальній механіці та єдине в гідромеханіці, відзначене під час святкування сторіччя існування Академії наук України. За впровадження цих розробок Ю.М.Савченко у 1978 році був відзначений державною нагородою – медаллю «За трудову відзнаку».



До пріоритетних наукових напрямів діяльності відділу належать:

- надшвидкісний рух тіл у рідині на основі суперкавітації;
- гідродинаміка струменевих, бульбашкових та краплинних течій;

- гідродинаміка суперкавітуючих підводних крил та елементів гідромашин;
- методи зниження гідродинамічного опору тіл у воді;
- гідромеханіка та теплофізика пристінних течій у проблемах навколишнього середовища;
- гідродинамічні технології;
- розвиток методів експериментальної гідродинаміки.

Структура відділу

Для дослідження складних нестационарних процесів при проникненні тіл у воду та суперкавітаційному русі тіл у воді у відділі застосовується комплексний підхід, який полягає в поєднанні фізичного експерименту та комп'ютерного моделювання. Відділ ТВМ має гнучку структуру, згідно з якою в ньому створені та працюють три спеціально сформовані групи співробітників, які взаємодіють між собою.



Співробітники відділу, 2011 рік (зліва направо):

сидять – пров. наук. спів. Є.О.Гаєв, пров.інж. О.І.Наумова, зав. відділу Ю.М.Савченко, інж. З.І.Манова, ст. наук. спів. С.І.Путілін, ст. дослідник Г.Ю.Савченко; стоять – гол. інж. В.Ф.Козенко, інж. В.О.Криницький, пров. наук. спів. Ю.А.Семенов, інж. Л.П.Каширихін, пров.інж. П.Д.Чичик, пров. наук. спів. В.М.Семененко, ст. наук. спів. Ю.Д.Власенко, пров. інж. М.С.Федоренко, пров. наук. спів. І.Г.Нестерук

- *Група теоретичних досліджень та комп'ютерного моделювання.* Її завдання полягає в розробці математичних моделей гідродинаміки, створенні програмного забезпечення, здійсненні комп'ютерного моделювання та прогнозуванні гідродинамічних процесів. Склад групи: пров. н. с., д.т.н. В.М.Семененко, пров. н. с., д.ф.-м.н. І.Г.Нестерук, пров. н. с., д. ф.-м. н. Ю.А.Семенов, провідний інж. О.І.Наумова.
- *Група експериментальних досліджень.* Завдання групи полягає в проведенні гідродинамічних досліджень на гідродинамічних трубах та стендах, перевірці реалізованості гідродинамічних процесів і технологій. Склад групи: завідувач лабораторії сучасної гідродинаміки, ст. дослідник., к.т.н. Г.Ю.Савченко, інженери В.Ф.Іванюк і А.С.Темеров.
- *Група проектування.* Завданням групи є проектування моделей та макетів для експериментальних досліджень, здійснення модернізації експериментального обладнання. Склад групи: інж. З.І.Манова, інж. Т.П.Кисельов.

У різні роки у відділі ТВМ працювали науковці Ю.Д.Власенко, С.І.Путілін, В.М.Буйвол, В.І.Корольов, І.І.Єфремов, М.Е.Марко, Ю.Р.Шевчук, М.М.Білокриницький, В.В.Попов, С.Б.Осипенко, Ю.П.Дейнекін, Є.О.Гаєв, В.Ф.Козенко, М.С.Федоренко, В.О.Криницький, Л.П.Каширихін, П.Д.Чичик, О.М.Зверховський.

Експериментальна база

Мала гідродинамічна труба (ГДТ-1)

Мала гідродинамічна труба являє собою установку розімкнутого типу, яка працює за рахунок вільної течії з напірного резервуара. При тиску $H = 4,4$ м водяного стовпа в ній забезпечується швидкість потоку $V=8,9$ м/с. Робоча ділянка ГДТ-1 з перерізом 340×340 мм і довжиною 2 м допускає роботу як у вигляді закритої робочої ділянки, так і у вигляді лотка з відкритою вільною поверхнею. Відпрацьований потік проходить деаерацію у підземному заспокійливому басейні. Завдяки цьому на ГДТ-1 можливе дослідження гідродинамічних процесів, які вимагають значного вдунання повітря в потік, а також вивчення процесів обтікання поблизу вільної поверхні потоку.

У 2014 році гідродинамічну трубу було модифіковано для роботи в імпульсному режимі. Для цього перед робочою ділянкою встановлено автоматизовану заслінку. Модифікація стала необхідною у зв'язку зі здорожчанням експлуатаційних витрат. У ході модернізації також було поліпшено засоби освітлення та фото-відео фіксації.

Велика гідродинамічна труба (ГДТ-2)

Велику гідродинамічну трубу було побудовано протягом 1982–1986 рр. під час створення нової гідродинамічної лабораторії. Проект ГДТ-2 базувався на технічних рішеннях, розроблених у 1978–1980 рр. Вони стали результатом великого обсягу проведених у

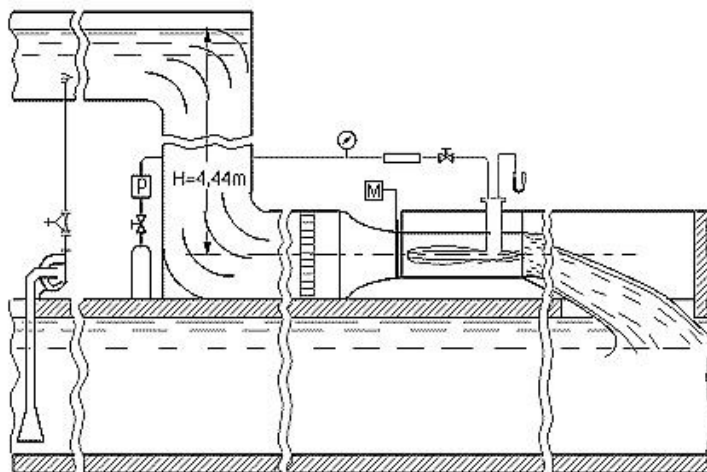


Схема малої гідродинамічної труби ГДТ-1

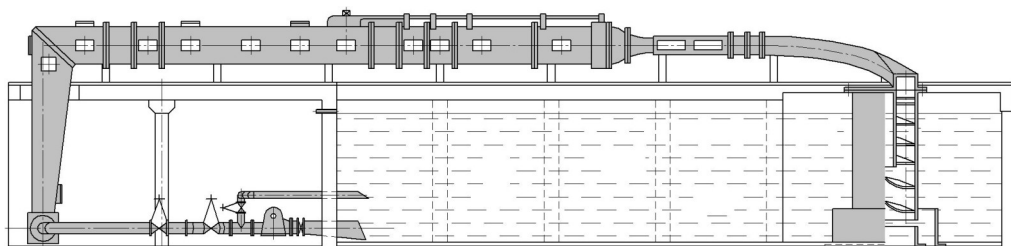


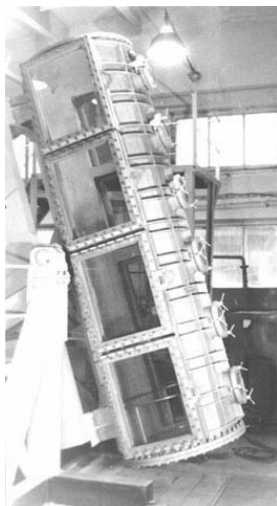
Схема великої гідродинамічної труби ГДТ-2

відділі ТВМ спеціальних досліджень, включаючи модельні випробування окремих вузлів ГДТ та всієї установки (Г.В.Логвинович, Ю.М.Савченко, Ю.Д.Власенко).

ГДТ-2 – швидкісна гідродинамічна труба розімкнутого типу з максимальною проектною швидкістю потоку 32 м/с. Її робоча ділянка з перерізом $0,5 \times 0,5$ м та довжиною 4 м розрахована на роботу в трьох варіантах – закрыта ділянка з регульованим поздовжнім градієнтом тиску, відкритий гідролоток із регульованим нахилом дна, напівобмежений струмінь з твердими вертикальними стінками та вільними верхньою та нижньою поверхнями.

Підвідну ділянку ГДТ-2 з перерізом $2,1 \times 2,1$ м і довжиною 40 м обладнано системою парних оглядових вікон розміром 840×630 мм, виготовлених із багат шарового загартованого скла. Це дозволяє використовувати її як закритий гідроканал для випробувань високошвидкісних підводних об'єктів у вільному русі. Конструкцію підвідної ділянки розраховано на роботу в діапазоні тисків від вакууму до 10 кгс/см^2 .

У 2008 році швидкісну багатоцільову гідродинамічну трубу Інституту гідромеханіки НАН України ГДТ-2 офіційно визнано Національним надбанням України.



Вертикальний (ліворуч) та пусковий (праворуч) стенди

Вертикальний та пусковий стенди

Для експериментального дослідження входу тіл у воду, явищ рикошету та вільного руху моделей у воді були створені вертикальний стенд з можливістю його нахилу до 180° та високошвидкісний пусковий стенд з електрохімічною катапультою, що забезпечує початкову швидкість моделей до 1800 м/с і дистанцію вільного руху 36 м .

Основні наукові досягнення

До основних наукових досягнень відділу належать результати, отримані при дослідженні течій з розвиненою кавітацією – суперкавітацією. У цій галузі розроблено нові принципи створення суперкаверн і керування ними, що дозволило вперше у світі досягти надзвукових швидкостей руху тіл під водою. Теоретично досліджено та експериментально підтверджено режими стійкого руху тіла в суперкаверні, коли воно періодично глісує по її стінках або стабілізується за допомогою аеродинамічних та бризкових сил (Ю.М.Савченко, В.М.Семененко, Ю.Д.Власенко, С.І.Путілін).

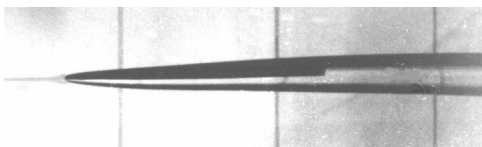
У ході досліджень штучної кавітації були розроблені спеціальні схеми розподіленого піддуву та замикання каверн, що дозволило знизити гідродинамічний опір тіл та витрати газу на піддув штучної суперкаверни. Впровадження цих розробок при створенні підводної ракети «Шквал» було відзначене державними нагородами 1978 року (Г.В.Логвинович, В.М.Буйвол, Ю.М.Савченко). Основні результати досліджень суперкавітації увійшли до монографії, виданої видавництвом Шпрингер у 2012 році (Ю.М.Савченко, В.М.Семененко, І.Г.Нестерук, Ю.Д.Власенко, Г.Ю.Савченко, О.І.Наумова, М.С.Федоренко, В.Ф.Козенко). Слід також відзначити нетрадиційну для відділу, але дуже актуальну тематику – дослідження динаміки пандемії COVID-19. Ці результати увійшли до мо-

нографії, виданої видавництвом Шпрингер у 2021 році, та були опубліковані в авторитетному журналі Nature (І.Г.Нестерук).

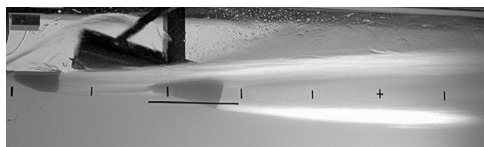
Експериментальне дослідження процесів суперкавітації

Сучасна експериментальна база та накопичений досвід дозволили нашому колективу дослідити найскладніші нестационарні процеси суперкавітації. Зокрема, у відділі ТВМ було розроблено та експериментально реалізовано спосіб моделювання процесів нестационарної кавітації за рахунок керування опором каверноутворюючого тіла. Важливим досягненням стала розробка способу одночасного моделювання суперкавітаційних процесів за двома критеріями – числом кавітації та числом Фруда з використанням викривленої течії, створеної в гідроканалі з дном змінної кривизни (Ю.М.Савченко, Ю.Д.Власенко).

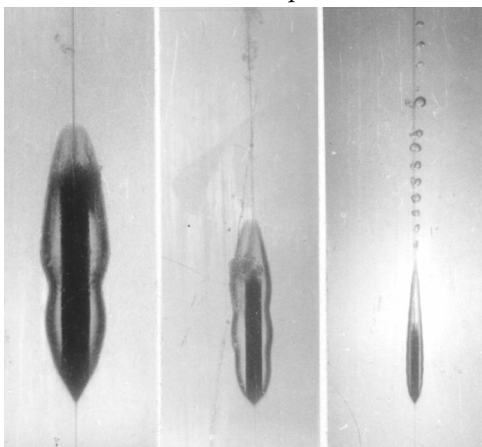
Досліджено закономірності зміни параметрів вентильованих суперкаверн від величини піддуву при замиканні каверни на тілах різної геометрії та можливі способи їх стабілізації за умов стаціонарного режиму обтікання. Розроблено низку типів кавітаторів-трансформерів з регульованими величинами коефіцієнтів опору та підйомної сили, які дозволяють здійснювати керування каверною незалежно режиму кавітації – вентильова-



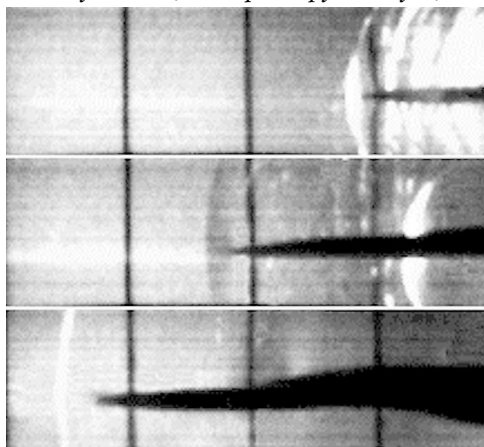
Коливання моделі в каверні, $V = 900$ м/с



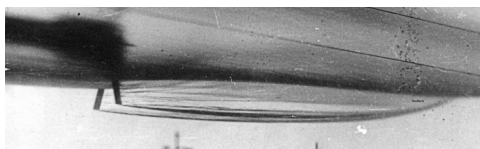
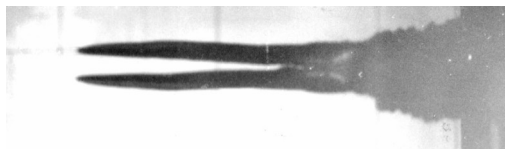
Глісування циліндра в круглій луниці



Формування хвиль на кавернах при вертикальному проникненні тіл у воду



Надзвуковий старт та формування суперкаверни, $V = 1540$ м/с



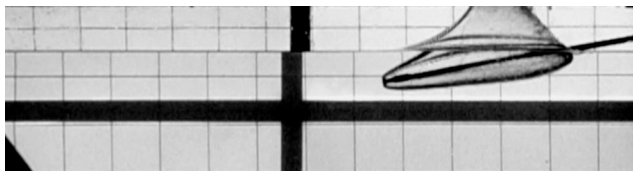
*Груповий рух суперкавітуючих моделей у воді при $V = 900$ м/с (ліворуч)
та суперкавітуючі рулі, що проникають з каверни у воду (праворуч)*

ної чи природної парової. Завдяки своїй швидкодії цей спосіб керування каверною було застосовано в умовах нестационарного обтікання (Ю.М.Савченко, Ю.Д.Власенко).

Також було проведено дослідження підводного старту суперкавітуючих тіл під час руху моделей на дроті й у вільному русі в режимі штучної та парової кавітації в діапазоні швидкостей від 70 до 1500 м/с. Уперше досліджено груповий рух високошвидкісних суперкавітуючих моделей за інерцією (Ю.М.Савченко, Ю.Д.Власенко).

На вертикальному гідродинамічному стенді вивчено явище рикошету моделей від поверхні води (С.І.Путілін). Уперше виявлено та пояснено явище хвилеутворення на кавернах при вертикальному проникненні тіл у воду (Ю.М.Савченко, В.М.Семененко). Експериментально доведено можливість безвідривного входу у воду тіл спеціальної форми (О.М.Зверховський).

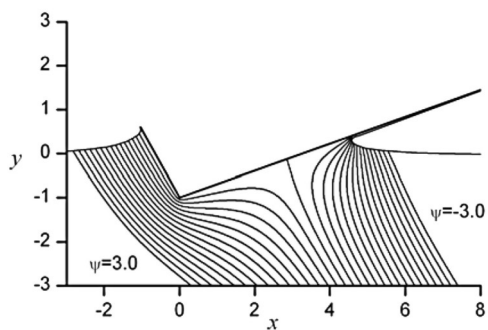
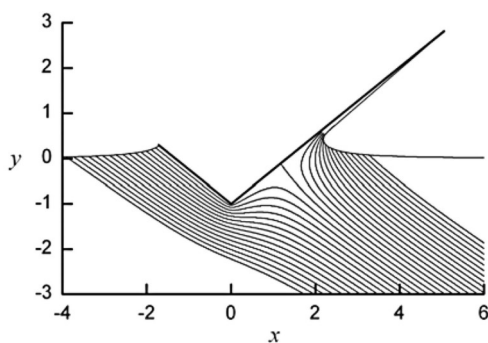
Експериментально досліджено гідродинамічні процеси, які протікають при перетині моделями вільної поверхні води та подальшому проникненні моделей у воду під малим кутом до горизонту, коли за моделлю з кавітатором розвивається каверна, наповнена атмосферним повітрям. Як результат було виділено чотири типи динамічної поведінки моделей залежно від початкових умов: проникнення вздовж прямолінійної траєкторії; проникнення з відхиленням траєкторії; глибинний рикошет; перекидання моделі. (Ю.М.Савченко, Ю.Д.Власенко, Г.Ю.Савченко).



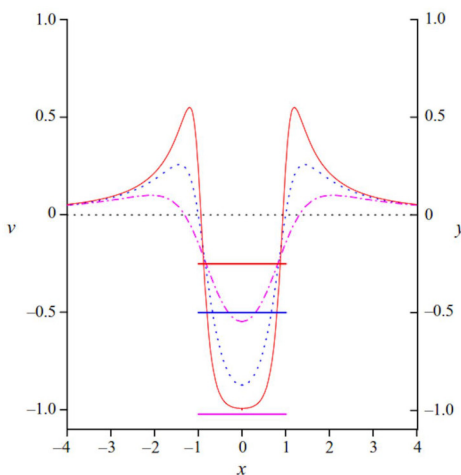
Розвиток каверни при проникненні моделі у воду

Теоретичні дослідження течій з вільними межами

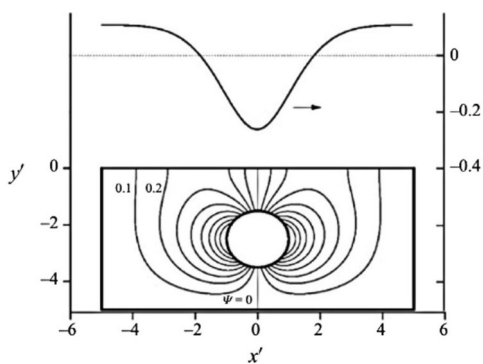
У лінійній постановці розв'язано задачу нестійкості плоских вентильованих каверн у безмежному та обмежених потоках (В.М.Семененко). За допомогою методу граничних інтегральних рівнянь чисельно досліджено осесиметричну задачу про кавітатор з протоком (Ю.П.Дейнекін). Розроблено новий метод розв'язання обернених крайових за-



Лінії течії та конфігурація течії при несиметричному вході клина



Значення швидкостей на вільній поверхні для різних глибин занурення



Імпульсний удар кругового циліндра об воду в прямокутному контейнері: розподіл швидкостей на вільній поверхні (згори) та картина ліній течії (знизу)

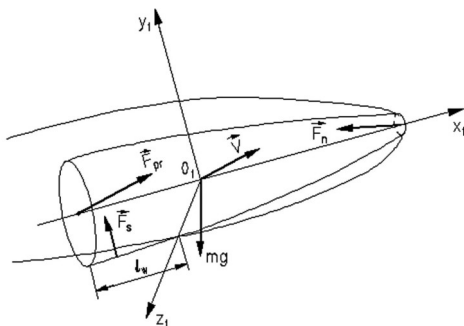
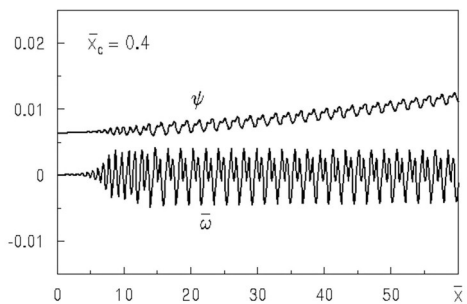


Схема сил, що діють на суперкавітуючий апарат у режимі глісування в каверні



Нестійкість поздовжнього руху суперкавітуючого апарата

дач гідро- та аеродинаміки, який дозволяє отримати аналітичні вирази для комплексних потенціалів як стаціонарної, так і нестаціонарної течій (Ю.А.Семенов). Розв'язано низку нелінійних плоских та осесиметричних задач про вхід і проникнення тіл у рідину (Ю.А.Семенов, В.М.Семененко). Вивчено клас задач, описуваних математичною моделлю течії в'язкої рідини в осередку Хеле–Шоу (Ю.А.Семенов). Отримано аналітичні формули для форми тонких осесиметричних каверн з урахуванням вагомості, стисливості та капілярності (І.Г.Нестерук). Розв'язано ряд задач оптимізації руху суперкавітуючих тіл за інерцією, а також саморушних суперкавітуючих апаратів (І.Г.Нестерук, В.М.Семененко). Розроблено математичну модель просторового руху суперкавітуючого тіла, досліджено задачі динаміки, стійкості руху та керування рухом суперкавітуючих об'єктів (Ю.М.Савченко, В.М.Семененко, С.І.Путілін).

Отримано аналітичні розв'язки задач імпульсного удару циліндричного тіла, зануреного під спокійну поверхню води та тіла, повністю зануреного у відкритий контейнер, для широкого діапазону глибин занурення й різних форм поперечного перерізу тіла – плоскої пластини, кругового циліндра та прямокутника (Ю.А.Семенов).

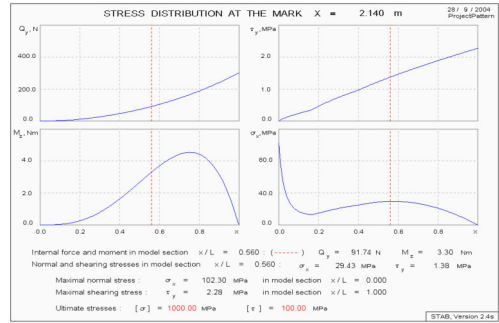
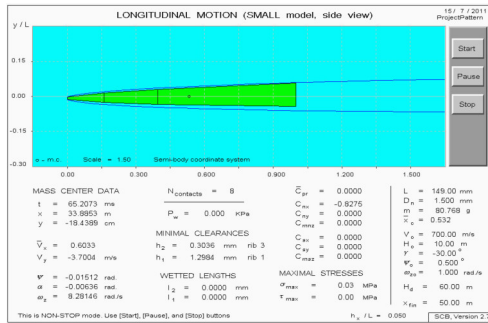
Теоретично досліджено особливості керування рухом та маневреності підводних суперкавітуючих апаратів. Зокрема, розглядались проблема розгону суперкавітуючого апарата, нестійкість його поздовжнього руху, гістерезис і розривний характер сил на стернах, граничні кути циркуляції при маневруванні по курсу тощо (Ю.М.Савченко, В.М.Семененко). Ці результати дозволили започаткувати теорію маневрування таких апаратів, у якій уперше враховуються енергетична вартість маневру та час його виконання.

Комп'ютерне моделювання суперкавітаційних процесів

На основі розробленої у відділі математичної моделі створено та постійно вдосконалюється комплекс програм комп'ютерного моделювання нестаціонарних суперкавітаційних течій та динаміки суперкавітуючих тіл *SC_Ballistics*, *ACAV*, *SCV*, *DIVE* та ін. (В.М.Семененко, О.І.Наумова). Програми комплексу дозволяють відтворювати на екрані комп'ютера складні суперкавітаційні нестаціонарні процеси різної природи. Вони можуть використовуватися як зручний «віртуальний інструмент» у дослідницькій та проєктній роботі, а також у навчальному процесі.

SC_Ballistics (STAB): програма комп'ютерного моделювання динаміки високошвидкісних суперкавітуючих моделей

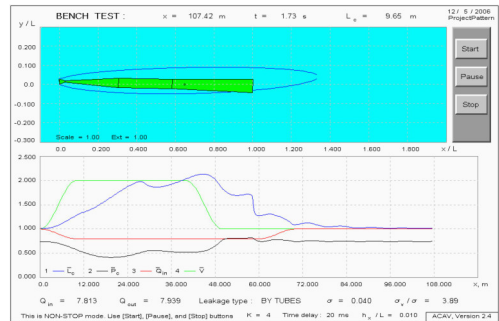
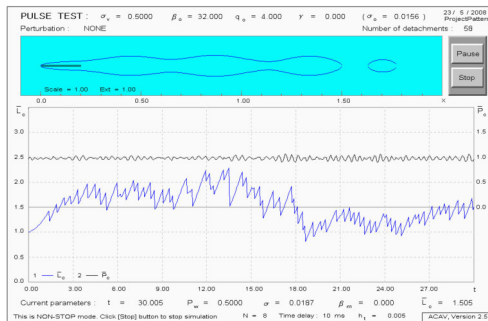
Призначена для комп'ютерного моделювання високошвидкісних суперкавітуючих моделей, що рухаються за інерцією під довільним кутом до горизонту. Програма дозволяє розраховувати максимальні навантаження та пружні напруження в моделях при вході у воду та русі у воді, розраховувати відхилення суперкавітуючих моделей від прямолінійної траєкторії, а також розв'язувати різні задачі оптимізації.



Функції програми SC_Ballistics: динаміка інерційної моделі, розподіл напруг у корпусі моделі

АСАВ: Програма комп'ютерного моделювання процесів штучної кавітації

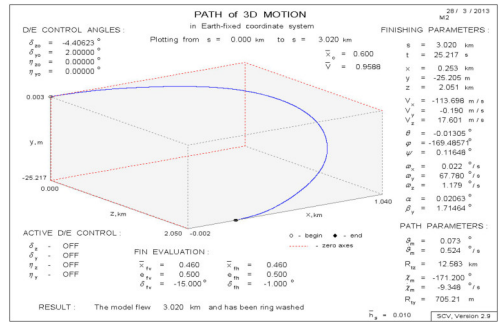
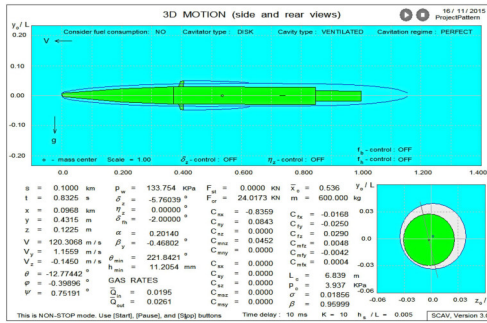
Призначена для комп'ютерного моделювання руху підводних апаратів у режимі штучної суперкавітації (вентиляції), а також процесів керування вентиляльованими кавернами шляхом регулювання піддуву газу. Дозволяє ставити будь-які закони піддуву газу в каверну та виносу газу з каверни, а також збурень тиску у воді, моделювати процеси при втраті стійкості вентиляльованих каверн і виконувати чисельний спектральний та кореляційний аналіз автоколивань, що виникають.



Функції програми АСАВ: автоколивання вентиляльованої каверни, поведінка каверни при заданій зміні піддуву

SCV (SCAV): Програма комп'ютерного моделювання динаміки суперкавітуючих апаратів

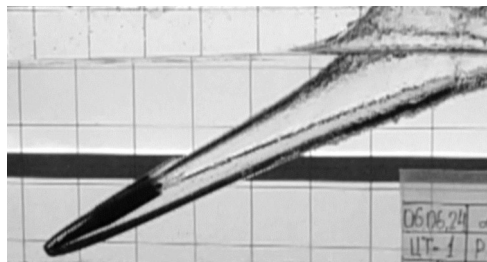
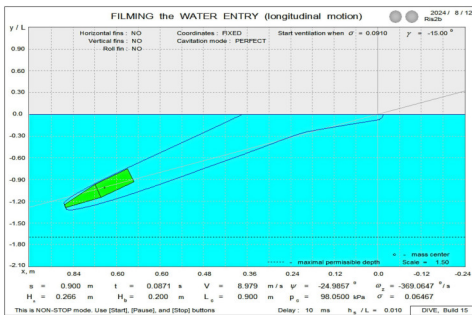
Призначена для комп'ютерного моделювання динаміки та керування саморушних підводних суперкавітуючих апаратів. Вона дозволяє оцінювати необхідні пропульсивні характеристики руху, проводити балансування суперкавітуючих апаратів, досліджувати стійкість їх прямолінійного руху, а також різні методи стабілізації та керування рухом (маневреність).



Функції програми SCV: керований просторовий рух і траєкторія суперкавітуючої моделі

DIVE: Програма комп'ютерного моделювання процесів проникання тіл у воду

Програма дозволяє спостерігати на екрані комп'ютера процеси еволюції каверни при вході у воду під довільними кутами та виході з води як у потоковій, так і у фіксованій системі координат (як при зйомці нерухомою відеокамерою).



Програма DIVE: порівняння розрахунку з експериментом

Незбурений рух тіл у рідині

Експериментальне дослідження можливості реалізації такого унікального виду руху водотоннажних тіл під водою вперше було проведено у відділі ТВМ у 1983–1985 рр. Ю.М.Савченком. Досліджувалися підводні апарати, створені за двома основними схемами «тіло з каналом» та «тіло в каналі». Побудовані за новою схемою апарати не мають хвильового опору, полів тиску та збурених швидкостей у навколишній рідині, крім сліду від рушія. На відміну від звичайних апаратів, під час руху поблизу вільної поверхні вони не утворюють гравітаційних поверхневих хвиль (Ю.М.Савченко, С.І.Путілін, Ю.Д.Власенко, В.Т.Савченко).



Буксирувальний режим руху моделі (ліворуч) і самохідний режим руху без поверхневих хвиль (праворуч)

Гідродинаміка струменевих, бульбашкових та краплинних течій

Дослідження течій з вільними межами пов'язане з вивченням низки фізичних процесів у струменевих, бульбашкових та краплинних течіях і побудовою нових моделей. Так, у двофазному потоці виявлено явище гідродинамічного захоплення газових бульбашок стінками каверни. Наступні дослідження цього феномена призвели до створення методу розрахунку захоплення газу суперкаверною (Ю.М.Савченко, В.М.Семененко, С.Б.Осипенко).

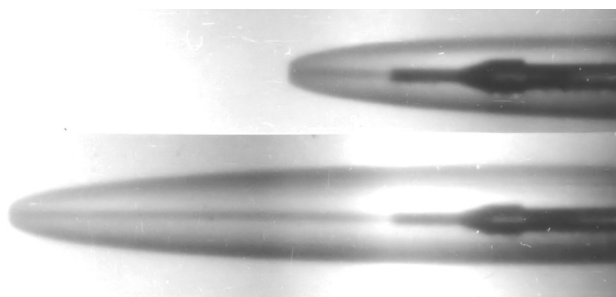
Досліджено процеси динамічного фокусування імпульсу вільних та затоплених струменів (Ю.М.Савченко).

Запропоновано та апробовано модель течії на пластині, що обтікається бризковим потоком. Чисельно та експериментально досліджено гідродинамічні характеристики впливу бризкового потоку на пластину (Ю.М.Савченко, Г.Ю.Савченко).

Розроблено теорію руху повітря крізь шар крапель і тепломасообміну між ними, яка враховує гальмування потоку краплями-перешкодами та приплив кінетичної енергії від вільної зовнішньої течії (Є.О.Гаєв).



Захоплення бульбашок суперкаверною



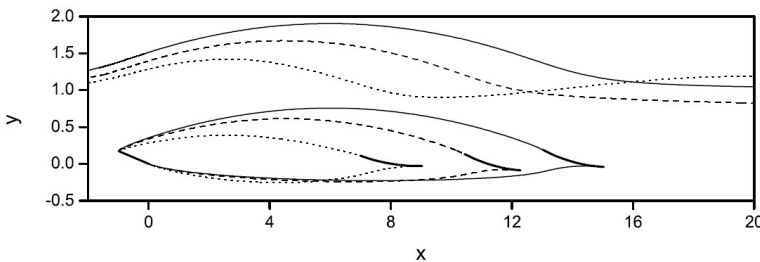
Струменевий кавітатор

Гідромеханіка суперкавітуючих підводних крил та елементів гідромашин

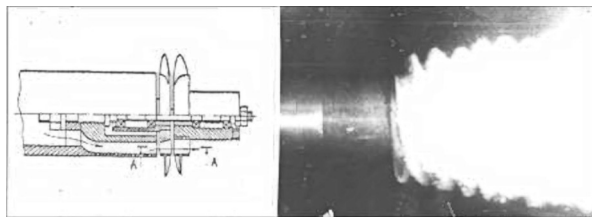
Розроблено двосередовищний профіль, який започаткував новий клас двосередовищних суперкавітуючих профілів, стійких до перевантажень при зміні середовища повітря–вода і мають властивість збереження сталої підйомної сили в повітрі та у воді (Ю.М.Савченко, С.І.Путілін, В.Т.Савченко, отримано авторське свідоцтво). У рамках лінійної теорії отримано розв'язок низки плоских задач про нестационарне обтікання профілів підводних крил з кавернами скінченної довжини, у тому числі, при русі поблизу схвильованої поверхні води та в складі решіток профілів (В.М.Семененко). Встановлено причину розривності гідродинамічних характеристик кавітуючих органів керування, яка викликається перебудовою течії зі збільшенням кута атаки крила від режиму кавітації задньої кромки крила до режиму суперкавітації зі зливом струменів з передньої кромки (Ю.М.Савченко, В.М.Семененко). Досліджено структуру хвильової системи, що утворюється за підводним крилом скінченного розмаху. Розроблено наближену методику розрахунку форми вільної поверхні за крилом малого подовження (С.І.Путілін). Отримано розв'язок нелінійної задачі суперкавітаційного обтікання гідропрофілю поблизу вільної поверхні важкої рідини. В рамках моделі в'язко-нев'язкої взаємодії досліджено несиметричну кавітаційну течію в шнеку шнековідцентрового насоса (Ю.А.Семенов).



Картини вихрового сліду за підводним крилом



Вплив числа Фруда на форму каверни та вільної поверхні: неперервні лінії – $Fr = \infty$; штрихові – $Fr = 5$; пунктир – $Fr = 2$



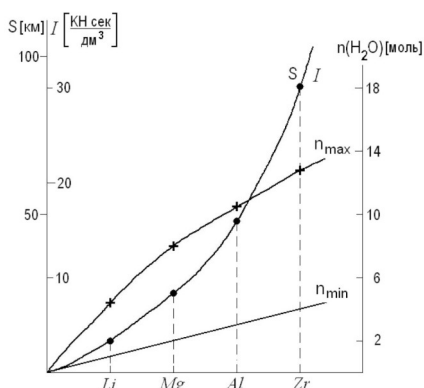
Турботорний тандем для суперкавітуючих апаратів

Гідромеханіка рушіїв

Важливі результати отримано при дослідженні рушіїв для суперкавітуючих об'єктів, де, окрім процесів створення тяги, необхідно розв'язувати проблему взаємодії рушія зі штучною або паровою каверною, враховувати бризкоутворення на вільних межах та виніс газу з каверни. У цьому напрямку досліджувалися рушії, які працюють на перегрітій парі, газі, воді та їх сумішах при одно- та багатосопловому компонованні. Також розроблено газотурбінні роторні рушії з суперкавітуючими лопатями, що працюють за однороторною та контрроторною схемами (Ю.Д.Власенко, Ю.М.Савченко, С.І.Путілін, М.М.Білокриницький).

Порівняльні параметри металів та результатів реакцій їх окислення

Метал	ρ , кг/м ³	$M_{\text{всм}}$	$T_{\text{пл}}$, °C	T_b , °C	Реакція	M_m	U_i , м/с	I , с
Li	0,543	6,94	179	1372	$Li + H_2O = LiOH + \frac{1}{2}H_2$	49,88	6700	683
Na	0,97	22,99	99,7	883	$Na + H_2O = NaOH + \frac{1}{2}H_2$	81,98	3030	309
Mg	1,74	24,32	657	1102	$Mg + 2H_2O = Mg(OH)_2 + H_2$	60,32	5640	575
Al	2,7	26,9	658	2500	$Al + 3H_2O = Al(OH)_3 + \frac{3}{2}H_2$	81,03	5900	601
Zr	6,4	91,22	1862	3580	$Zr + 4H_2O = Zr(OH)_4 + 2H_2$	163,3	4700	486

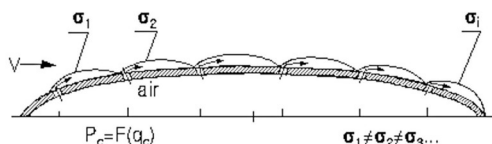


Залежність імпульсу і розрахункової дальності від застосованого металу палива

Проведено порівняльний аналіз застосування низки гідрореагуючих металів у якості палива для високошвидкісних суперкавітуючих апаратів (Ю.М.Савченко, Г.Ю.Савченко). Показано, що використання гідрореагуючого металу з великою атомною вагою забезпечує вищі значення об'ємного питомого імпульсу та дальності ходу для суперкавітуючих апаратів (див. графік).

Методи зниження гідродинамічного опору

Теоретично та експериментально досліджувався традиційний метод мінімізації гідродинамічного опору, пов'язаний з використанням спеціально підібраних форм тіл, які забезпечують безвідривний режим обтікання та максимальну область ламінарного прилежого шару (І.Г.Нестерук). Інший спосіб розв'язання цієї проблеми полягає в зменшенні площі контакту тіла з водою. Цю ідею реалізовано шляхом створення системи суперкаверн на стінці (Ю.М.Савченко, Г.Ю.Савченко, В.М.Семененко). Розроблено нові фізичні та математичні моделі пристінних суперкавітаційних течій з урахуванням прилежого шару та відриву потоку на гладкій поверхні (Ю.М.Савченко, Ю.А.Семінов).



Система суперкаверн на стінці

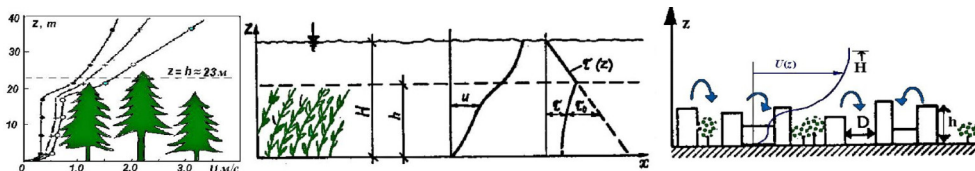
Гідромеханіка та теплофізика легкопроникної шорсткості

Стосовно до задач теплоенергетики (бризкальні системи охолодження циркуляційної води ТЕС та АЕС) та охорони навколишнього середовища розроблено концепцію та математичну модель легкопроникної шорсткості (ЛПШ) (Ю.М.Савченко, Є.О.Гаєв). Дослідження проводилось як у фундаментальному, так і в прикладному плані. Так, уперше було проведено натурні дослідження великомасштабного шару крапель бризкальної системи охолодження Ладижинської ГРЕС.

Гідродинамічні технології

На основі досліджень розпаду струменів води були розроблені струминні розбризкувачі щілинного типу, які нарізаються безпосередньо на підвідній трубі великого діаметра. Теплова ефективність таких сопел виявилася на 20% більше традиційних відцентрових, вони простіші та надійніші в роботі. Щілинні розбризкувачі були успішно впроваджені на охолоджувачах Запорізької АЕС та рекомендовані для Південноукраїнської АЕС (Ю.М.Савченко, Є.О.Гаєв).

Методи струминної суперкавітації та фокусування імпульсу підводних струменів дозволили в десятки разів підвищити ефективність гідромоніторних оголовків і значно вдо-



Перспективні застосування теорії ЛПШ (зліва направо): метеорежим рослинного покриву; течії в зарослих руслах; клімат і екологія міста

сконалити технологічно свердловинне гідровидобування корисних копалин (Ю.М.Савченко, Ю.Д.Власенко, С.І.Путілін).

У галузі гідрорізання розроблено нову технологію, коли в область примежового шару на торці диска, що обертається, подається абразив перед входом у розріз. При цьому диск не зношується (Ю.М.Савченко, Ю.Д.Власенко, М.А.Приходько).

У галузі космічних технологій запропоновано метод суперкавітаційного приводнення космічних об'єктів без використання парашутів. Її ідея полягає в тому, що об'єкт з розрахунковими малими навантаженнями входить у воду, рухається в ній у суперкаверні по висхідній траєкторії та повністю втрачає кінетичну енергію поблизу вільної поверхні води (Ю.М.Савченко, В.М.Семененко, С.І.Путілін).

Розроблено та освоєно технологію отримання імпульсів високої енергії (3000 кг/см^2 ; 1700 м/с) шляхом електролізу води та подальшого спалювання гримучого газу з домішками (Ю.М.Савченко, Ю.Д.Власенко, Ю.П.Дейнекін). Розроблено принципи та дано оцінки енергетичних параметрів перспективної хвильової поплавкової електростанції. Розроблено принципи оптимізації форми наземних, повітряних та водних апаратів з метою збільшення дальності (І.Г.Нестерук).

Закордонні контракти та досвід

1. Демонстрація та проектування стендів для вивчення швидкісного підводного руху (США, 1995).
2. Проектування та супровід імпульсних гідродинамічних труб (США, 2003; Китай, 2002).
3. Проектування каналу для руху суперкавітаційних моделей по дроту (Китай, 2010).
4. Розробка методики розрахунку суперкавітуючих спарених гвинтів протилежного обертання (Китай, 2011).
5. проектування підводних апаратів з антенами, що буксуються (Китай, 2012).



Панорамний знімок великомасштабної бризкальної системи охолодження Запорізької АЕС, створеної за участі відділу ТВМ (аеротермічний розрахунок, великовитратні сопла)

6. Модифікація малої гідродинамічної труби до імпульсного режиму (ІГМ НАН України, 2014).
7. Курс лекцій з тренінгом по темі «Суперкавітація» (Китай, 2014).
8. Методика розрахунку підводного суперкавітаційного руху (США, 1995–2000; Німеччина, 1999; Китай і Сингапур, 2002–2025).
9. Розробка концепції математичної моделі динаміки кавітаційної течії і її експериментальна верифікація (Корея, 2019).

Наукові ступені та нагороди

За останні чверть століття у відділі захищено 4 докторські та 1 кандидатську дисертації. Групу співробітників відділу нагороджено премією Академії технологічних наук України (1995 рік) за найкращу роботу в галузі розвитку нових технологій «Досягнення навколосвукової швидкості під водою та розробка систем її забезпечення» та Державною премією України в галузі науки і техніки (2002 рік) за цикл наукових праць «Дослідження гідродинаміки суперкавітаційних течій».

Пропозиції з науково-технічної допомоги та консультацій у розв'язанні технологічних, проєктних та освітніх задач

1. Проєктування експериментальних установок та стендів для дослідження суперкавітаційних течій.
2. Проведення випробувань у гідродинамічних трубах та на пусковому стенді.
3. Проєктування систем керування та стабілізації підводних суперкавітуючих об'єктів.
4. Проєктування лопатевих та гідрореактивних рушіїв для руху та позиціонування підводних об'єктів.
5. Технології свердловинного видобутку корисних копалин на основі струминної суперкавітації та фокусування імпульсу підводних струменів.
6. Методики розрахунку та програми комп'ютерного моделювання динаміки суперкавітуючих об'єктів.
7. Цикли лекцій з теоретичних проблем суперкавітації та основ проєктування підводних суперкавітуючих об'єктів.
8. Методики проєктування безпілотних апаратів великої дальності.

Бібліографія

- [1] Логвинович Г. В. *Гидродинамика течений со свободными границами*. Киев : Наукова думка, 1969. 208 с.
- [2] Буйвол В. Н. *Тонкие каверны в течениях с возмущениями*. Киев : Наукова думка, 1980. 296 с.
- [3] *Течения со свободными поверхностями* / Логвинович Г. В., Буйвол В. Н., Дудко А. С., Путилин С. И. и Шевчук Ю. Р. Киев : Наукова думка, 1985. 296 с.
- [4] Савченко Ю. Н. Гидродинамика отрывных течений. *Прикладная гидромеханика*. Киев, 1985. С. 169–191.
- [5] Савченко Ю. Н., Семененко В. Н., Осипенко С. Б. Механизм взаимодействия каверны с пузырьковым потоком. *Доповіди АН УРСР*. 1985. № 9. С. 39–42.
- [6] Савченко В. Т., Путилин С. И., Савченко Ю. Н. «Двухсредный профиль». АС 1710445. *Бюллетень изобретателя*. 1992. № 5.
- [7] Savchenko V. T. Reduction of overload on a body entering water at high speed. *High Speed Body Motion in Water. AGARD R-827*. 1998. P. 29.
- [8] Савченко Ю. Н., Семененко В. Н. Волнообразование на границах каверн, образующихся при входе в воду диска и конусов. *Проблемы гидродинамики больших скоростей*. Чебоксары : Издательство Чувашского университета. 1993. С. 231–239.
- [9] Дейнекин Ю. П. Кавитационное обтекание тел с протоком. *Гидромеханика*. 1994. Т. 68. С. 74–78.
- [10] Semenenko V. N. Instability of a plane ventilated supercavity in an infinite stream. *International Journal of Fluid Mechanics Research*. 1996. Vol. 23, no. 1 & 2. P. 134–143.
- [11] Semenenko V. N. Computer modeling of pulsations of ventilated supercavities. *International Journal of Fluid Mechanics Research*. 1996. Vol. 23, no. 3 & 4. P. 302–312.
- [12] Савченко Ю. Н. О движении в воде на суперкавитационных режимах обтекания. *Гидромеханика*. 1996. Т. 70. С. 105–116.
- [13] Savchenko Y. N., Vlasenko Y. D., Semenenko V. N. Experimental studies of high-speed cavitated flows. *International Journal of Fluid Mechanics Research*. 1999. Vol. 26, no. 3. P. 365–374.
- [14] Савченко Ю. Н. Перспективы методов снижения гидродинамического сопротивления. *Прикладна гідромеханіка*. 1999. Т. 1(73), № 4. С. 42–50.

- [15] Savchenko Y. N., Semenenko V. N., Putilin S. I. Unsteady supercavitated motion of bodies. *International Journal of Fluid Mechanics Research*. 2000. Vol. 27, no. 1. P. 109–137.
- [16] Путилин С. И. Некоторые особенности динамики суперкавитирующих моделей. *Прикладна гідромеханіка*. 2000. Т. 2(74), № 3. С. 65–75.
- [17] Nesteruk I. Experimental investigation of axisymmetric bodies with negative pressure gradients. *Aeronautical Journal*. 2000. Vol. 104. P. 439–443.
- [18] Власенко Ю. Д. Экспериментальные исследования суперкавитационных режимов обтекания самоходных моделей. *Прикладна гідромеханіка*. 2000. Т. 2(74), № 3. С. 26–39.
- [19] Гаев Е., Сэйвори Э., Той Н. Исследование неоднородной проницаемой шероховатости в аэродинамическом канале. *Прикладна гідромеханіка*. 2000. Т. 2(74), № 1. С. 10–19.
- [20] Savchenko Y. N., Semenenko V. N. Special features of supercavitating flow around polygonal contours. *International Journal of Fluid Mechanics Research*. 2001. Vol. 28, no. 5. P. 660–672.
- [21] Semenenko V. N. Calculation of two-dimensional unsteady supercavitating flows around wedges and hydrofoils. *Oceanic Engineering International*. 2002. Vol. 6., no. 2. P. 66–73.
- [22] Wind engineering aspects of large-scale atmospheric spraying systems for power plants / Gayev Y. A., Omelchenko M. P., Savchenko Y. N., Shimchev S. A., and Yarkho A. A. *International Journal of Fluid Mechanics Research*. 2002. Vol. 29, no. 3 & 4. P. 487–492.
- [23] Нестерук І. Г. Розрахунок стаціонарних осесиметричних суперкавітаційних течій стисливої рідини. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія фізико-математичні науки*. 2003. № 4. С. 109–118.
- [24] Семененко В. Н., Семененко Т. Н. Расчет нестационарных каверн в решетках. *Прикладна гідромеханіка*. 2004. Т. 6(78), № 1. С. 36–43.
- [25] Semenov Y. A., Fujii A., Tsujimoto Y. Rotating choke instability on a cavitating turbopump inducer. *Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME*. 2004. Vol. 126, no. 1. P. 87–93.
- [26] Нестерук І. Г., Савченко Ю. М., Семененко В. М. Оптимізація дальності для суперкавітаційного руху за інерцією. *Доповіді НАН України*. 2006. № 8. С. 57–66.
- [27] Semenov Y. A., Iafrati A. On the nonlinear water entry problem of asymmetric wedges. *Journal of Fluid Mechanics*. 2006. Vol. 547. P. 231–256.

- [28] Савченко Ю. Н. Исследования суперкавитационных течений. *Прикладна гідромеханіка*. 2007. Т. 9(81), № 2. С. 150–158.
- [29] Савченко Ю. Н., Савченко Г. Ю. Глиссирование цилиндра по поверхности суперкаверны. *Прикладна гідромеханіка*. 2007. Т. 9(81), № 1. С. 81–85.
- [30] Faltinsen O. M., Semenov Y. A. The effect of gravity and cavitation on a hydrofoil near the free surface. *Journal of Fluid Mechanics*. 2008. Vol. 597. P. 371–394.
- [31] Faltinsen O. M., Semenov Y. A. Nonlinear problem of flat-plate entry into an incompressible liquid. *Journal of Fluid Mechanics*. 2008. Vol. 611. P. 151–173.
- [32] Semenov Y. A., Yoon B. S. Onset of flow separation at oblique water impact of a wedge. *Physics of Fluids*. 2009. Vol. 21. P. 112103–112111.
- [33] Савченко Ю. Н., Зверховский А. Н. Методика проведения экспериментов по высокоскоростному движению инерционных моделей в воде в режиме суперкавитации. *Прикладна гідромеханіка*. 2009. Т. 11(83), № 4.
- [34] Савченко Ю. Н., Семенов Ю. А. Влияние поверхностного натяжения на параметры кавитационного течения. *Доповіді НАН України*. 2009. № 4. С. 58–65.
- [35] Нестерук І. Г. Зменшення опору видовжених осесиметричних високошвидкісних тіл. *Прикладна гідромеханіка*. 2009. Т. 11(83), № 2. С. 55–67.
- [36] Нестерук І. Г., Зверховський О. М. Експериментальні дослідження входу до води осесиметричних тіл з від'ємними градієнтами тиску. *Прикладна гідромеханіка*. 2010. Т. 12(84), № 3. С. 47–53.
- [37] Савченко Ю. Н., Семененко В. Н. О маневренности по курсу подводных суперкавитирующих аппаратов. *Прикладна гідромеханіка*. 2011. Т. 13(85), № 1. С. 43–50.
- [38] Гаев Е. А., Бердник О. М. Моделирование стабилизированного потока вязкой жидкости в некруглых каналах с легкопроницаемой шероховатостью. *Прикладна гідромеханіка*. 2011. Т. 13(85), № 1. С. 3–16.
- [39] *Supercavitation: Advances and Perspectives. A collection Dedicated to the 70th Jubilee of Yu. N. Savchenko* / ed. by Nesteruk I. Berlin : Springer, 2012. 230 p.
- [40] Semenenko V. N., Naumova Y. I. Study of the supercavitating body dynamics. *Supercavitation: Advances and Perspectives*. Berlin : Springer, 2012. P. 147–176.
- [41] Nesteruk I. Rigid bodies without boundary-layer separation. *International Journal of Fluid Mechanics Research*. 2014. Vol. 41, no. 3. P. 260–281.
- [42] Савченко Г. Ю. Оценка применения гидрореагирующего металлического топлива для суперкавитирующих аппаратов. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування*. 2016. № 1 (76). С. 107–113.

- [43] Савченко Г. Ю. Оценка энергетических параметров волновой поплавковой электростанции. *Прикладна гідромеханіка*. 2016. Т. 18(90), № 2. С. 36–42.
- [44] *Національна академія наук України (1918–2018). До 100-річчя від дня заснування /* під ред. Патона Б. Є. Київ : Академперіодика, 2018. 336 с.
- [45] Semenenko V. N., Naumova O. I. Dynamics of a partially cavitating underwater vehicle. *Гідродинаміка і акустика*. 2018. Т. 1(91), № 1. С. 70–84.
- [46] Semenenko V. N., Naumova O. I. Some ways of hydrodynamic fin application for underwater supercavitating vehicles. *Гідродинаміка і акустика*. 2018. Т. 1(91), № 3. С. 355–371.
- [47] Savchenko Y., Semenenko V., Savchenko G. Peculiarities of supercavitating vehicles' maneuvering. *International Journal of Fluid Mechanics Research*. 2019. Vol. 46, no. 4. P. 309–323.
- [48] Semenenko V., Naumova O. Prediction of the unsteady ventilated partial cavities. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2020. no. 3 (90). P. 7–18.
- [49] Nesteruk I. Fastest fish shapes and optimal supercavitating and hypersonic bodies of revolution. *Innovative Biosystems and Bioengineering*. 2020. Vol. 4, no. 4. P. 169–178.
- [50] Nesteruk I. *COVID-19 pandemic dynamics: mathematical simulations*. Singapore : Springer Singapore, 2021. 172 p.
- [51] Semenov Y. A., Savchenko Y. N., Savchenko G. Y. Impulsive impact of a submerged body. *Journal of Fluid Mechanics*. 2021. Vol. 919. P. R4.
- [52] Water entry of a disk at small angles to a free surface / Savchenko Y. N., Semenov Y. A., Vlasenko Y. D. and Savchenko G. Y. *Матеріали XI Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Підводна техніка і технологія»*. Миколаїв. 2021. С. 3–9.
- [53] Dynamics of supercavitating vehicles with cone cavitators / Semenenko V., Moroz V., Kochin V., and Naumova O. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2022. Vol. 6, no. 1. P. 85–96.
- [54] Nesteruk I. Shapes of the fastest fish and optimal underwater and floating hull. *Theoretical and Applied Mechanics Letters*. 2022. Vol. 12, no. 6. P. 100378.
- [55] Impulsive impact of a body fully submerged in an open container / Savchenko Y. N., Ni B.-Y., Savchenko G. Y., and Semenov Y. A. *Journal of Fluid Mechanics*. 2023. Vol. 955. P. A28.
- [56] Нестерук І. Г. Принципи оптимізації форми безпілотних апаратів великої дальності. *Наукові вісті КІП*. 2024. № 1–4. С. 49–61.

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ З ПРОБЛЕМ СЕЙСМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИБУХІВ

Науково-дослідну лабораторію з проблем сейсмічної безпеки технологічних вибухів (надалі НДЛПСБТВ) створена на виконання Указу Президента України Л.Д.Кучми від 4 лютого 2003 р. за №76/2003 «Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 11 листопада 2002 року «Про стан техногенної та природної безпеки в Україні» згідно з розпорядженням Президії НАН України за №118 від 27.02.2003, Постанови Бюро Відділення механіки (протокол №2 від 08.05.2003) та спільного Наказу Президента НАН України і голови Комітету «Держнаглядохоронпраці» України №204/467 від 11.11.2003. НДЛПСБТВ є структурним науково-дослідним підрозділом Інституту гідромеханіки НАН України на правах науково-дослідного структурного відділу.

Біля витоків створення НДЛПСБТВ ІГМ НАН України стояли тодішній директор інституту академік НАН України В.Т.Грінченко та д.т.н., проф. В.В.Бойко, призначений на конкурсній основі її завідувачем. Створення лабораторії дало змогу консолідувати багаторічні напрацювання у сфері прикладної геодинаміки вибуху в Україні. Це стало можливим завдяки діяльності провідних наукових співробітників Інституту гідромеханіки НАН України – д.т.н., проф., В.В.Бойка, О.О.Вовка, Н.С.Ремез, та к.т.н. А.О.Кузьменка, В.І.Плужника.

До співпраці також було залучено висококваліфікованих фахівців у цій галузі з метою покращення екологічного стану довкілля в регіонах, де проводяться технологічні вибухи, особливо, великої потужності. На додачу, створення НДЛПСБТВ сприяло координації та науковому обґрунтуванню досліджень, що проводяться підприємствами та експертними центрами, які займаються моніторингом сейсмічного впливу на об'єкти, що підлягають охороні. Активну участь у розвитку НДЛПСБТВ бере її завідувач – науковий ідеолог, досвідчений керівник і вчений з вагомим науковим доробком, доктор технічних наук, професор В.В.Бойко.

Віктор Вікторович Бойко народився 12 квітня 1949 року в селі Великозалісся Кам'янець-Подільського району Хмельницької області. У 1973 році з відзнакою закінчив Дніпропетровський гірничий інститут імені Артема, а в 1979 році – аспірантуру відділення геодинаміки вибуху Інституту геофізики НАН України. У 1980 році достроково захистив кандидатську дисертацію. У 1991 році був обраний директором СКТБ Інституту геофізики АН УРСР, де працював на цій посаді до 2000 року. У 1994 році захистив докторську дисертацію за спеціальністю фізичні процеси гірничого виробництва. З 2000 року понині працює в Інституті гідромеханіки НАН України: спочатку як провідний науковий співробітник на конкурсній основі, а з 2003 року – завідувач новоствореної науково-дослідної лабораторії проблем спеціальних вибухових технологій і безпеки територій. У 2013 році йому було присвоєно вчене звання професора та присуджено Державну премію України в галузі науки і техніки. В.В.Бойко – відомий фахівець у галузях гірництва, геофізики та вибухової справи. Його дослідження пов'язані зі створенням спеціальних вибухових технологій для вирішення проблем геοінженерії цивільного характеру, зокрема, безпечного ведення гірничих робіт при відкритому та підземному видобутку корисних копалин. Його розробки у воєнній сфері пов'язані з гуманітарним розмінуванням територій та відновленням їх безпеки.



Під його керівництвом було підготовлено близько 160 експертних висновків та понад 100 науково обґрунтованих рекомендацій щодо безпечного проведення технологічних вибухів і спеціальних вибухових робіт, зокрема, з ліквідації шахт ракетних пускових установок на території України в межах державної програми «СТАРТ-1». Автор трьох монографій, понад 300 наукових праць (у тому числі в іноземних виданнях), понад 30 винаходів і патентів, а також двох державних стандартів України. Під його керівництвом було виконано та захищено сім кандидатських дисертацій. В.В.Бойко включено до «Енциклопедії сучасної України».

Пріоритетні напрямки діяльності

Пріоритетні напрямки діяльності підрозділу НДЛПСБТВ з моменту його створення полягали в проведенні досліджень у галузі прикладної геодинаміки вибуху з метою розв'язання проблем техногенної безпеки під час технологічних вибухів. Зокрема, йшлося про промислове застосування вибухових технологій із урахуванням реальних фізичних процесів, які супроводжують поширення сейсмічних та ударно-повітряних хвиль



*Колектив співробітників НДЛПСБТВ на початку 2021 року (зліва направо):
сидять – О.О.Вовк, В.В.Бойко, Н.С.Ремез; стоять – Д.В.Хлевнюк, А.Чернюк,
Т.В.Хлевнюк, О.М.Чала, А.О.Кузьменко, В.А.Лемешко*

від систем свердловинних зарядів у навколишнє середовище. Важливою складовою діяльності підрозділу була координація науково-дослідних робіт з галузевими інститутами, науково-виробничими центрами стандартизації, метрології та сертифікації, експертними центрами та іншими організаціями, пов'язаними з вибуховими роботами при відкритій розробці родовищ рудних і нерудних корисних копалин.

Окрема увага в лабораторії приділялась розробленню нормативної документації, яка регламентує проведення промислових вибухів, зокрема, норм сейсмічної безпеки та допустимого рівня тиску у фронті ударної повітряної хвилі. Комітетом «Держнагляд-охоронпраці» України наш підрозділ було офіційно визначено установою-експертом. До його функцій входить проведення науково-дослідних робіт, на підставі яких розробляються стандарти, експертні висновки, рекомендації з безпечного проведення вибухових робіт, а також інші нормативно-правові акти з охорони праці та промислової безпеки. Надалі підрозділ здійснює авторський нагляд за дотриманням цих вимог на виробництві. Як організація-експерт НДЛПСБТВ здійснює незалежний нагляд за рівнем сейсмічної дії технологічних вибухів, розробляє науково обґрунтовані рекомендації та експертні висновки щодо їхнього впливу на довкілля та розташовані поблизу зон вибухових робіт об'єкти, які підлягають охороні.

Підрозділ бере активну участь у розробці нормативно-правових документів, зокрема НПА ОП 0.00-1.66-13 «Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення» на заміну «Єдиним правилам проведення вибухових робіт» [1]. Також лабораторія бере участь у створенні національних стандартів України щодо безпечних параметрів виконання вибухових робіт і методик оцінки технічного стану об'єктів на предмет допустимого сейсмічного навантаження [2, 3]. НДЛПСБТВ веде нагляд за дотриманням підприємствами вимог чинного законодавства, державних будівельних норм, стандартів та інших нормативно-правових актів у сфері промислової безпеки. НДЛПСБТВ довгий час плідно співпрацювала з низкою державних та при-



На промисловому кар'єрі (зліва направо): директор ДП «Кримвибухпром» В.І.Федєнов, проф. В.В.Бойко, директор ДП «Донецьквибухпром» М.В.Монастирьов, В.А.Лемешко, директор ДП «Карпатвибухпром» Г.І.Ліпський

ватних підприємств, що здійснюють вибухові роботи у кар'єрах України, серед яких ВАТ «Івано-Франківськцемент»; ТОВ «Верхівнянський гранітний кар'єр»; ВАТ «Вирівський кар'єр»; Коштівський гранітний кар'єр ТОВ «СПАН»; Кубачівський кар'єр вапняків філії «Кам'янець-Подільська ДЕД»; ВАТ «Миколаївцемент»; ДП «Кримвибухпром»; ДП «Донецьквибухпром»; ДП «Карпатвибухпром» та інші.

Теоретичні дослідження в прикладній геодинаміці вибуху

Упродовж останніх двох десятиліть одним із перспективних напрямів підвищення економічної ефективності технологій, пов'язаних зі зміною фізико-механічних властивостей ґрунтів і гірських порід, залишається використання енергії хімічних вибухових речовин (ВР). Проте широке впровадження таких технологій, особливо поблизу техногенних перешкод і споруд, стримується через недостатню точність існуючих методик оцінювання параметрів впливу вибуху. Більшість відомих розрахункових моделей базується на спрощених уявленнях про поведінку ґрунтів і взаємодію вибухових навантажень з елементами конструкцій. Зокрема, часто не враховуються змінність в'язкісних властивостей середовища; взаємозв'язок полів динамічних параметрів у продуктах детонації, ґрунтах і конструкціях; неоднорідність руху середовища у важливих прикладних випадках; наявність нелінійних ефектів (значних зсувів конструкцій, порушення цілісності ґрунтів, відриву основи від споруд тощо).

Комплексне вирішення зазначених проблем лежить в основі наукових досліджень д.т.н., проф., В.В.Бойка, д.т.н., проф., Н.С.Ремез, д.т.н., проф., О.О.Вовка, к.т.н. А.О.Кузьменко, к.т.н., В.І.Плужника, к.т.н., Т.В.Хлевнюк та інших фахівців [4–11]. Основна ідея полягає у вивченні механізмів формування хвильових процесів у продуктах детонації, однорідних і шаруватих ґрунтах за наявності інженерних перешкод під дією вибухових і ударних навантажень. Теоретичні дослідження реалізуються шляхом математичного моделювання динамічної взаємодії з застосуванням сучасних фізичних моделей середовищ.

З метою точнішого опису поведінки ґрунтів розвинуто модель пористого, багатокомпонентного, в'язкопластичного середовища зі змінним коефіцієнтом в'язкості, визначено межі застосування цієї моделі. Розроблено алгоритми й програмне забезпечення для чисельного розв'язання динамічних задач, які мають теоретичну та прикладну цінність. Серед основних напрямів досліджень [4–9]:

- аналіз хвильових процесів при вибухах одиночних і групових зарядів з урахуванням інтервалів сповільнення;
- моделювання камуфлетних вибухів зарядів різної геометрії в однорідних та шаруватих ґрунтах з урахуванням хвильових процесів у продуктах детонації;
- вивчення вибухів циліндричних зарядів скінченної довжини за умов миттєвої або фазової (реальної) детонації, що починається у центрі або на торці заряду;
- математичне моделювання хвильових процесів при дії вибухів групових зарядів з урахуванням конструктивних параметрів та граничних умов.

Одним із ключових завдань прикладної геодинаміки вибуху є прогнозування сейсмічного впливу групових зарядів на інженерні споруди з урахуванням параметрів зарядів і геометричних характеристик середовища. Особливе значення має математичне моделювання хвильових процесів, що виникають під час вибуху зарядів різної конструкції, з урахуванням таких факторів: глибини закладання зарядів, інтервалів уповільнення підриву, наявності або відсутності вільної поверхні (поверхні розділу середовищ). У процесі детонації утворюється складний просторово-часовий розподіл напружень і швидкостей частинок, який суттєво залежить від взаємодії між зарядами в групі, глибини їх закладання, порядку ініціювання, відбиття хвиль від вільної поверхні та геологічної будови середовища. Зокрема, ефекти резонансного підсилення, інтерференції хвиль та локального фокусування енергії можуть істотно змінювати параметри сейсмічного впливу. Для моделювання цих процесів застосовуються складні чисельні моделі, які базуються на нелінійній теорії деформацій; реологічних моделях пористого в'язкопластичного середовища; методах кінцевих різниць, скінченних елементів та варіаційних підходах для врахування складної геометрії зарядів і неоднорідностей середовища. Особливу увагу приділено врахуванню затримок підриву (інтервалів уповільнення), які при належному підборі дозволяють знизити амплітуду сейсмічних коливань на межі об'єктів, що охороняються, шляхом часткового компенсування хвильових фронтів.

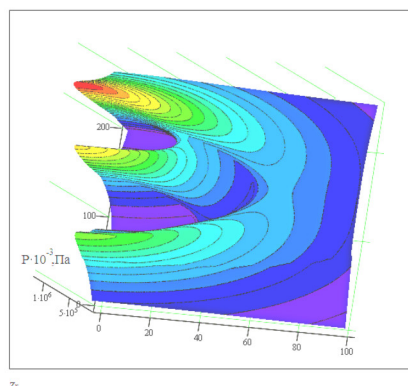
Наявність вільної поверхні призводить до відбиття та рефракції хвиль, що, в свою чергу, змінює картину навантаження на об'єкти поблизу поверхні. Отримані в результаті моделювання розподіли амплітуд, енергії, напружень та швидкостей частинок використовуються для оцінки рівня сейсмічного навантаження на будівлі й споруди, а також формування науково обґрунтованих рекомендацій щодо їх сейсмостійкості. Це дозволяє зменшити ризики пошкодження об'єктів інфраструктури та забезпечити відповідність вимогам техногенної безпеки.

З 2008 року при проведенні масових промислових вибухів у кар'єрах України, для монтажу схем короткосповільненого вибуху активно почали застосовувати системи неелектричного ініціювання зарядів (СНІЗ). Однак при цьому спосіб прогнозування сейсмічної дії залишився без змін і не враховував нові особливості СНІЗ. У ході практичного впровадження було виявлено істотні розбіжності в сейсмічному ефекті при використанні СНІЗ у порівнянні з традиційними системами ініціювання (детонуючий шнур із піротехнічними реле або електричним імпульсом). Основною причиною стало те, що при використанні СНІЗ сповільнення можуть мати значну тривалість, що призводить до суттєвого розтягування в

часі процесу детонації зарядів. Це, в свою чергу, впливає на механізм суперпозиції сейсмічних хвиль, які виникають від різночасових підривів у межах одного короткосповільненого вибуху. Оскільки існуючі методи прогнозування сейсмічного впливу не враховують ефектів такої суперпозиції, актуальним стало завдання розробки нових підходів до прогнозу сейсмобезпеки при короткосповільнених вибухах із урахуванням реального характеру генерації хвиль. У зв'язку з цим фахівцями НДЛПСБ було проведено теоретичні дослідження взаємодії хвильових процесів під час підриву групи циліндричних зарядів вибухових речовин у масиві гірських порід, як при миттєвому, так і короткосповільненому ініціюванні. В результаті було створено математичну модель, яка вперше описала взаємодію сейсмовибухових хвиль із ґрунтовим середовищем; розроблено алгоритм і програмне забезпечення для кількісного аналізу досліджуваних процесів.

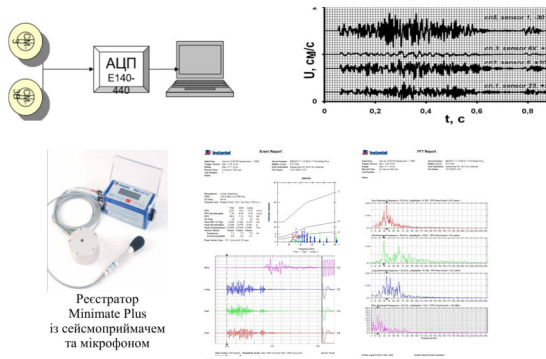
Проведені дослідження дозволили встановити закономірності розподілу полів хвильових процесів, що виникають при вибухах одиночних та групових циліндричних зарядів під час миттєвого й короткосповільненого підривання у гірському масиві. Було з'ясовано, що в разі утворення суцільної зони руйнування спостерігається зменшення масової швидкості пружної хвилі; у випадку відсутності взаємодії між зонами руйнування виникає так звана «тіньова зона», що характеризується неповним руйнуванням породи між зарядами й підвищенням інтенсивності сейсмічних коливань на (15 ... 20)%.

Ці результати лягли в основу кандидатської дисертації аспіранта ІГМ НАН України



Ізобари напружень при вибуху трьох зарядів ВР з інтервалом уповільнення 20 мс на момент часу 3 с

В.В.Бойка (мол.), виконаної під науковим керівництвом докт. техн. наук, проф. Н.С.Ремез і захищеної у 2010 році. Дані математичного моделювання потребували підтвердження шляхом апаратурних сейсмовимірювань, формування науково обґрунтовані рекомендації щодо безпечного і ефективного використання вибухових технологій поблизу чутливих об'єктів і охоронюваних споруд. Тому під керівництвом В.В.Бойка було створено спеціалізовану групу співробітників НДЛПСБТВ (А.О.Кузьменко, В.А.Лемешко, Д.В.Хлевнюк). Одним з поставлених перед нею завдань стала розробка методики сейсмічних вимірювань для вибору необхідних структурних схем апаратурної реєстрації коливань, обробка їхніх результатів і підвищення достовірності отриманих даних в умовах проведення масових вибухів. Для запису параметрів сейсмовибухових і ударно-повітряних хвиль, які поширюються по землі і в повітрі під час проведення масових вибухів у кар'єрі, було вибрано та протипровано комплекси сейсмоапаратури в такому складі: сейсмоприймачі СМ-3 і СМ-3В, реєстратор – аналого-цифровий перетворювач (АЦП Е-440), підключений до ноутбука, та три комплекти сейсмографів Mini Mate Plus виробництва Канади.



Комплекс апаратури для реєстрації сейсмічної обстановки при проведенні вибухових робіт і протоколи вимірювань, сформовані в програмі THOR

неповним руйнуванням породи між зарядами й підвищенням інтенсивності сейсмічних коливань на (15 ... 20)% та збільшення негабаритних фракцій в руйнуючому блоці.

Апаратурні моніторингові вимірювання дозволяли встановлювати закономірності розподілу полів хвильових процесів в різних горно-геологічних умовах, які виникали при вибухах одиночних та групових циліндричних зарядів під час миттєвого й короткочасного підірвання у гірському масиві. Було з'ясовано, що в разі утворення суцільної зони руйнування спостерігається зменшення масової швидкості пружної хвилі; при відсутності взаємодії між зонами руйнування виникає так звана «тіньова зона», що характеризується

Зв'язок з державними програмами та подальші дослідження

Протягом 2001–2009 рр. у рамках бюджетної теми «Розробка сейсмобезпечних методів ведення вибухових робіт в умовах сучасних інтенсивних засобів видобутку корисних копалин» (№ ДР 0105U001717) особливо гостро постала проблема сейсмобезпеки експлуатації будівель на густозаселених територіях, розташованих поблизу місць підіривних робіт. Недостатня вивченість негативних динамічних впливів сейсмічних імпульсів

на будівлі різного технічного стану ускладнювала науково обґрунтований прогноз їх сейсмостійкості до та після підливних робіт.

У зв'язку з цим дослідники НДЛПСБТВ сконцентрувалися на вивченні параметрів сейсмовибухових хвиль, що визначають сейсмостійкість об'єктів. Це дозволило встановити гранично допустимі рівні впливу не лише за критерієм масової швидкості, але й з урахуванням амплітудно-часових характеристик коливань; визначити вплив хвиль на об'єкти різного технічного стану, включаючи охоронні; створити методи оцінки сейсмостійкості з урахуванням частотних характеристик вибуху та власних коливань будівель; розробити алгоритми розрахунку параметрів вибухів, які використовуються на кар'єрах. Доведено, що за дотримання закону геометричної подібності Ньютона, розроблена формула забезпечує високу точність прогнозування параметрів сейсмовибухових хвиль. Це дало підстави використати її як основу для нормативних документів.

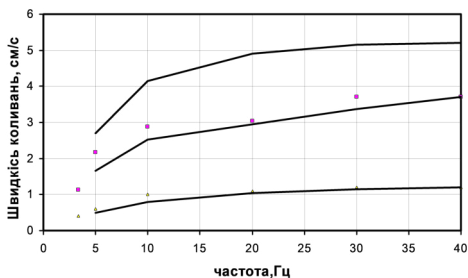
Нормативно-методичне впровадження

У результаті проведених досліджень було впроваджено два національні стандарти України – ДСТУ 4704:2008 «Проведення промислових вибухів. Норми сейсмічної безпеки» та ДСТУ 7116:2009 «Вибухи промислові. Методи визначення фактичної сейсмостійкості будівель і споруд» [1–3]. Ці досягнення лягли в основу кандидатської дисертації аспірантки Інституту гідромеханіки НАН України Т.В.Хлевнюк, захищеної у 2009 році під керівництвом д.т.н., проф. В.В.Бойка.

Ведення видобувних робіт на гірничорудних підприємствах завжди супроводжувалося проблемою забезпечення сейсмостійкості як діючих, так і погашених уступів, складених із м'яких та скельних порід. Недостатня вивченість негативних впливів тривалих сейсмічних імпульсів, які виникають під час багатоблокових масових вибухів (ББМВ), не дозволяє повною мірою оцінити напружено-деформований стан укосів і застосовувати безпечні параметри вибухів, які б гарантували їхню стійкість. Цю проблему було частково вирішено співробітниками НДЛПСБТВ шляхом удосконалення методів оцінки інтенсивності різних типів сейсмічних хвиль, збуджених ББМВ, та впливу цих хвиль на стійкість укосів. Також було розв'язано задачу визначення критеріїв для розрахунку сейсмобезпечних параметрів вибухів. Зазначимо, що досі питання стійкості бортів кар'єру зазвичай розглядалися на основі статичного коефіцієнта стійкості без урахування динамічного впливу сейсмічних хвиль.

Співробітниками НДЛПСБТВ к.т.н. А.О.Кузьменком, Т.В.Хлевнюк, аспіранткою ІГМ НАН України О.М.Чалою під науковим керівництвом д.т.н., проф. В.В.Бойка були проведені дослідження на тему «Проведення теоретичних і експериментальних досліджень щодо визначення відстаней, на які необхідно перенести існуючий магістральний газопровід для забезпечення його сейсмобезпечної експлуатації під час технологічних вибухів, що планується проводити в умовах Єристівського кар'єру ВАТ «Полтавський ГЗК» у разі введення його в експлуатацію» (2008–2009 рр., № ДР 0103U000008). Ці результати лягли в основу кандидатської дисертації аспірантки О.М.Чалої (наук. керівник – проф. В.В.Бойко), захищеної у 2010 році.

Понад 90% території України мають складні ґрунтові умови, де непередбачувані зміни станів ґрунтів під впливом техногенних і природно-геологічних факторів можуть призвести до деформаційних процесів, що завершуються аваріями та катастрофами. Зсуви за обсягом завданих збитків посідають перше місце в Україні та друге в світі після землетрусів.



Залежності допустимої швидкості коливань на ґрунтовій основі житлової будівлі від частоти коливань

регіональних особливостей зсувонебезпечних територій, з перевіркою достовірності фізико-механічних характеристик ґрунтів, які формують схил зі зсувними властивостями. Це має велике практичне значення для оцінювання ефективності протизсувних споруд.

Основні наукові та прикладні результати цих досліджень полягають в тому, що з використанням методів нелінійного програмування було чисельно розв'язано обернену задачу механіки ґрунтів щодо ідентифікації їхніх фізико-механічних характеристик; удосконалено комп'ютерну програму *LandSlip* для розрахунку напружено-деформованого стану схилів з оцінкою ризику зсуву; оцінку результатів інженерно-геологічних досліджень фізико-механічних характеристик ґрунту поглиблено за допомогою методів теорії ризику; експериментально досліджено динамічні параметри напружено-деформованого стану ґрунтів у м. Кривий Ріг та на Центральній Лівадійській зсувній системі; проведено чисельно-експериментальні дослідження та аналіз зсувонебезпечних ділянок в м. Чернівці та в Криму з урахуванням ризиків; розроблено прикладну методику розрахунку стійкості схилів з використанням теорії ризику, включаючи програмну реалізацію.

Математичне моделювання виконано методом «притулених» відсіків за Шахунянцем та Масловим–Берером. Експериментальні дослідження динаміки ґрунтів у режимі реального часу в Кривому Розі підтвердили ефективність методики. Впровадження результатів дозволило зекономити близько 200 тис грн завдяки зменшенню обсягів залізобетонних конструкцій (захищена кандидатська дисертація Т.Ю.Калюха, 2011 рік, науковий керівник проф. В.В.Бойко).

На замовлення Комітету Держнаглядохоронпраці України фахівці НДЛПСБТВ провели розробку нормативної документації та рекомендацій щодо сейсмобезпечного проведення вибухових робіт в особливих умовах. На основі аналітичних і промислових

Аналіз літературних джерел з математичного і комп'ютерного моделювання, чисельних методів та теорії ризику, призначених для інженерних оцінок стійкості схилів, виявив брак прикладної методики, яка б поєднувала теорію ризику та математичне моделювання для оцінювання стійкості ґрунтових масивів під впливом статичних і динамічних навантажень. Тому наступним важливим напрямом роботи НДЛПСБТВ стало прогнозування напруженого стану зсувних масивів і ризику їх зрушення з урахуванням

досліджень було запропоновано вирішення актуального науково-практичного завдання підвищення ефективності та сейсмобезпеки буропідричних робіт на підприємствах ВАТ «Щирецький кар'єр», «Івано-Франківськцемент», «Скала-Інтер» для гіпсових кар'єрів. Зокрема, розроблено технологію відпрацювання обводнених забалансових запасів гіпсу; запропоновано методику мінімізації та ліквідації карстових провалів; уперше запропоновано конструкцію свердловинних зарядів, розділених природною карстовою порожниною. Уперше встановлено закономірності зміни сейсмобезпечної маси заряду в залежності від наявності карстових порожнин і відстані до будівель. Наприклад, за рівних відстаней порядку (1200 ... 1400) м допустима маса заряду для будівель над порожнинами буде менша, ніж для об'єктів без них.

Реалізація результатів досліджень у вибухових роботах на зазначених підприємствах з дотриманням розроблених критеріїв оцінювання стійкості та норм для будівель, підтвердила їхню ефективність – протягом усього періоду робіт не було зафіксовано жодного випадку руйнування чи провалу будівель у селешах Піски, Дубівці, Пилипче. Також покращився психологічний стан місцевого населення. На основі цих результатів захищено кандидатську дисертацію Н.І.Жукової в 2016 році, наук. керівник проф. В.В.Бойко.

Основою для вироблення практичних рекомендацій стали експериментальні дослідження з використанням апаратурних комплексів, параметрів сейсмічних хвиль, які виникають від вибуху одиночного заряду, для визначення максимального сейсмічного поля при короткостовільненому підриванні з урахуванням розкиду часу ініціювання поверхневих та внутрішньосвердловинних детонаторів. Висока якість отриманих результатів зумовлена застосуванням сучасних методологічних підходів до вивчення, оцінки та прогнозування сейсмічного ефекту від масових вибухів способом короткостовільненого підривання та аналого-цифрових методів вимірювальної реєстрації з використанням триосового сейсмоприймача Instantel Standard Triaxial Geophone (версії ISEE або DIN) та мікрофона для визначення надлишкового тиску. Для визначення сейсмобезпечної кількості одночасно підірваних свердловинних зарядів було розроблено спеціальний алгоритм.

Ці результати стали основою кандидатської дисертації аспіранта Д.В.Хлевнюка, захищеної у 2020 році (науковий керівник д.т.н., проф. В.В.Бойко).

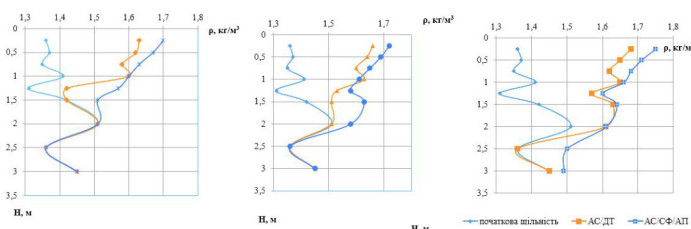
З-поміж прикладних завдань НДЛПСБТВ, пов'язаних із сейсмобезпекою технологічних вибухів на кар'єрах, подальший розвиток та практичну реалізацію отримали дослідження зі створення нових вибухових і невибухових речовин для ущільнення просадних структурно нестійких ґрунтів та відколу гірських порід.

Вимоги до оптимізації початкових параметрів вибухового імпульсу могли бути задоволені лише за рахунок створення відповідних вибухових матеріалів і засобів підривання, які дозволяють задавати (та при необхідності змінювати) детонаційні характеристики й керувати механізмом формування силових полів на стадії детонації. У процесі розвитку вибухової справи сформувалися критерії вдосконалення рецептур вибухових речовин (ВР), засобів та методів їх підривання як з позицій формування оптимального силового поля, так і з урахуванням посилення екологічних вимог. Тому у НДЛПСБТВ проводилися роботи з удосконалення існуючих рецептур ВР, передусім, у напрямку під-

вищення водостійкості та стабільності детонаційних характеристик. Також були створені нові ВР з регульованими початковими параметрами – піноподібні малощільні суміші, які пройшли широке випробування в полігонних умовах.

У цьому напрямку співробітниками НДЛПСБТВ проведено науково-дослідну роботу, в якій розв'язано актуальну задачу наукового обґрунтування та практичної реалізації технологічних способів ущільнення просадних, структурно нестійких ґрунтів [14–17]. Ідея роботи полягає в тому, що на основі запропонованих і вдосконалених рецептур малощільних спінених вибухових композицій, оброблених ультразвуковим випромінюванням для формування необхідних вибухових параметрів, уперше було розроблено комплексний спосіб і створено пристрій для формування накладних, подовжених та вертикальних зарядів по всій ущільнюючій площі під забудову. Це дозволяє проводити вибухові роботи для забезпечення стійкості структурно нестійких ґрунтів.

Новим напрямком науково-дослідних робіт лабораторії стали мікроскопічні дослідження впливу ультразвукового випромінювання на зовнішню та внутрішню структуру гранул аміачної селітри з використанням мікроскопа ЛОМО Мета Р-1, оснащеного CCD-відеокамерою DigitalKOCOM, підключеною до комп'ютера. Співробітниками НДЛПСБТВ вивчено вплив удосконалених малощільних спінених вибухових композицій на просадні властивості структурно нестійких ґрунтів. Розроблено пристрій і спосіб приготування водонаповненої спіненої вибухової композиції для формування подовжених та вертикальних зарядів, запропоновано технологічні схеми ущільнення просадних структурно нестійких ґрунтів [16]. Виявлено, що заряди на основі спінених вибухових речовин (включно з обробленими ультразвуком) забезпечують нижчий піковий тиск при більшій тривалості вибухового імпульсу. Це створює достатнє навантаження на ґрунт з відносно слабкими структурними зв'язками, що ефективно знищує боєприпаси.



*Характер ущільнення ґрунтового масиву
поверхневими накладними зарядами потужністю
50 мм, 75 мм і 100 мм (зліва направо)*

Загальний економічний ефект від впровадження запропонованого способу ущільнення просадних структурно нестійких ґрунтів на ділянці розміром 10 × 10 м із глибиною просадної товщі 25 м у порівнянні з відомим способом цементації становить 12163,4 грн або 32,3%.

У 2021 році захищено кандидатську дисертацію аспіранткою О.В.Ган (науковий керівник д.т.н., проф. В.В.Бойко).

За результатами виконання науково-дослідних робіт НДЛПСБТВ видано монографію [16]. Отримано патенти України на винаходи [16, 42], пов'язані з розробкою рецептур спінених вибухових речовин (СВР) для створення технологій і їх виготовлення з метою ущільнення просадних ґрунтів.

У НДЛПСБТВ співробітниками (В.В.Бойко, О.О.Вовк, В.І.Плужник), які мають

досвід застосування енергії вибуху для відколу порід, у співпраці з українсько-канадським підприємством ВАТ «ЛАГРАН» (генеральний директор Р.Б.Зробок) започатковано дослідження щодо ведення гірничих робіт з видобутку блочного каменю без вибухових технологій. Розроблено новий невибуховий спосіб з використанням хімічного генератора тиску на основі екзотермічних сумішей, при ініціюванні яких відбувається швидкісне горіння (дефлаграція) з виділенням великої кількості газів, достатніх для відколювання гірських порід від масиву. Газогенеруюча суміш, здатна працювати в такому режимі, складається з хлорату натрію (окислювача) та дизельного пального. Генератор тиску хімічний (ГТХ) являє собою герметично закритий полімерний циліндричний корпус, всередині якого розташовані компоненти суміші та модифікатор горіння (електричний пускач), які готуються безпосередньо на місці проведення робіт [13, 29].

При спрацьовуванні ГТХ, встановлених у шпурах, створюється напруження, спрямоване вздовж лінії розташування шпурів, що забезпечує відколювання гірських порід. Розроблено чотири типи ГТХ за вагою газогенеруючої суміші – 50, 100, 150 та 200 г. Місцевого виробництва ГТХ високої безпеки успішно застосовуються на підприємствах з видобутку габро, лабрадориту та граніту на родовищах «Буки», «Омелянівське», «Горбилівське», «Войнівське», «Капустянське», які повністю перейшли на нову технологію.

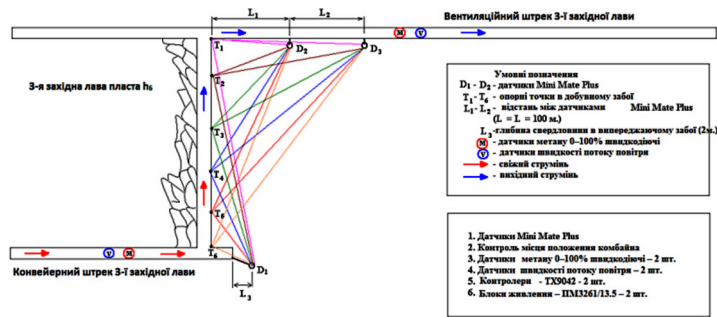
Окремим напрямком робіт НДЛПСБТВ (2009–2013 рр.) стало створення методу сейсмічного виявлення небезпеки раптових викидів вугілля, газу та породи в шахтах. Запропонована система дозволяє в режимі реального часу моніторити та контролювати динамічні процеси (штучні та геодинамічні), які є провісниками викидів. Розроблена методика визначає необхідну кількість, типи та місця встановлення сейсмоприймачів для поточного прогнозу раптових викидів.

Прогноз ступеня небезпеки раптових викидів здійснюється за двома напрямками. Перший з них – аналіз просторово-часових параметрів сейсмічного процесу у низькочастотному діапазоні пружних коливань з урахуванням закону повторюваності сейсмічних подій, викликаних струсовими підриваннями, гравітаційними та тектонічними силами, для оцінки сейсмічної активності за допомогою низькочастотних сейсмодатчиків. Другий напрямок – аналіз високочастотних резонансних коливань, що виникають внаслідок геодинамічних процесів і механічних впливів робочих механізмів, для чого використовуються мікрофони чи сейсмодатчики з верхньою межею частотного діапазону, яка перевищує подвійну власну частоту коливань досліджуваних гірських масивів.

Система сейсмічного контролю базується на безперервному дистанційному моніторингу, статистичній та аналітичній обробці даних сейсмічних подій, зареєстрованих мережею датчиків у шахтах. Особливістю сейсмоакустичного моніторингу є поширення сейсмічних коливань та акустичних сигналів по вугільних шарах і породах. Це відрізняється від традиційної польової сейсморозвідки та дає змогу виявляти стани, наближені до викидонебезпечних.

Система прогнозування та попередження раптових викидів в умовах шахти імені О.Ф.Засядька, м. Донецьк

Метод аномальних збуджень базується на реєстрації акустичних хвиль від струсу-



*Система прогнозування та попередження раптових викидів
в умовах шахти імені О.Ф.Засядька, м. Донецьк*

вальних вибухів і роботи механізмів, а також на спостереженні за їх припиненням з подальшим аналізом експоненційної регресії за формулою, яка враховує параметр чисельної активності акустичної емісії, параметр згасання активності, час після динамічних впливів, фоновий рівень інтенсивності емісії. Стан масиву оцінюється як викидонебезпечний [30].

Приклади практичної діяльності НДЛПСБТВ, впровадження у практику та розвиток прогнозних методик

Поряд з успішним виконанням бюджетних науково-дослідних тем, співробітники НДЛПСБТВ виконують значний обсяг робіт на замовлення підприємств. Зокрема, це стосується випадків виникнення нестандартних ситуацій при проведенні техногенних вибухів, таких як непрогнозовані пошкодження будівель, зсувні явища, скарги населення або призупинення вибухових робіт органами «Держгірпромнагляду» через сейсмонезбезпечку. Внаслідок оперативних виїздів фахівців НДЛПСБТВ здійснюється комплексна оцінка ситуації на місці, на підставі якої з використанням наукових розробок і результатів сейсмічних вимірювань готуються рекомендації для усунення проблем [12].

Зроблені теоретичні висновки були експериментально підтверджені апаратурними сейсмовимірюваннями, проведеними співробітниками НДЛПСБТВ та виробленням науково обґрунтованих рекомендацій та експертних висновків – у реальних умовах під час вибухів на таких об'єктах: кар'єр Дубівецький ВАТ «Івано-Франківськцемент»; ТОВ «Верхівнянський гранітний кар'єр»; ВАТ «Вирівський кар'єр»; Кошівський гранітний кар'єр ТОВ «СІПАН»; Кубачівський кар'єр вапняків філії «Кам'янець-Подільська ДЕД»; ВАТ «Миколаївцемент». Очікуваний річний економічний ефект від впровадження наданих рекомендацій – за рахунок зменшення кількості вибухів і скорочення простою гірничо-видобувного обладнання – на п'яти кар'єрах становить 0,52 млн грн.

Основні наукові результати, які застосовуються на практиці:

- Вперше встановлено вплив співвідношення параметрів амплітудно-частотних ха-

рактистик системи «ґрунт–будівля», що стало підставою для визначення допустимої інтенсивності дії сейсмовибухових хвиль на будівлі та перегляду діючих норм сейсмостійкості щодо критичних значень масових швидкостей.

- Вперше для ослаблених тріщинами будівель визначено коефіцієнт ослаблення міцності залежно від ступеня тріщинуватості капітальних стін, що дало змогу перейти до кількісної оцінки допустимих масових швидкостей для таких будівель.
- Розроблено алгоритми й програмне забезпечення для чисельного розв’язку пружного стану елементів конструкцій через ґрунтову основу під дією сейсмічних навантажень.
- Встановлено закономірності поширення сейсмічних хвиль залежно від часу ініціювання та маси зарядів, які миттєво вибухають у групах, і визначено оптимальні маси зарядів та інтервали їх послідовного детонування для формування максимальної амплітуди у поздовжній, а не у поперечної хвилі.
- Запропоновано методи інженерних розрахунків допустимої маси зарядів на будівлі та споруди з урахуванням відношення періодів коливань ґрунтової основи та ослаблених тріщинами конструкцій, що лягло в основу ДСТУ 4704:2008 «Проведення промислових вибухів. Норми сейсмічної безпеки», введеного в дію з 01.01.2008.

Рудник ВАТ «Полтавський ГЗК»

Проведено дослідження сейсмічного впливу багатоблокових масових вибухів (зальною масою понад 800 тонн) на будівлі в м. Комсомольськ, розташовані в 500 м від рудника. Встановлено вплив вибухів на сейсмостійкість житлових багатоповерхівок та розвиток тріщин у них. Розроблено та впроваджено методику оцінки та рекомендації щодо сейсмобезпечних параметрів вибухових робіт для підприємства. Виконано аналіз сейсмоефектів багатоблокових вибухів у Горішньо-Плавнинському кар’єрі та вибухів серії одиночних і групових зарядів у межах західного борту Єристівського кар’єру, де проходить траса магістрального газопроводу. Проведено аналітичні розрахунки сейсмобезпечних параметрів підривних робіт для захисту газопроводу. Вироблено рекомендації щодо сейсмобезпечних відстаней для перенесення магістрального газопроводу, які гарантують його безпечну експлуатацію під час вибухових робіт у кар’єрі. Ці рекомендації впроваджені з моменту введення газопроводу в експлуатацію у 2013 році та застосовуються протягом усього періоду експлуатації [12].

Дністровська ГЕС

Проведено дослідження впливу сейсмічної дії масових вибухів, здійснюваних в акваторії відстою суден, на сейсмостійкість кам’яно-земляної греблі Дністровської ГЕС, розташованої на відстані 900 м від вибухових робіт.

У рамках науково-дослідних робіт (НДР) на спеціально створеному вимірювальному комплексі проведено реєстрацію параметрів сейсмічних хвиль, які виникають під час запуску, зупинки та роботи гідроагрегатів Дністровської ГЕС-1. Ці сейсмонавантаження є постійно діючими факторами впливу на греблю. Окрім того, було здійснено вимірювання сейсмічних ефектів від вибухових робіт під час відпрацювання котловану I-II черги, пов'язаних із заходами покращення гідравлічних характеристик річки Дністер.



*Дністровська ГЕС-1, кам'яно-земляна гребля
та кар'єр в акваторії відстою суден*

За результатами досліджень розроблено і передано рекомендації щодо забезпечення стійкості кам'яно-земляної греблі Дністровської ГЕС-1 під час виконання вибухових робіт на котловані I-II черги. Вперше за допомогою апаратних вимірювань визначено сейсмонавантаження, що постійно діють на греблю при запуску, роботі та зупинці гідроагрегатів Дністровської ГЕС-1. На основі цих даних встановлено критерій оцінки сейсмобезпечності вибухових

робіт. Допустимою швидкістю сейсмічних коливань (в балах за шкалою MSK-64), яка забезпечує збереження кам'яно-земляної греблі, визнано швидкість коливань, зареєстрованих на тілі греблі під час запуску, роботи або зупинки агрегатів (III бал за шкалою MSK-64).

З урахуванням зниження інтенсивності коливань на один бал від максимальних значень, отриманих при роботі гідроагрегатів, за допустиму інтенсивність сейсмічних коливань прийнято рівень у II бали за шкалою MSK-64.

Кар'єри ДП «Кримвибухпром»

ВАТ «Шархінський кар'єр»

Проведено експериментальні дослідження сейсмічної дії вибухових робіт на магистральний газопровід високого тиску Ялта–Алушта, розташований за межами кар'єру «Шархінський кар'єр» у зоні активного Карасанського зсуву №76. Існувала постійна загроза початку зсувних рухів після проведення технологічних вибухів. Це могло призвести до порушення цілісності газопроводу і, як наслідок, до аварії, яка мала б катастрофічні наслідки для населення Криму. За результатами вимірювань були запропоновані сейсмобезпечні технологічні схеми ведення вибухових робіт у кар'єрі. Встановлено, що проведення вибухів можливе лише під постійним сейсмоконтролем. Визначено закономірності поширення сейсмічних хвиль у зсувних масивах та передачі коливань на газопровід високого тиску. У 2005 році, на основі цих досліджень, розроблені сейсмобезпечні техно-

логічні мережі короткосповільненого вибуху за системою НОНЕЛЬ, які дозволили без зупинки виробництва виконати річний план видобутку корисних копалин, включно з ділянкою, що прилягає до газопроводу, до моменту повного переносу газопроводу за межі зони Карасанського зсуву.

ВАТ «Кар'єр Мармуровий»

У рамках теми «Оцінка сейсмічного впливу на Аянське джерело «Каптаж» і печеру «Мармурова» від масових вибухів, проведених у межах земельного відводу ВАТ «Кар'єр Мармуровий» проведено контрольні сейсмічні вимірювання. Вимірювання здійснено для визначення сейсмічного навантаження на ґрунтовий масив у районі Аянського джерела «Каптаж» і печери «Мармурова» відповідно до шкали балів MSK-64.



Каптаж Аянського джерела (АР Крим)

Отримано закономірності поширення сейсмічних вибухових хвиль у складних гірничо-геологічних умовах гірського рельєфу, а також трансформації хвиль на поверхні земної кори й під нею. За результатами науково-дослідних робіт розроблено рекомендації щодо сейсмобезпечного ведення вибухових робіт, які забезпечили припустиму інтенсивність коливань у зоні Аянського джерела «Каптаж» (1500 м) і печери «Мармурова» (2400 м). Інтенсивність сейсмічних коливань була суттєво нижчою за порогові значення пружних деформацій найбільш слабких порід, що складають масив у цих районах.

Застосування рекомендацій з сейсмобезпечного проведення масових вибухів у проєктах вибухових робіт на кар'єрах ДП «Кримвибухпром» забезпечило оптимальні масштаби вибухів та безпечну експлуатацію будинків на прилеглих територіях с. Шарха, м. Старий Крим та с. Мраморний. Розрахунковий економічний ефект від їх використання в плановому режимі сейсмобезпечних вибухів склав близько 1 млн грн.

Кар'єр вапняку ВАТ «Івано-Франківськцемент»

Проведено дослідження параметрів вибухових робіт на кар'єрі вапняку ВАТ «Івано-Франківськцемент» (с. Дубівці, Тисменицький район) з метою гарантування безпеки будівель і споруд від сейсмовибухових хвиль. Підставою для досліджень стали скарги мешканців села на небезпечний вплив вибухів на їхні будинки. Було видано експертний висновок щодо допустимих швидкостей коливань, зареєстрованих на території житлового масиву с. Дубівці, та проведено порівняння з нормативними значеннями ДСТУ 4704:2008. Розроблено рекомендації для сейсмобезпечної експлуатації житлових будівель та технології вибухових робіт, які знижують негативний сейсмічний вплив на населений пункт.

Дослідження лабораторії поза нормованими сферами

Серед проведених досліджень – прогнозна оцінка будівництва скляної лінії на території колишньої фірми «Свема» у Шостці, а також вибухове руйнування цегельної димової труби поблизу залізничного полотна. Застосування результатів цих робіт дозволило аналітично розрахувати й видати експертний висновок на проєкт вибухових робіт по руйнуванню димової труби ВАТ «Корчуватський КБМ» у м. Києві, що забезпечило дозвіл Гірдезнагляду України на проведення робіт з подальшим сейсмоконтролем.

Науково-дослідні напрямки досліджень техногенних впливів воєнного характеру (з 2022 року)

Після початку повномасштабної агресії РФ в Україні наукові напрацювання НДЛ-ПСБТВ в галузі вибухових технологій цивільного характеру були переорієнтовані на воєнні потреби у рамках цільових програм НАН України і МОН України у відповідності до Розпорядження Президії НАН України від 24.02.2022 р. №143 «Про роботу установ, організацій і підприємств НАН України в умовах воєнного стану в Україні» та Наказу Президії НАН України від 25.02.2022 р. Зокрема, напрямок наукової діяльності лабораторії був переорієнтований на виконання бюджетної тематики «Дослідження по створенню вибухових технологій зі збереженням, поліпшенням та відновленням безпеки навколишнього середовища».

Використання результатів досліджень цивільного характеру для розробки вибухових технологій воєнного характеру включало:

- проведення комп'ютерно-математичного й фізичного моделювання вибухових явищ при підриванні зарядів різних конструкцій в повітрі, воді та гірському масиві, дії продуктів детонації, уламків оболонки заряду, вибухової ударної хвилі на елементи наземних і підземних будівельних споруд;
- апаратний супровід при проведенні експериментальних досліджень воєнного характеру з використанням широкої лінійки аналого-цифрової апаратури (проводиться спільно з науково-дослідним відділом гідродинаміки хвильових та руслових потоків);
- моніторинг параметрів руху сейсмічних і ударно-повітряних хвиль, що генеруються в землі й повітрі під час ракетних та авіаційних ударів по місту Києву для встановлення потужності зарядів в тротиловому еквіваленті, визначення зон ступеня руйнації будівель та споруд в залежності від відстані до епіцентра вибуху, розрахунок матеріальних збитків та підтвердження злочинів, спричинених російськими окупантами в Україні;
- розробка низькошвидкісних безтротилових рецептур піновихування (ПВ), пристрою для формування та конструкцій зарядів місцевого приготування з метою

забезпечення необхідних вибухових параметрів для розмінування територій, знешкодження вибухонебезпечних предметів тощо;

- створення макетів роботовозів (коптерів) для наземної, повітряної й підводної доставки розроблених зарядів ПВ з метою дистанційного знешкодження виявлених боєприпасів та вибухо-небезпечних предметів, пов'язаних з гуманітарним розмінуванням територій і відновлення їх безпеки.

Для виконання досліджень вище наведених напрямків вибухових технологій воєнного характеру в організаційну структуру НДЛПСБТВ були внесені зміни згідно з якими були залучені як штатні спеціалісти підрозділу, так і прийняті на конкурсній основі. Провідні співробітники лабораторії є досвідченими професіоналами в своїх сферах наукових спеціалізацій та створили потужну команду в новому, запотребованому сьогодні напрямку досліджень техногенних впливів воєнного характеру.

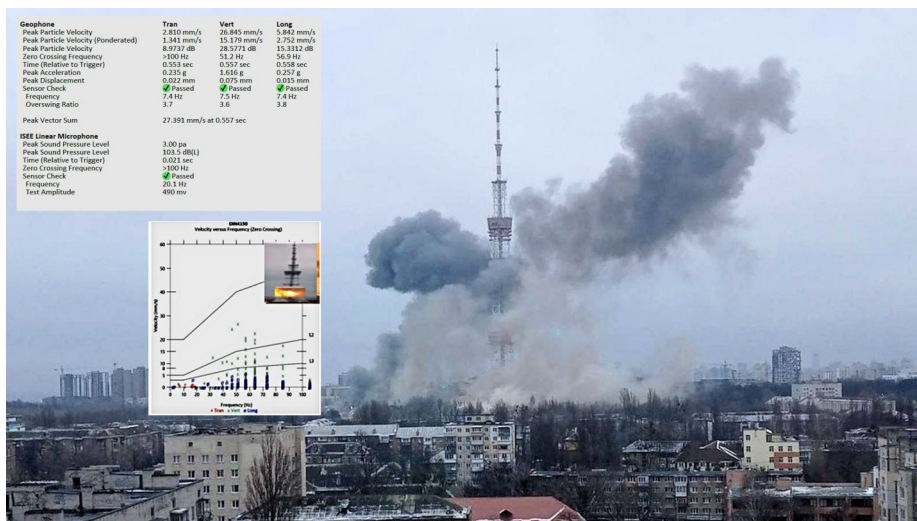
На даний час НДЛПСБТВ виконує комплексні дослідження в тісній співпраці як з підрозділами НАН України (Науково-дослідний відділ гідродинаміки хвильових та руслових потоків Інституту гідромеханіки НАН України, Науково-інженерний центр «Матеріалообробка вибухом» Інституту електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України тощо), так і з іншими профільними у цьому питанні науковими установами (НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Державний науково-дослідний інститут Міністерства внутрішніх справ України, НВПП «Спеціальне конструкторсько-технологічне бюро «Геофізик» тощо).

Моніторинг сейсмічних і ударно-повітряних хвиль під час ракетних та авіаційних ударів

Моніторинг параметрів руху сейсмічних і ударно-повітряних хвиль від різних типів джерел (снаряд, ракета, РСЗВ тощо) проводився під час бомбардування м. Києва із одержанням протоколів Event Report фірми Instantel.

Виконання поставлених завдань співробітниками НДЛПСБТВ проводилось завдяки використанню, розроблених раніше методик та сертифікованих ДП «Укрметртестстандарт» України апаратурних комплексів реєстрації Mate Plus, які застосовувались нашим підрозділом для моніторингової оцінки довкілля при проведенні сейсмовимірювальних робіт від масових вибухів і показали задовільну збіжність результатів досліджень з результатами промислової перевірки.

Під керівництвом проф. В.В.Бойка в онлайн режимі було створено робочу наукову групу виконавців (кандидати техн. наук: Т.В.Хлевнюк, О.М.Чала, Д.В.Хлевнюк), які залишалися в м. Києві та проводили цілодобовий моніторинг з реєстрацією сейсмічних (по землі) і ударно-повітряних (на оскління) хвиль (в режимі сейсмографа Mini Mate Plus «МОНІТОРІНГ»), які генерувались під час ракетних та авіаційних ударів. Після розв'язання обернених задач, зокрема, на базі реєстрації сейсмічних та ударно-повітряних хвиль від місця враження снаряду до точки моніторингу за потужністю (масою) заряду в тротиловому еквіваленті з використанням залежностей М.А.Садовського



Знімок ракетного ураження київської телевежі 01.03.2022 та результати моніторингу сейсмічних наслідків вибуху на відстані 4500 м від епіцентру

проводились розрахунки ізосейсмальності (зони) враження навколишніх забудов. За розробленими методиками визначали їх перевищення щодо допустимих норм відповідно до чинних ДСТУ 4704:2008 та ДСТУ 7116:2009 і матеріальні збитки, нанесені оточуючим забудовам у точці реєстрації.

З одержаних протоколів вимірювань, за якими проводили оцінку в реальному часі сейсмічної активності поверхності землі та надлишкового тиску в повітрі, збуджених динамічними явищами в доквіллі – вибухами ракет, рухом військової техніки тощо. Це дозволяло за моніторингом відповідних сейсмічних хвиль одержувати їхні еталонні імпульси по складових Y, Z, X та частотні спектри, визначати відстані до місця ураження боєприпасу, наближення або віддалення руху військової техніки.

Наприклад, під час ракетного ураження київської телевежі 01.03.2022 у протоколі запису дії сейсмічних та ударно-повітряних хвиль на фундамент та оскління житлового будинку, розташованого на відстані 4500 м від неї, зафіксоване значне перевищення допустимих норм по вертикальній складовій на частотах (35 ... 65) Гц. Аналогічні дані містяться в протоколах, одержаних 08.07.2024 під час ракетного ураження лікарні «Охматдит», розташованій на відстані 5280 м від точки вимірювань.

Матеріали цих досліджень мають перспективу використання судовими експертами, працівниками органів досудового слідства та суду, практичними працівниками правоохоронних органів, які залучаються для виконання окремих заходів з протидії терористичним діям рф та займаються розслідуванням злочинів, спричинених російськими окупантами в Україні, їх підтвердження та для використання розробленої методики розрахунку щодо матеріальних збитків, нанесених Україні.

Технологія безпечного дистанційного розмінування

- Запропоновано використання безпілотних самохідних та літальних апаратів (коптерів) вертикального зльоту для доставки накладних зарядів, начинених піновивбухівкою.
- Заряди виготовляються вручну або за допомогою спеціального пристрою, після чого монтуються на безпілотник.
- Підвіс для доставки боеприпасів, змонтований на безпілотному літальному апараті вертикального зльоту та посадки, має блок керування та пульт управління, додатково облаштований контейнером з автоматичним керованим відкриванням та закриванням днища, який дозволяє точно встановлювати з малої безпечної висоти у горизонтальному або вертикальному положенні заряд вибухової речовини на боеприпас, який необхідно знищити.
- Оператор за допомогою пульта через блок керування доставляє коптер до попередньо виявлених боеприпасів. Через відкрите днище контейнера з небезпечної висоти у горизонтальному або вертикальному положенні встановлюється заряд на боеприпас, який необхідно знищити. Розміщення на заряд здійснюється попарно для рівномірного навантаження на безпілотник залежно від кількості мін.
- Після повернення коптера до місця дислокації виконується дистанційне підривання заряду ВР та знищення боеприпасу.

Розроблені співробітниками НДЛПСБТВ нові пінозаряди місцевого приготування, пристрої для їх виготовлення і доставки на місце робіт, які є складовою технології гуманітарного розмінування з використанням піновивбухівки.

Державні відзнаки

За цикл робіт «Закономірності хвиле-вихрових процесів у суцільному середовищі» В.В.Бойко разом із колегами (В.С.Мадерич, В.В.Мелешко, В.І.Нікішов, І.Т.Селезов, О.М.Тимоха, В.В.Хомицький, Л.В.Черкесов) у 2013 році були удостоєні Державної премії України в галузі науки і техніки. В.В.Бойко у 2018 році нагороджений пам'ятною відзнакою на честь 100-річчя Національної академії наук України.

Публікації та винахідницька діяльність

За 25 років діяльності в НДЛПСБТВ під керівництвом В.В.Бойка, О.О.Вовка, Н.С.Ремез підготовлено понад 15 кандидатів наук та 3 доктори наук, які працюють у НДЛПСБТВ, провідних вузах України і за кордоном. Під керівництвом цих науковців аспіранти та здобувачі наукових ступенів отримали вчені звання с.н.с., доцента і професора.



Лауреати Державної премії України в галузі науки і техніки 2013 року В.В.Бойко, В.С.Мадерич і В.І.Нікішов та голова комітету Державної премії України в галузі науки і техніки, президент НАН України академік Б.Є.Патон

Щорічно співробітники НДЛПСБТВ публікують свої досягнення у наукових статтях, зокрема, цитованих у базах Scopus та Web of Science, отримують патенти на винаходи, готують експертні висновки та науково обґрунтовані рекомендації з питань сейсмонезбезпеки,. За період 2001–2025 років опубліковано понад 5 монографій та затверджено 2 державних стандарти України.

Післямова

Науково-дослідна лабораторія з проблем сейсмічної безпеки технологічних вибухів є ключовим вітчизняним центром з досліджень у галузі прикладної геоакустичної динаміки вибуху, розробки та впровадження вибухових технологій цивільного і воєнного характеру. У ній були створені унікальні технології, які:

- підвищують безпеку вибухових робіт цивільного характеру;
- захищають цивільне населення та інфраструктуру;
- сприяють ефективному гуманітарному розмінуванню;
- посилюють обороноздатність країни в сучасних умовах.

На жаль, з міркувань державної таємниці, не всі наші досягнення увійшли до ювілейної монографії, присвячену сторіччю Інституту гідромеханіки НАН України.

Ми пишаємось нашою НДЛПСБТВ, яка є флагманом не тільки в галузі оцінки впливу на довкілля та прикладної геоакустичної динаміки вибуху, а й у напрямку розроблення передових військових вибухових технологій.

Бібліографія

- [1] НПАОП О.ОО-1.66-13. *Правила безпеки при поводженні з вибуховими матеріалами промислового призначення*. Київ, 2013. 359 с.
- [2] ДСТУ 4704:2008. *Проведення промислових вибухів. Норми сейсмічної безпеки* / під ред. В. В. Бойка та ін. Київ, 2009. 11 с.
- [3] ДСТУ 7116:2009. *Вибухи промислові. Методи визначення фактичної сейсмостійкості будівель і споруд* / під ред. В. В. Бойка та ін. Київ, 2010. 6 с.
- [4] Ремез Н. С., Лучко І. А., Лучко А. І. Ефективність застосування безтритилових ВР при ущільненні ґрунтових основ. *Будівельні конструкції*. Київ, 2006. С. 51–57.
- [5] Динамическое поведение слоистой цилиндрической оболочки в грунтовом массиве при взрывном нагружении / Бойко В. В., Ремез Н. С., Хлевнюк Т. В. і Шевченко Ю. В. *Акустичний вісник*. 2003. Т. 6, № 2. С. 10–16.
- [6] Ремез Н. С., Хлевнюк Т. В. Взаємодія сейсмічних хвиль з трубопроводом при вибуху сферичного заряду. *Будівельні конструкції*. Київ, 2004. С. 401–406.
- [7] Ремез Н. С., Бойко (мл.) В. В., Яценко Ю. С. Моделирование процессов взаимодействия волн при взрывах группы цилиндрических зарядов в грунтовом массиве для сеймопрогноза. *Вісник НТУУ КІП. Серія Гірництво*. 2009. № 18. С. 10–16.
- [8] Лучко А. И., Ремез Н. С. Результаты исследования разрушающего действия взрыва цилиндрических зарядов новых смесевых взрывчатых веществ в различных твердых горных породах. *Вісник НТУУ КІП. Серія Гірництво*. 2009. № 18. С. 3–10.
- [9] Ремез Н. С., Бойко (мл.) В. В., Яценко Ю. С. Оцінка сейсмічної безпеки за даними моделювання хвильових процесів при вибуханні. *Проблеми охорони праці*. 2009. № 17. С. 41–48.
- [10] Бойко В. В., Кузьменко А. А., Хлевнюк Т. В. Критерии сейсмической опасности промышленных взрывов. *Вісник НТУУ КІП. Серія Гірництво*. 2004. № 12. С. 45–52.
- [11] Вовк О. А. Временные характеристики сейсмических волн при взрывах одиночных и групповых зарядов различной конструкции. *Прикладна гідромеханіка*. 2004. Т. 6(78), № 3. С. 9–21.

- [12] Бойко В. В. *Проблеми сейсмічної безпеки вибухової справи у кар'єрах України*. Київ : ТОВ «Видавництво Сталь», 2012. 234 с.
- [13] Кравець В. Г., Коробійчук В. В., Бойко В. В. *Фізичні процеси прикладної геодинаміки вибуху*. Житомир : ЖДТУ, 2015. 408 с.
- [14] Бойко В. В., Ган А. Л., Ган О. В. Вплив ультразвукового випромінювання на спінені вибухові композиції. *Збірник наукових праць НГУ*. 2019. № 59. С. 56–65.
- [15] Спосіб приготування спінених вибухових композицій для ущільнення просадних ґрунтів / Бойко В. В., Ган О. В., Кравець В. Г. і Ган А. Л. *Технічна інженерія*. 2019. № 2(84). С. 126–132.
- [16] Бойко В. В., Ган А. Л., Ган О. В. Ущільнення просадних ґрунтів вдосконаленими зарядами малої щільності. *Збірник наукових праць НГУ*. 2018. № 55. С. 152–162.
- [17] Стовпник С. М., Ган А. Л., Шайдецька Л. В. Взаємодія динамічного і статичного рівнів водопонижуючих свердловин в умовах Єристівського ГЗК. *Розробка родовищ корисних копалин*. Дніпро, 2018. С. 93–101.
- [18] Formation of parameters of foamed explosive mixtures for sealing soils / Han O., Boiko V., Kravets V., and Han A. *Science Rise*. 2020. no. 5(70). P. 6–12.
- [19] Застосування енергії вибуху під час виконання спеціальних гірничо–будівельних робіт / Бойко В. В., Ган А. Л., Ган О. В., Кравець В. Г. і Марченко О. С. *Сучасна спеціальна техніка*. 2020. № 2(61). С. 135–150.
- [20] Case-study. Monitoring deformation of new pipes in soils containing Neogene clay / Boiko V., Boiko V., Han A., Khlevniuk T., and Chala O. *Proceedings of XIV International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”*. European Association of Geoscientists & Engineers. 2020. P. 1–5.
- [21] Change of dynamic characteristics of foamed explosive substances under the influence of ultrasonic radiation / Boiko V., Han A., Kravets V., Han O., and Zakusylo R. *Materiały Wysokoenergetyczne*. 2021. Vol. 13. P. 89–95.
- [22] Problems and means of demining territories / Voytenko Y., Boiko V., Voskoboinick V., and Han A. *Proceedings of XII International Scientific and Practical Conference “European Scientific Congress”*. Madrid. 2023. P. 128–135.
- [23] Фізичні та матеріалознавчі основи підвищення ефективності бронепробиття кумулятивними зарядами / Войтенко Ю. І., Сидоренко Ю. М., Бойко В. В., Ган А. Л., Пасічник А. М. і Бугаєць В. П. *Гідродинаміка і акустика*. 2024. Т. 3(93), № 1. С. 16–31.

- [24] Оцінка сейсмостійкості об'єктів критичної інфраструктури з урахуванням їх власної гармоніки у вибуховому спектрі цивільного і воєнного характерів / Бойко В. В., Войтенко Ю. І., Ган А. Л., Хлевнюк Т. В., Загоруйко Є. А. і Ган О. В. *Технічна інженерія*. 2024. № 1(9). С. 308–315.
- [25] Бойко В. В., Ган А. Л., Ган О. В. *Спеціальні вибухові технології в геоінженерії*. Київ : НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 316 с.
- [26] Selection of energy-optimal formulations for low-velocity explosive mixtures based on conversion explosives / Han A., Boiko V., Han O., Khlevnyuk T., and Zakusylo R. *Materiały Wysokoenergetyczne*. 2023. Vol. 15. P. 81–85.
- [27] Efficiency of using explosive foam compositions for compacting structurally unstable soil / Boiko V., Kravets V., Han O., Han A. and Zakusylo R. *Central European Journal of Energetic Materials*. 2023. Vol. 20, no. 4. P. 442–454.
- [28] Розробка зарядів на основі піновибухівки та аналіз можливостей їх застосування для знешкодження боєприпасів / Бойко В. В., Войтенко Ю. І., Ган А. Л., Гімбе С. М., Чепков І. Б. і Кучинський А. В. *Збірник наукових праць ЦНДІ ОБТ ЗСУ*. 2024. № 4(95). С. 133–146.
- [29] *Заряд для відколу гірських порід* : патент №UA61545A / Вовк О. О., Бойко В. В. та ін., 2003.
- [30] *Спосіб оцінки напруженого стану гірничих масивів* : патент №UA79168 / Бойко В. В., Брюм В. З., Кузьменко А. О., Бойко В. В. (мол.) і Хлевнюк Т. В., 2013.
- [31] *Спосіб керування амплітудно-частотним спектром короткоспів'язаного підривання зарядів вибухової речовини* : патент №UA80183 / Ремез Н. С., Ремез Д. С. і Бойко В. В., 2013.
- [32] *Спосіб вибухового руйнування складноструктурних масивів гірських порід* : патент №UA93235 / Бойко В. В., Богущкий С. Ю., Хлевнюк Д. В. і Жукова Н. І., 2014.
- [33] *Спосіб сейсмобезпечного короткоспів'язаного підривання в тріщинуватих гірських породах* : патент №UA93234 / Бойко В. В., Богущкий С. Ю., Хлевнюк Д. В. і Жукова Н. І., 2014.
- [34] *Спосіб визначення координат зародження об'ємних сейсмічних хвиль навколо вогнища гірського удару* : патент №UA99697 / Вовк (мол.) О. О., Вовк О. О. і Бойко В. В., 2015.
- [35] *Пристрій для приготування водонаповненої спіненої вибухової композиції* : патент №122425 / Орлов Ю. Ю., Золотухін К. С., Приходько Ю. П., Гончар В. К., Плужник В. І. і Ган О. В., 2018.

- [36] *Спосіб формування свердловинного заряду вибухової речовини при проведенні масових вибухів* : патент №135668 / Бойко В. В., Кравець В. Г., Шукюров А., Хлевнюк Т. В. і Ган А. Л., 2019.
- [37] *Спосіб сейсмобезпечного короткосповільненого підривання* : патент №131003 / Кузьменко А. О., Бойко В. В., Хлевнюк Т. В., Хлевнюк Д. В. і Лемешко В. А., 2019.
- [38] *Спосіб формування свердловинного заряду вибухової речовини із військових боєприпасів для проведення масових вибухів* : патент №131279 / Бойко В. В., Хлевнюк Т. В., Хлевнюк Д. В., Лемешко В. А. і Кузьменко А. О., 2019.
- [39] *Спосіб визначення інтенсивності сейсмічних хвиль при масових вибухах* : патент №135669 / Хлевнюк Т. В., Хлевнюк Д. В., Лемешко В. А., Кузьменко А. О. і Чала О. М., 2020.
- [40] *Спосіб сейсмобезпечного короткосповільненого підривання в кварцитових гірських породах* : патент №142889 / Бойко В. В., Хлевнюк Т. В., Кравець В. Г. і Шукюров А. М., 2020.
- [41] *Спосіб знешкодження мін та боєприпасів кумулятивним зарядом* : патент №153275 / Бойко В. В., Войтенко Ю. І., Хлевнюк Т. В., Хлевнюк Д. В. і Ган А. Л., 2023.
- [42] *Пристрій для приготування промислової водонаповненої спіненої вибухової речовини* : патент №153836 / Бойко В. В., Хлевнюк Т. В., Хлевнюк Д. В., Пасічник А. М. і Ган А. Л., 2023.
- [43] *Спосіб оцінки напружено-деформованого стану схилів зсувонебезпечних територій* : патент №156136 / Бойко В. В., Ган А. Л., Загоруйко Є. А., Хлевнюк Т. В. і Пасічник А. М., 2024.
- [44] *Спосіб одержання піновибухівки* : патент №156652 / Бойко В. В., Ган А. Л., Хлевнюк Т. В., Ган О. В. і Оруджов В., 2024.

ДОСЛІДНИЙ БАСЕЙН

Дослідний басейн Інституту гідромеханіки НАН України був побудований в 1959 році за ініціативи тодішнього директора Інституту академіка АН УРСР Г.І.Сухомела. Основним його призначенням є випробовування моделей суден і їх рушійно-рульових комплексів в умовах глибокої та мілкої води, хвилювання, течії тощо. Басейн має довжину 50 метрів, ширину 6,8 метрів та глибину 3,5 метра. На сьогоднішній день це – найбільший дослідний басейн в Україні [7].

Дослідний басейн обладнано генератором хвиль щитового типу, який створює на поверхні води хвилі висотою до 0,3 метра й періодом до 2 секунд. Басейн обладнано двома буксирувальними системами гравітаційного та гідравлічного типу, які дозволяють буксирувати моделі суден довжиною до 6 метрів зі швидкістю до 5 м/с.

У дослідному басейні розгорнуто автоматизовану систему збору та обробки даних, яка працює сумісно з електронними динамометрами, датчиками лінійних та кутових переміщень, акселерометрами, датчиками тиску та іншими сенсорами (загалом 16 каналів). Для реєстрації параметрів хвиль на поверхні води використовується восьмиканальна автоматизована система реєстрації хвиль. Також басейн має систему підводної та надводної високошвидкісної відеозйомки у форматах FullHD та 4K.

Нині дослідний басейн є невід'ємною частиною об'єкту «Експериментальний комплекс для гідродинамічних досліджень Інституту гідромеханіки НАН України», що становить національне надбання. Окрім цього, він акредитований в Регістрі судноплавства України як спеціалізована лабораторія для досліджень в галузі гідродинаміки судна.

Експериментальні дослідження гідродинаміки суден

Ще на початку 1950-их рр. в інституті активно проводилися роботи з дослідження руху суден в умовах обмеженого фарватеру (Г.І.Сухомел, В.М.Засс Л.І.Янковський [1, 2]). Уведення дослідного басейну в експлуатацію значно розширило можливості експериментальних робіт у цій галузі. Слід зазначити, що безпосередню участь у створенні басейну брав видатний вчений в галузі гідромеханіки та теорії корабля академік Г.Є.Павленко, який тривалий час працював в інституті завідувачем відділу гідромеханіки судна [3]. Під його керівництвом в інституті утворилася наукова школа з гідромеханіки судна. Багато з

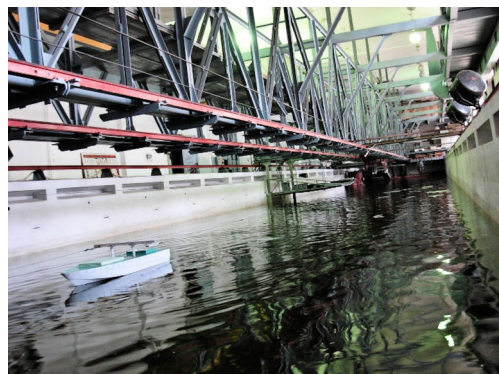
його учнів згодом стали знаними науковими фахівцями як в Україні, так і за її межами, зокрема, П.Г.Авраменко, В.Г.Белінський, В.Ю.П'ятецький, І.М.Чорний та ін. [4–6].

Одразу після відкриття басейну почалися активно проводитися буксирувальні, пропульсивні та морехідні випробовування моделей морських і річкових суден вантажного, пасажирського, промислового й технічного флоту. Зокрема, досліджувались гідродинамічний опір і динамічна посадка моделей суден в умовах обмеженого фарватеру в широкому діапазоні швидкостей руху, включаючи критичні та надкритичні швидкості.

Серед основних замовників експериментальних досліджень у дослідному басейні були провідні вітчизняні проектно-конструкторські бюро в галузі суднобудування – Центральне конструкторське бюро головного управління річкового флоту (Київ), Центральне конструкторське бюро «Ленінська кузня» (нині ЦКБ «Шхуна», Київ), Південний науково-дослідний інститут морського флоту (Одеса) та інші.

Як правило, після аналізу результатів модельних досліджень замовникам надавалися рекомендації про можливі шляхи удосконалення характеристик судна – зменшення опору води, виключення зайвого заливання при плаванні в умовах хвилювання тощо. Більшість цих рекомендацій було прийнято та впроваджено в подальші розробки для серійного будівництва суден. Наприклад, завдяки рекомендаціям Інституту гідромеханіки НАН України вдалося збільшити з 16 до 17 вузлів швидкість пасажирського судна проекту 10110, розробку якого здійснював Південний науково-дослідний інститут морського флоту (Одеса). Загалом було побудовано понад 60 одиниць суден цього проекту, значна кількість яких експлуатувалися за кордоном.

Як відомо, ефективна експлуатація суден в умовах обмеженого фарватеру, зокрема, мілководдя передбачає застосування в конструкції суден водометних рушійно-рульових комплексів. Тому в дослідному басейні було виконано системні дослідження керованості та пропульсивних характеристик річкових суден із водометними рушіями. Так, на самохідній моделі судна з таким рушієм (проект 331) вивчалася стабілізуюча дія струменя водометного рушія. При цьому вперше було виявлено та виміряно його поперечну реакцію. Також досліджувалися гідродинамічні характеристики реверсивно-кермових при-



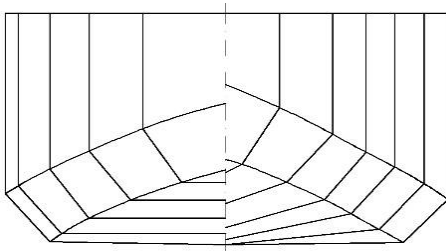
*Загальний вигляд дослідного басейну на початку будівництва (зліва)
та сучасний стан (справа)*

строїв водометних суден. Були проведені випробування п'яти моделей різних корпусів річкових суден, що рухаються з кутом дрейфу при критичних та надкритичних швидкостях. Виявлено вплив малих глибин на керованість річкових суден у широкому діапазоні чисел Фруда (В.Г.Белінський, І.М.Чорний [6]).

Серед робіт, виконаних у ранній період існування дослідного басейну, слід відзначити експериментальні дослідження гідродинаміки суден спрощених форм для обмеженого фарватеру (В.Ю.П'ятецький [5]). Застосування спрощених обводів корпусу приваблює тим, що дає значну економічну перевагу при будівництві судна. Перш за все, було вдосконалено методи побудови суднових корпусів з поверхонь, які розгортаються на площину – циліндрів, конусів, поверхонь з ребром повороту. У зв'язку з тим, що спрощені форми суднової поверхні мають кутові сполучення днищових і бортових поверхонь зовнішньої обшивки, які примикають одна до одної, то неправильний вибір напрямків скулової крайки може призвести до значного опору води при русі судна. Цілком обґрунтована в гідродинамічному відношенні вимога, якої слід дотримуватись при проектуванні суден зі спрощеними обводами корпусу, полягає в тому, що крайкова лінія скули має збігатися з лінією току відносного руху води. Тільки при дотриманні цієї умови можна спроектувати судно спрощених форм, яке за гідродинамічними якостями не поступається суднами звичайних обводів. У зв'язку з розвитком зернових перевезень по річках Дніпро-Бузьського басейну в останні роки результати цих досліджень залишаються актуальними й понині.

Дуже цікаві дослідження були проведені на замовлення акціонерного товариства «Martimex Omega» (м. Мартін, Словаччина) у зв'язку з проектуванням пасажирського судна для експлуатації на лінії Київ–Відень, яке здійснювалось конструкторським бюро суднобудівного підприємства «Slovenske Lodenice» (м. Комарно, Словаччина). Виходячи зі специфіки різних ділянок плавання та самого судна, програма досліджень охоплювала широке коло задач. Зокрема, вивчалась поведінка судна в умовах суттєвого обмеження глибин фарватеру, що властиво деяким ділянкам Дунаю, особливо на підходах до Відня (П.Г.Авраменко, М.В.Шайбо, Л.І.Янковський, Г.П.Соколовський [7]).

Після набуття Україною незалежності дослідний басейн Інституту гідромеханіки НАН України став чи не єдиним великим експериментальним комплексом, який зда-

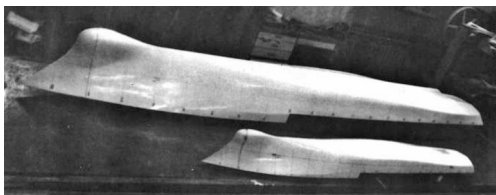


Характерний вигляд спрощених обводів корпусу та сучасного судна зі спрощеними обводами корпусу фірми НІБУЛОН (м. Миколаїв, Україна)



Специфічний відрив потоку за кормою судна в умовах суттєвого обмеження глибини фарватеру

тен задовольнити потреби суднобудівної галузі України у вирішенні сучасних задач гідродинаміки судна [8]. Тому спільними зусиллями інституту та ДП «Дослідно-проектного центру кораблебудування» (м. Миколаїв, Україна) було виконано цикл робіт щодо визначення придатності басейну для вирішення задач дослідження гідродинаміки перспективних швидкісних кораблів Військово-морських сил України. Розроблено оригінальні методики досліджень гідродинаміки швидкісних суден у дослідному басейні, які дозволяють суттєво зменшити собівартість робіт та підвищити достовірність результатів у порівнянні з традиційними аналогами. Так, було розроблено методику проведення буксирувальних випробувань в дослідному басейні за допомогою двох моделей судна (В.В.Бабенко, В.В.Мороз [9]). Її суть полягає у випробуваннях двох геометрично подібних моделей різного масштабу. Опрацювання отриманих даних здійснюється за спеціально розробленим алгоритмом, який дозволяє, з одного боку, охопити широкий діапазон руху за числом Фруда, а з іншого, – виключити вплив масштабного ефекту при перерахунку результатів випробувань на натурний розмір судна. Цю методику було успішно випробувано на моделях водотоннажних і глісуючих суден, вона активно використовується практиці



Характерний вигляд моделей водотоннажного (зліва) та глісуючого (справа) суден для випробувань в дослідному басейні за допомогою двох моделей



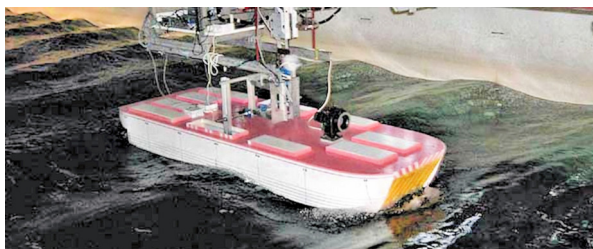
Модель трикорпусного судна в басейні Інституту гідромеханіки НАН України та зовнішній вигляд ракетного корвета «Мустанг», ДП «ДПЦК»

проведення експериментів у дослідному басейні.

Упродовж всього періоду існування в басейні регулярно проводилися пошукові дослідження гідродинамічних характеристик перспективних типів суден (Г.О.Воропаєв [10]). Зокрема, ще на початку ХХІ століття тут було оптимізовано трикорпусну гідродинамічну схему судна, яке складається з основного центрального корпусу (в ньому зосереджено основну частку водотоннажності) та двох невеликих бічних корпусів (В.В.Мороз [11]). Визначено оптимальне розташування бічних корпусів відносно центрального як по довжині, так і по ширині судна. За результатами цих досліджень у ДП «Дослідно-проектний центр кораблебудування» (м. Миколаїв) було розроблено проєкт ракетного корвета «Мустанг».

Окрім цього, в дослідному басейні виконано цикл досліджень з оптимізації гідродинамічної схеми частково розвантаженого за допомогою повітряної подушки катамарана (Partial Air Cushion Supported CATamaran – PACSCAT). В основі гідродинамічної схеми PACSCAT лежить гідродинамічна схема судна на повітряній подушці скегового типу. На відміну від класичної схеми судна на повітряній подушці, повітряна подушка такого типу під днищем обмежується в носовій та кормовій частинах гнучкою огорожею, а по бортах – тонкими жорсткими корпусами-скегами.

У проєкті типу PACSCAT цю схему було трансформовано. Ширину бічних корпусів суттєво збільшено, вони набули об'ємів, характерних для водотоннажних суден. Нижня частина бічних корпусів зроблена плоскою, вона наблизилась до форми, типової для глісуючих суден. Таким чином, судно типу PACSCAT є гібридним судном, у якому застосовані елементи водотоннажного судна та елементи плавзасобів з динамічними способами підтримки – глісуючого судна та судна на повітряній подушці. Основний режим плавання такого судна – водотоннажний з відносно невеликою швидкістю та піднятою огорожею, а за необхідності здійснюється швидкісний режим руху з використанням повітряної подушки. Регулювання тиску в повітряній подушці дозволяє змінювати осадку судна в широкому діапазоні, що забезпечує ефективне подолання мілководдя та мілин (В.О.Кочін, В.В.Мороз [12]). За результатами цих досліджень у ДП «Дослідно-проектний центр кораблебудування» (м. Миколаїв) було розроблено проєкт малого ракетного катера «Богомол».



*Модель судна типу PACSCAT в басейні ІГМ НАН України та зовнішній вигляд
малого ракетного катера «Богомол», ДП «ДПЦК»*

Експериментальні дослідження гідродинаміки морських трубопроводів при їх транспортуванні та укладанні

Морський трубопровідний транспорт займає важливе місце в загальному комплексі технічних засобів освоєння шельфових зон моря. За його допомогою здійснюється транспортування нафти та газу з місць видобування до місць накопичення та переробки. При цьому гідродинамічні аспекти, пов'язані зі створенням та експлуатацією трубопровідних систем на дні моря, є надзвичайно важливими.

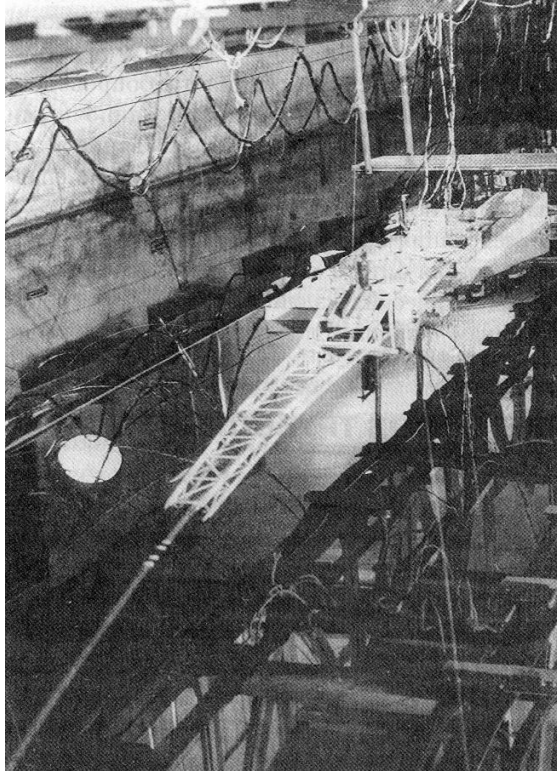
У дослідному басейні інституту проведено комплекс досліджень, пов'язаних з транспортуванням (буксируванням) готових секцій трубопроводів місць їх установки в морі. Запропоновано оригінальний варіант транспортування секцій трубопроводів, на який було отримано патент. Аналіз теоретичних результатів і результатів, отриманих на моделях, дозволив запропонувати формули для практичного оцінювання величин опору води при транспортуванні секцій трубопроводів з різними варіантами оснащення. Вони придатні для практичного застосування в умовах тихої води чи наявності хвиль різної інтенсивності. Використання запропонованих співвідношень дозволяє здійснювати оптимізацію компонування секцій трубопроводів і вибору способу буксирування, зокрема, визначення кількості необхідних буксирів та їхньої потужності. Вивчення процесів, що протікають при буксируванні секцій трубопроводів, дозволило запропонувати новий варіант оснащення у вигляді одиночних циліндричних понтонів того ж діаметра, що й труби. Їх використання забезпечує зменшення опору води майже вдвічі у порівнянні з традиційним оснащенням парними понтонами. Також проведено оригінальні дослідження з моделями секцій трубопроводів під час буксирування в умовах наявності битого льоду.

Паралельно з теоретичними розрахунками щодо визначення величин прогину та напружень у трубах підводного трубопроводу під час його укладання за допомогою трубоукладального судна на різних глибинах моря, здійснювалося фізичне моделювання процесу укладання. У результаті цих випробувань визначались форма та напруження в трубах під час їх укладання в умовах спокійної води та за наявності хвиль різної інтенсивності. Зокрема, вивчалася динаміка трубоукладального комплексу, до якого входили трубоукладальна баржа зі стінгером, натяжним пристроєм та трубопроводом, утримувана якірними канатами. Випробування здійснювалися на хвилях різної інтенсивності та за

різних напрямків набігання (курсівих кутах). Вимірювалися переміщення комплексу в системі головних координат, зусилля у всіх якірних канатах, натяжному пристрої, елементах кріплення стінгера, на його кінцевому ролику, а також статичні та динамічні навантаження в трубопроводі.

На додачу, вивчався вплив жорсткості швартових канатів, які з'єднують трубоукладальне судно з допоміжним судном, на зусилля, що виникають під час шторму. У процесі проведення цих досліджень сформувався технічне рішення, яке дозволяє значно розширити можливості роботи трубоукладального комплексу в умовах шторму. Було запропоновано використовувати рухомий зварювальний пост, розміщений на з'єднанні з верхнім кінцем трубопроводу легкій рухомій платформі, з можливістю його вільного пересування палубою трубоукладального судна. Реалізація цієї пропозиції дозволила підняти допустиму бальність моря, при якій можливо здійснювати роботи, при одночасному зменшенні зусиль в якірних канатах. Це дозволяє зменшити потужність якірних механізмів, діаметр і вагу канатів.

Матеріали цих досліджень опубліковані в галузевих технічних виданнях та в працях спеціальних семінарів і симпозіумів. Головними виконавцями цих досліджень були П.Г.Авраменко, В.І.Корольов і М.В.Шайбо.

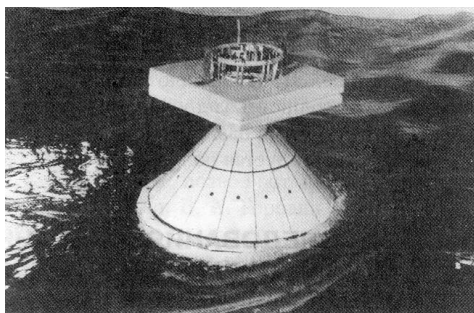


*Моделні випробування
трубоукладального комплексу*

Експериментальні дослідження процесу транспортування та постановки на дно опорних блоків стаціонарних морських платформ

Роботи проводилися з моделями опорних блоків гравітаційного типу для глибин моря (20 ... 30) м і морських стаціонарних платформ фермового типу для глибин до 150 м. Зокрема, визначались опір води при буксируванні опорних блоків як на тихій воді, так і при наявності хвиль різної інтенсивності. Моделі опорних блоків морських стаціонар-

них платформ виготовлялися з дотриманням динамічної подібності, що було особливо важливим при дослідженні їхньої статичності в процесі транспортування та постановки на дно шляхом заповнення технічних відсіків забортною водою.



*Моделі випробування платформи
в режимі транспортування*

Аналіз результатів численних випробувань різних варіантів опорних блоків дозволив Інституту гідромеханіки НАН України запропонувати свою схему опорного блоку, в якому передбачено автономне регулювання зміни процесів транспортування та постановки на дно без залучення допоміжних пристроїв транспортування та кранового обладнання. Ця пропозиція була оформлена як винахід.

Експериментальні дослідження, пов'язані зі створенням гідроакустичних систем

Дослідження на цій проблемі проводилися протягом понад трьох десятиліть і охоплювали велике коло питань, вирішення яких вимагало створення гідроакустичних систем різних типів та призначення.

Насамперед слід відзначити систематичні випробовування динаміки морських буйів для гідрофізичних досліджень. Як правило, морський буй складається з надводної та підводної частин, з'єднаних між собою гнучким кабель-тросом. Надводна частина буя представляє собою напівзанурене циліндричне тіло, що перетинає вільну поверхню. Підводна частина буя представляє собою легкопроникний плавучий якор, який здатен орієнтуватися за течією й виконувати роль динамічного демпфера в умовах морського хвилювання. Таким чином, морський буй – це складна механічна система, динаміка якої визначається гідродинамічними характеристиками надводної та підводної частин і динамікою кабель-троса в потоці.

Було розроблено та запатентовано нові конструктивні схеми таких буйів з використанням проникних для води елементів конструкцій та спеціальних стабілізаторів, які дозволяють різко зменшити коливання буя на морських хвилях (П.Г.Авраменко, В.О.Горбань, М.В.Салтанов [13, 14]).

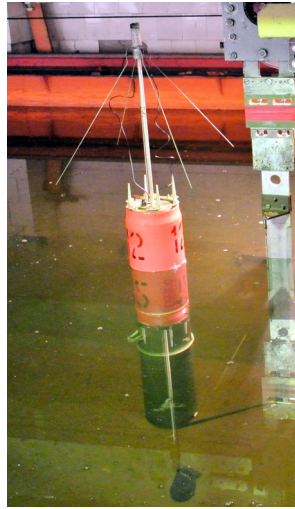
Ще одним важливим напрямком робіт у дослідному басейні були дослідження гідродинаміки підводних буксируваних систем. Зазвичай, у таких системах визначальним фактором є гідродинаміка буксирного троса. У басейні було створено спеціальну експериментальну установку для дослідження динаміки (вібрації) гнучких тросових елементів у потоці зі змінною швидкістю вздовж троса. За допомогою височастотних вібродатчиків було досліджено динаміку великої кількості кабель-тросів різних форм і конструкцій. Було отримано синхронні записи коливань кабель-тросів у кількох точках по дов-

жині, оброблених за допомогою автоматизованої системи збирання та обробки результатів експерименту. Ці результати дозволили розробити уточнений метод розрахунку вібрацій кабель-тросів у потоці з довільною епюрою швидкості та запропонувати методи зниження рівнів їх вібрації за допомогою різних методів – використання сіток, розподілених певним чином дискретних мас.

Також було проведено значний обсяг досліджень зі стабілізації гнучких елементів великої протяжності – антен і сейсмокос. Зокрема, вивчалась їхня поведінка в потоці за умов спокійної води та наявності поверхневих хвиль при вимушених коливаннях передньої точки буксирування чи дії струменя від рушія буксирного судна. Саме задля забезпечення стабілізації гнучких протяжних елементів було проведено випробування оригінального кінцевого пристрою, що складається з системи гнучких протяжних елементів. Робота

його базується лише на дії сил тертя – без утворення великомасштабних вихорів, які порушують стабільність руху самого стабілізуючого пристрою. Головними виконавцями цих досліджень були П.Г.Авраменко та В.І.Корольов.

Досліджувалися також різні пристрої для зменшення коливань підводних апаратів, що буксируються на кабель-тросі. Розроблено та запатентовано конструкції демпферів і низькочастотних розв'язок, які дозволяють різко зменшити вплив коливань судна-буксирувальника на рух підводних апаратів (В.О.Горбань, М.В.Салтанов).



*Морський буй для гідрофізичних досліджень:
надводна частина (зліва) та підводна
частина (справа)*

Експериментальні дослідження екологічного характеру

Останнім часом набула гостроти проблема, пов'язана з захистом берегів від дії хвиль різного походження. У цьому сенсі корабельні хвилі в умовах мілководдя є доволі сильним руйнівним фактором. Особливо це дається взнаки, коли йдеться про швидкісний рух суден на мілководді в діапазоні критичних швидкостей руху, де можуть утворюватися поодинокі хвилі (В.О.Кочін, В.В.Мороз [15]). Як відомо, вони можуть поширюватись на великі відстані навіть після зупинки судна. При взаємодії поодинокі хвилі з похилою вертикальною стінкою – причалом або дамбою – може виникнути нелінійне потрійне відбиття хвиль від стінки – потрійна конфігурація Маха. В цьому випадку утворюється

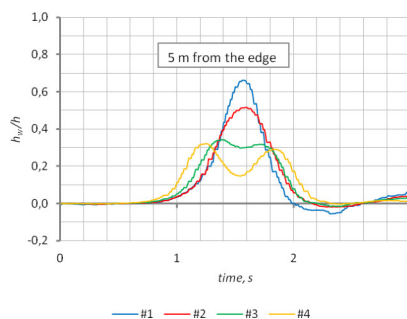
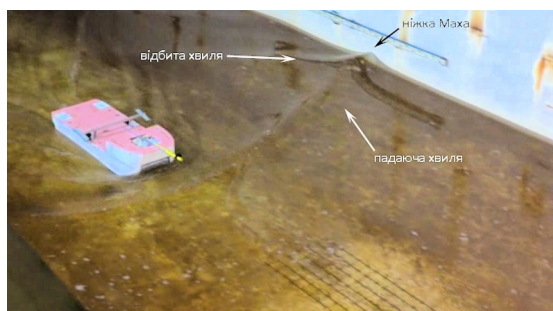
третя хвиля («ніжка Маха»), яка з'єднує падаючу та відбиту хвилю. Враховуючи те, що «ніжка Маха» за розмірами може в кілька разів перевищувати падаючу хвилю, саме вона несе основну загрозу руйнування берегів.

Для дослідження геометричних та кінематичних характеристик нелінійного відбиття корабельних хвиль в стінок каналу в дослідному басейні було створено спеціальну експериментальну установку, яка включає як конструкції для моделювання форми берегів каналу, так і багатоканальну систему реєстрації параметрів хвиль.

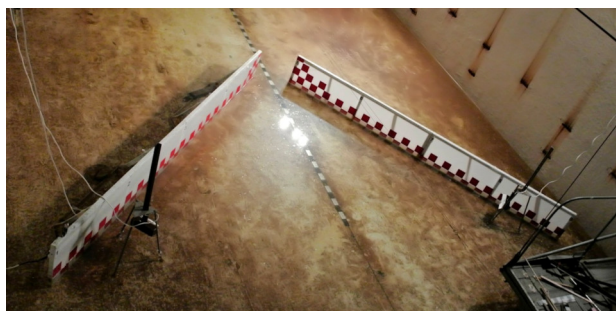
У басейні поодинокі хвилі створювалися за допомогою моделі судна-катамарана, що рухалося в діапазоні критичних швидкостей. Після утворення такої хвилі модель зупинялася, а хвиля продовжувала рух у напрямку стінки. Було показано, що безпосередньо біля стінки каналу «ніжка Маха» майже в двічі перевищує за розмірами падаючу хвилю (А.С.Корольова (Котельникова), В.О.Кочін, В.В.Мороз, В.І.Нікішов, В.Ю.Філімонов [16]).

В експериментах досліджувався характер взаємодії поодинокі хвилі з вертикальними стінкам різної форми в плані, зокрема, закритої та відкритої кутової стінки. Показано, що при взаємодії поодинокі хвилі з відкритою кутовою стінкою спостерігається також потрійне хвильове «махівське» відбиття.

При вході «ніжки Маха» у відкритий кутовий прохід відбувається перетворення хви-



Спосіб утворення потрійного відбиття хвиль від стінок басейну та висота хвиль при потрійному відбитті від стінок басейну



Загальний вигляд відкритої кутової стінки та перетворення хвильового руху у вихровий

льового руху у вихровий. Це явище може служити фізичним підґрунтям для створення штучного хвилелому для захисту берегів від дії інтенсивних поверхневих хвиль.

Попри загальне скрутне становище, яке переживає зараз наша країна, ми впевнені в подальшому ефективному функціонуванні дослідного басейну та його розвитку. У наші дні потужна комп'ютерна техніка дає можливість просимулювати доволі повноцінний віртуальний чи «сухий басейн». Незважаючи на це, значення традиційного басейну, заповненого водою, для отримання нових знань далеко не вичерпано. Поза сумнівом, взаємне доповнення цих двох технік досліджень лише сприятиме подальшому науковому прогресу.

Бібліографія

- [1] Сухомел Г. И., Засс В. М., Янковский Л. И. *Исследования движения судов по ограниченным фарватерам*. Киев : Изд. АН УССР, 1956. 164 с.
- [2] Сухомел Г. И. *Исследование движения судов по каналам и мелководью*. Киев : Наукова думка, 1966. 78 с.
- [3] Павленко Г. Е. *Избранные труды*. Киев : Наукова думка, 1978. 496 с.
- [4] Авраменко П. Г. О присоединенной массе катамарана. *Гидромеханика*. 1969. № 15. С. 36–39.
- [5] П'ятецький В. Ю. *Судна спрощених форм для обмеженого фарватеру*. Київ : Вид. АН УСРС, 1962.
- [6] Белинский В. Г., Черный И. М. *Ходкость и управляемость водометных судов*. Наукова думка, 1966. 160 с.
- [7] О безопасных и экономичных режимах движения судна в условиях мелководного фарватера / Авраменко П. Г., Шайбо Н. В., Янковский Л. И. и Соколовский Г. П. *Гидромеханика*. 1998. № 72. С. 11–29.
- [8] Мороз В. В. Дослідні басейни України: сучасний стан та перспективи розвитку. *Гідроаеромеханіка в інженерній практиці*. 2024. Т. 28, № 1. С. 9–13.
- [9] Бабенко В. В., Кузнецов А. И., Мороз В. В. Методика проведения буксировочных испытаний в опытовом бассейне при помощи двух моделей глиссирующего судна. *Прикладна гідромеханіка*. 2003. Т. 5(77), № 4. С. 5–11.
- [10] Воропаев Г. О. Динаміка швидкохідних суден: світові тенденції та перспективи (за матеріалами доповіді на засіданні Президії НАН України 19 квітня 2023 р.). *Вісник Національної академії наук України*. 2023. № 7. С. 37–45.
- [11] Мороз В. В. Экспериментальное исследование сопротивления воды движению трехкорпусного судна. *Збірник наукових праць НУК*. 2004. № 2 (395).

- [12] Кочин В. А., Мороз В. В. Буксировочные исследования модели частично разгруженного с помощью воздушной подушки катамарана, который движется в канале в диапазоне критических скоростей. *Вісник Одеського національного морського університету*. 2013. № 1 (37). С. 28–38.
- [13] Салтанов Н. В. *Гибкие нити в потоках*. Киев : Наукова думка, 1974. 140 с.
- [14] Салтанов Н. В., Горбань В. О. Нелинейные задачи гибких нитей и стержней переменной длины в потоках и их приложения в технике освоения океана. *Гидромеханика*. 1996. Т. 70. С. 116–125.
- [15] Кочін В. О., Мороз В. В. Виникнення та розвиток хвиль-солітонів перед судном, що рухається в каналі в діапазоні критичних швидкостей. *Доповіді НАН України*. 2005. № 1. С. 59–64.
- [16] Взаимодействие корабельных уединенных волн с вертикальной стенкой при наклонном падении / Котельникова А. С., Кочин В. А., Мороз В. В., Никишов В. И. и Филимонов В. Ю. *Вісник Одеського національного морського університету*. 2015. № 3 (45). С. 58–67.

ШВИДКІСНИЙ ГІДРОДИНАМІЧНИЙ БАСЕЙН

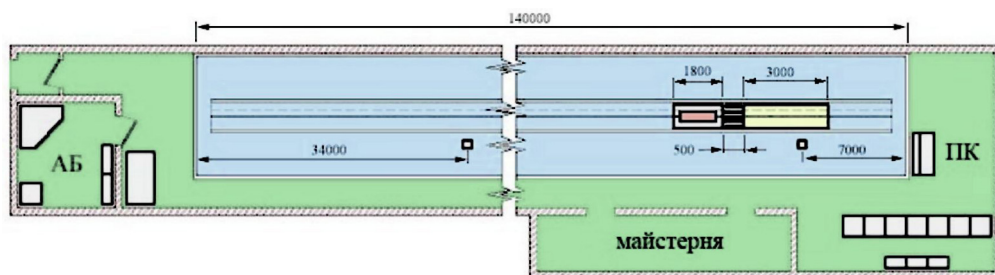
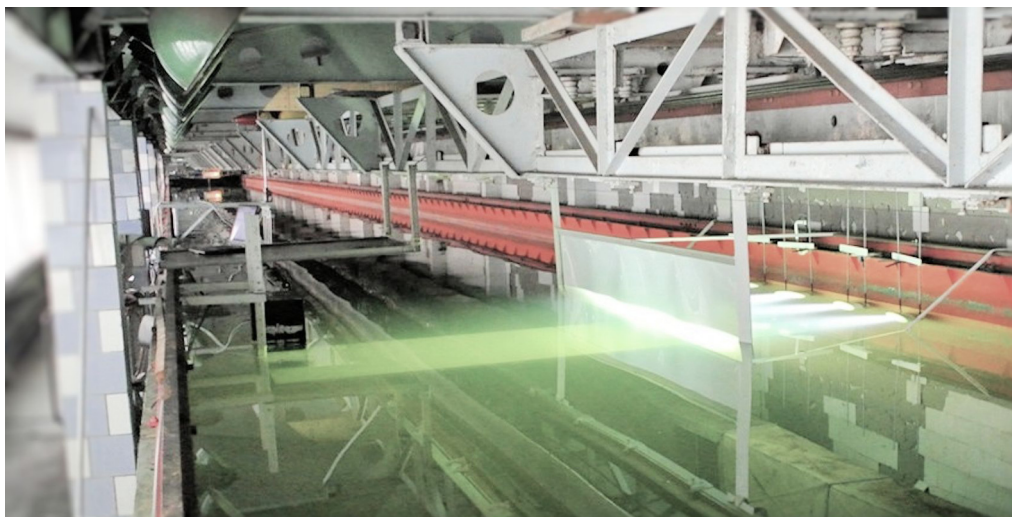
Швидкісний гідродинамічний басейн був створений у 1972 році за ініціативою професора А.М.Панченкова як спеціалізована лабораторія для експериментальних досліджень в галузі аеро- та гідродинаміки швидкісних суден з динамічними принципами підтримки. Він має довжину 140 метрів, ширину 4 метри та глибину 1,8 метра. Басейн обладнано генератором регулярних хвиль плунжерного типу, здатним генерувати хвилі висотою до 0,12 метра і періодом до 2 секунд, а також двома буксирувальними возиками – тихохідним і швидкісним. Тихохідний буксирувальний возик приводиться в дію електрогідравлічним приводом і призначений для буксирування моделей суден зі швидкістю до 10 м/с. Швидкісний буксирувальний возик приводиться в дію лінійним асинхронним електро-двигуном і призначений для буксирування моделей суден зі швидкістю до 25 м/с.

У швидкісному гідродинамічному басейні розгорнуто автоматизовану систему збору та обробки даних, яка працює сумісно з електронними динамометрами, датчиками лінійних та кутових переміщень, акселерометрами, датчиками тиску та іншими сенсорами (загалом 16 каналів). Для фіксації параметрів хвиль на поверхні води використовується спеціалізована восьмиканальна автоматизована система реєстрації. Окрім того, басейн обладнано системою підводної та надводної високошвидкісної відеозйомки у форматах FullHD та 4K.

Нині швидкісний гідродинамічний басейн входить до об'єкту «Експериментальний комплекс для гідродинамічних досліджень Інституту гідромеханіки НАН України», який має статус національного надбання. Наукове керівництво басейном здійснюється відділом інформаційних систем в гідроаеромеханіці та екології Інституту гідромеханіки НАН України.

Основні наукові напрямки діяльності швидкісного гідродинамічного басейну

Дослідницька стратегія швидкісного гідродинамічного басейну полягає в проведенні експериментальних фундаментальних і прикладних досліджень на замовлення як наукових відділів Інституту гідромеханіки НАН України, так і сторонніх вітчизняних і закордонних організацій. Окрім того, в ньому виконуються оригінальні експериментальні дослідження в галузі нестационарної гідродинаміки, пов'язані з використанням унікальних можливостей основного технологічного обладнання. Такі роботи регламентуються власними тематичними планами відділу інформаційних систем в гідроаеромеханіці та екології Інституту гідромеханіки НАН України.



Загальний вигляд та план швидкісного гідродинамічного басейну

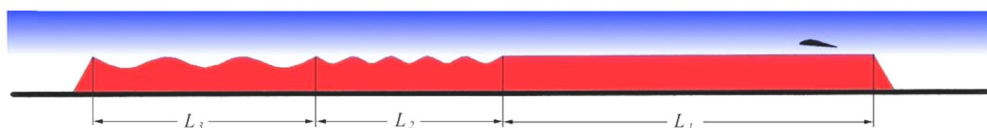
Експериментальні дослідження аеродинаміки крил поблизу плоского та хвильового екрана

Дослідженнями в цьому напрямку розпочиналась діяльність швидкісного гідродинамічного басейну, створеного саме з цією метою. Вони й нині залишаються актуальними у зв'язку з великим інтересом до створення швидкісних транспортних засобів типу WIG-craft (Wing-in-Ground Craft), відомих також як екраноплани. Конструкція швидкісних суден такого типу ґрунтується на особливостях аеродинаміки крила поблизу поверхні – екранному ефекті. Його суть полягає в збільшенні підйімальної сили разом з одночасним зменшенням індуктивного опору крила при наближенні його до екрана, роль якого найчастіше відіграє водна поверхня. Завдяки цій особливості з'являється можливість досягти на судах типу WIG-craft суттєво більшої аеродинамічної якості, в порівнянні з іншими літальними апаратами.

Основним предметом досліджень у цій галузі є вплив близькості плоского та хвильового екранів на аеродинамічні характеристики крила. Якщо ефекти плоского екрану нині теоретично та експериментально досліджені багатьма авторами, то вплив хвильового екрану досі залишається вивченим далеко не достатньо. Саме серія експериментальних робіт із хвильовим екраном і становить оригінальний, досі ніким не перевершений, внесок колективу швидкісного гідродинамічного басейну.

У басейні впроваджено технологію дослідження аеродинамічних характеристик крил методами гідродинамічного експерименту [1] (В.Г.Белінський, П.Й.Зінчук, В.В.Мороз). У даному випадку вона зводиться до того, що рух крила в повітряному середовищі замінюється рухом крила у воді, а рідкий плоский чи хвильовий екран – твердим екраном відповідної форми. Заміна повітряного середовища водним цілком виправдана, оскільки в даному випадку ефектами стисливості можна знехтувати, а при великих швидкостях руху над водною поверхнею, вона поводить подібно до твердої. На додачу, такий спосіб моделювання дозволяє досягати високих чисел Рейнольдса (до $2 \cdot 10^6$) при відносно малих розмірах моделі та швидкостях буксирування (3 ... 5) м/с, що значно спрощує технологію проведення експерименту.

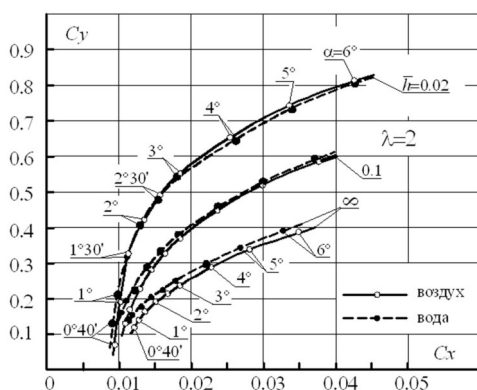
З цією метою на дні швидкісного гідродинамічного басейну на, віддаленому від вільної поверхні води, було споруджено горизонтальний твердий екран з плоскими й хвилеподібними ділянками достатньої протяжності. Хвилеподібні ділянки складалися з синусоїдальних хвиль різної довжини та висоти, гребені яких орієнтовані перпендикулярно й під різними кутами до напрямку руху крила. Над екраном у водному середовищі буксировалися крила різних подовжень λ від 0,5 до 5,0, у тому числі, крила з відхиленими



Загальна схема руху крила над твердим підводним екраном

закрилками. При випробуваннях над хвильовим екраном діапазон чисел Струхала становив $Sh = 2\pi b/\lambda_w = (0, 215 \dots 6, 28)$, де b – хорда крила; λ_w – довжина хвилі на екрані.

Для верифікації технології дослідження аеродинамічних характеристик крил методами гідродинамічного експерименту в швидкісному гідродинамічному басейні були проведені порівняльні експерименти з крилом, що рухається у водному середовищі над твердим екраном, і з аналогічним крилом у повітрі над вільною поверхнею води [2]. Обидва крила були прямокутної форми в плані та мали профіль ЦАГИ СР-16-6М з відносною товщиною 6%. Повітряне крило мало абсолютні розміри $l \times b = 1500 \times 750$ мм (тут l – розмах крила) і буксировалося зі швидкістю 18 м/с, а підводне – 500×250 мм і випробовувалося при швидкості буксирування 6 м/с. Обидва крила мали однакове подовження l/b .



*Порівняння результатів випробувань
повітряного та підводного крила
поблизу екрану*

лило встановити залежність аеродинамічних характеристик крила від його подовження, кута атаки, відстані до екрану, довжини та висоти хвиль, напрямку руху крила відносно фронту хвиль тощо. Зокрема, було визначено оптимальні подовження крила поблизу екрану з точки зору максимуму підйомної сили та максимуму аеродинамічної якості. Такими подовженнями для обох випадків виявилися $\lambda = (2 \dots 3)$ і $\lambda = 3$ відповідно.

Показано, що при русі над синусоїдальним хвильовим екраном часові залежності гідродинамічних характеристик крила змінюються не синусоїдально, а за законом, близьким до трохоїдального. Встановлено несиметричність цих кривих щодо вертикалей, які проходять через їхні максимуми, а також їх зсув по фазі відносно хвилі екрана. Визначено, що середні за період хвилі значення підйомної сили крила над хвильовим екраном перевищують підйомну силу крила, яке рухається над плоским екраном, розташованим на рівні середньої лінії хвилі. Встановлено залежність амплітуд коливань значень аеродинамічних характеристик крила при його русі над хвильовим екраном від параметрів крила й екрана. Результати випробувань охоплюють практично весь можливий діапазон співвідношень між параметрами крил існуючих суден типу WIG-craft і параметрами хви-

Порівняння поляр крила дослідженого профілю, отриманих при експериментах у повітряному та водному середовищах, показали їхню повну якісну відповідність. Незначні кількісні розбіжності знаходилися в межах точності вимірювань. Ці результати свідчать про практичну рівнозначність двох проаналізованих технологій випробувань крила поблизу екрану.

При випробуваннях у швидкісному дослідному басейні безперервно вимірюються миттєві значення підйомної сили крила P_y , опору R_x і поздовжнього моменту M_z , а також моменти крену при русі крила над косими хвилями. Це дозво-

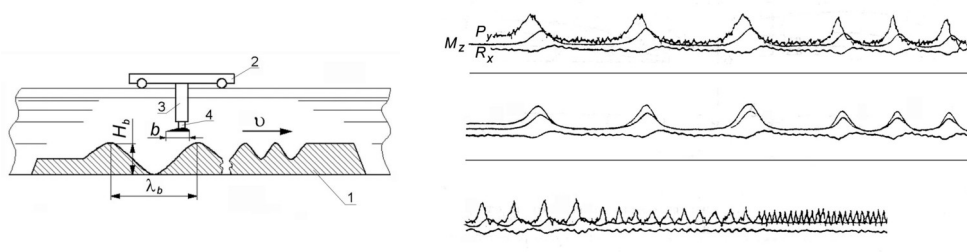
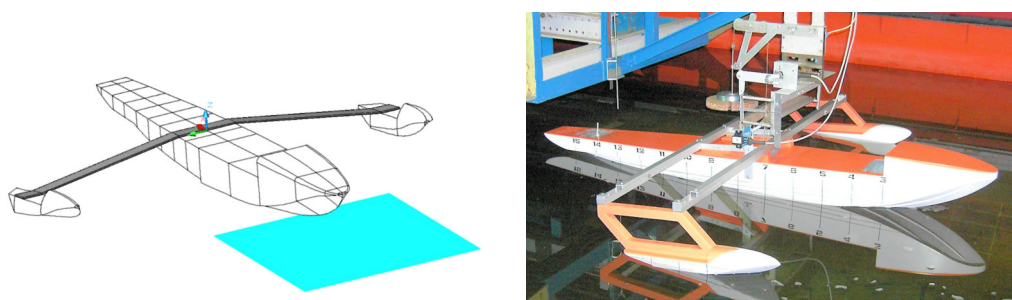


Схема експериментальної установки та характерний вид запису миттєвих значень підіймальної сили крили P_y , опору R_x і поздовжнього моменту M_z



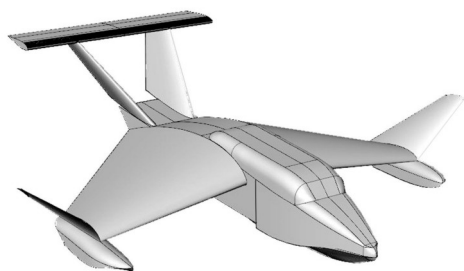
Схематизований вигляд моделі судна типу WIG-craft для гідродинамічних досліджень і спосіб підвіски моделі до буксировочного возика

лювання на вільній поверхні води. За обсягом та практичною значимістю вони й дотепер не мають аналогів у світі (В.Г.Белінський, П.Й.Зінчук, С.І.Путілін, В.О.Оришичев, В.М.Незнамов [2–6]).

Експериментальні дослідження гідроаеродинаміки моделей швидкісних суден типу WIG-craft

Одна з причин, що стримують розвиток суден типу WIG-craft як високоефективного виду транспорту, – їхня складна гідродинамічна взаємодія з водою при зльоті та посадці, а також під час руху над схвильованою водною поверхнею. Зокрема, при зльоті гідродинамічний опір судна типу WIG-craft у кілька разів перевищує аеродинамічний опір під час польоту над екраном. При русі ж такого судна над схвильованою поверхнею на нього діють додаткові нестационарні періодичні сили та моменти, які змушують його здійснювати рухи, подібні до хитамиці корабля при його русі по схвильованій поверхні моря. Таким чином, гідродинамічні сили в сукупності з аеродинамічними силами, що діють на корпус судна типу WIG-craft, мають вирішальне значення для його ефективної експлуатації.

При експериментальному дослідженні гідродинамічних характеристик суден типу WIG-craft у швидкісному гідродинамічному басейні використовується метод «метод під-



Схематизований вигляд моделі для аеродинамічних досліджень і спосіб підвіски моделі до буксировочного возика дослідного басейну

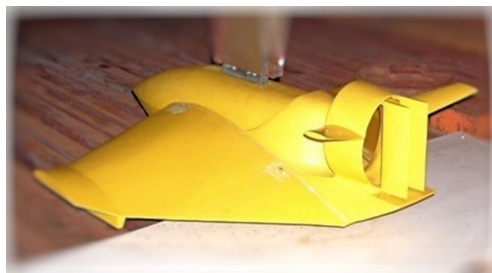
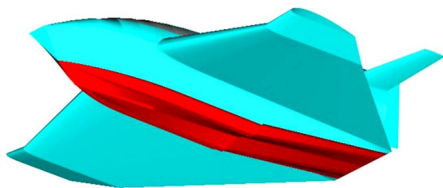
тягування» (В.В.Мороз, В.О.Кочін [7]). Його суть полягає в тому, що під час випробувань до моделі судна прикладаються зовнішні вертикальні сили, які моделюють аеродинамічну підймальну силу крила та хвостового оперення. При цьому модель судна типу WIG-craft включає тільки ті елементи конструкції, які безпосередньо взаємодіють з водою (центральный корпус, поплавки тощо). Модель судна закріплюється до буксировочного возика за допомогою спеціальної шарнірної підвіски, яка дозволяє моделі вільно здійснювати вертикальні переміщення та кутові коливання в поздовжньо-вертикальній площині. На шарнірній підвісці встановлюються тензометричний динамометр і датчики для реєстрації вертикальних переміщень моделі та ходового диференту.

Дослідження аеродинамічних характеристик суден типу WIG-craft у швидкісному гідродинамічному басейні здійснюється методами гідродинамічного експерименту. Для цього створюється спеціальна модель на якій відтворюються всі елементи, які можуть генерувати аеродинамічну силу – крила, корпус, хвостове оперення тощо.

Модель швидкісного судна типу WIG-craft за допомогою спеціального пілону підвішується до буксировального возика, у нижній частині якого встановлено трикомпонентний тензометричний динамометр та механізм повороту моделі. Висота руху моделі над екраном регулюється шляхом вертикального переміщення всього пілону. При дослідженні аеродинамічних характеристик зазвичай оцінюються коефіцієнт аеродинамічної підймальної сили, коефіцієнт аеродинамічної сили опору та коефіцієнт аеродинамічного поздовжнього моменту.

Зокрема, за результатами досліджень розроблено загальну аеродинамічну схему та форму нижньої частини корпусу, які забезпечують низький рівень гідродинамічного опору при зльоті й посадці та високі морехідні якості перспективного судна типу WIG-craft (тип В).

У швидкісному гідродинамічному басейні також виконано дослідження щодо оптимізації загальної аеродинамічної схеми швидкісного судна типу WIG-craft. Схематизовані моделі судна типу WIG-craft буксировалися у водному середовищі над нерухомим твердим плоским чи хвиловим екраном. Були випробувані моделі судна типу WIG-craft трьох аеродинамічних схем: «нормальна літакова», «качка» й «тандем».



*Загальний вигляд нижньої частини корпусу та моделі в басейні
перспективного судна типу WIG-craft (тип В)*

Спочатку моделі буксировались у вільній підвісці з двома ступенями вільності, яка допускала вільні вертикальні переміщення та поздовжні кутові коливання моделі. При цьому компонування кожного типу моделей, їхня вага, кути атаки крил та інші параметри підбиралися такими, щоб реалізувати стійкий режим руху над плоским та хвильовим екранами. Після цього вимірювалися вертикальні й кутові коливання моделей при їх русі над хвильовим екраном. Надалі вони буксировалися в жорсткій підвісці при фіксованих відстанях від екрану й кутах тангажу, визначених перед цим для режиму стійкого руху у вільній підвісці. При цьому безперервно вимірювалися миттєві значення сил і моментів. Таким чином було встановлено взаємозв'язок між силами та моментами, що діють на моделі судна типу WIG-craft над хвильовим екраном, і спричиненими ними вертикальними та кутовими переміщеннями моделей.

Важливим результатом цих випробувань стало встановлення діапазону співвідношень між розмірами судна типу WIG-craft і параметрами хвиль екрана, при яких коливання судна над ним є суттєвими (судно відчуває «хитавицю»). Визначено також умови, в яких хвильовий екран не чинить помітного впливу динаміку судна типу WIG-craft. За отриманими результатами можна судити про переваги й недоліки тих чи інших аеродинамічних схем таких суден з точки зору їх стійкого руху над хвильовим екраном (В.Г.Белінський, П.Й.Зінчук, С.І.Путілін, В.О.Оришичев).

Експериментальні дослідження нестационарних гідродинамічних характеристик погано обтічних тіл

У складі багатьох інженерних конструкцій використовуються погано обтічні тіла. Насамперед ідеться про створення великого аеро- або гідродинамічного опору, як, наприклад, у гальмівних пристроях парашутного типу. Існує низка технічних рішень, в яких великий опір погано обтічної конструкції використовується як рушійна сила для транспортних засобів (наприклад, при конструюванні рушіїв веслового типу). Слід зауважити, що більшість стилів плавання людини також ґрунтується на використанні великого гідродинамічного опору погано обтічних тіл – у даному випадку, долонь рук – для створення рушійної сили. Нині активно розвиваються технічні засоби для утилізації енергії

хвиль. Значна частина таких конструкцій є погано обтічними тілами, що здійснюють коливальні рухи. Слід також зауважити, що й добре обтічні тіла за певних обставин можуть перейти в розряд погано обтічних. Як приклад згадаємо лопаті вітроротора з вертикальною віссю обертання.

Характер відривної течії потоку за таких обставин суттєво впливає на працездатність конструкції та її ефективність. Одним із напрямків підвищення ефективності конструкцій, у складі яких використовуються погано обтічні тіла, є керування параметрами відриву за допомогою прискорення чи гальмування течії. Наприклад, швидке прискорення й повільне гальмування на тілах з плаваючою точкою відриву (сфері, еліпсоїді) можуть призвести до зменшення гідродинамічного опору, а на тілах з фіксованою точкою відриву — до його збільшення. Також параметри відриву суттєво залежать від передісторії руху рідини: розпочинається прискорення зі стану спокою чи зі стану сталої швидкості. Таким чином, встановлення впливу кінематичних характеристик потоку рідини на характер та поведінку відривної зони за погано обтічними тілами є наразі актуальною задачею.

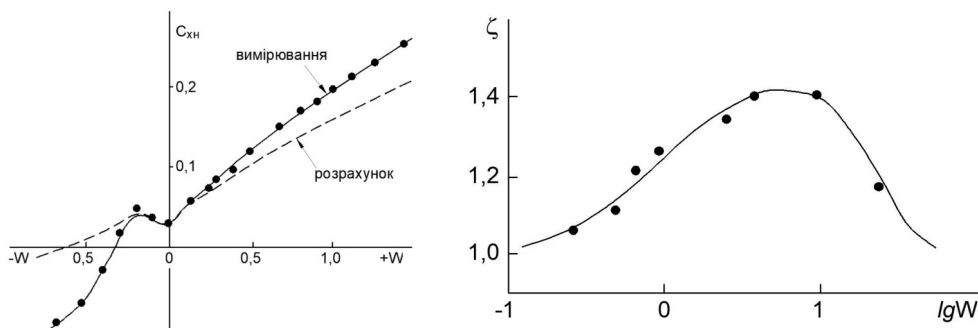
Для визначення гідродинамічних характеристик тіл у нестационарному потоці рідини найбільшого поширення набула теорія квазістационарності, у відповідності з якою вважається, що нестационарні гідродинамічні сили мають інерційну та в'язкісну природу. Інерційні гідродинамічні сили є об'ємними (масовими) силами, вони пропорційні об'єму та прискоренню тіла. В'язкісні сили є поверхневими та пропорційні характерній площі та квадрату швидкості тіла. У рамках квазістационарної теорії до них застосовується принцип суперпозиції, тобто вважається, що сили різної природи незалежні й не впливають одна на одну. Нестационарність потоку визначається співвідношенням його прискорення та швидкості відносно тіла. Таким чином, нестационарний коефіцієнт гідродинамічного опору $C_{\text{хн}}$ погано обтічного тіла в квазістационарному наближенні може бути обчислений за формулою, встановленою В.Г.Белінським, В.В.Морозом і В.О.Кочіним [8]:

$$C_{\text{хн}} = C_{\text{хв}} + K \frac{\delta}{\beta} W,$$

де $C_{\text{хн}}$ — коефіцієнт в'язкого опору; K — коефіцієнт приєднаної маси тіла; δ — коефіцієнт загальної повноти тіла; β — коефіцієнт повноти міделєвого перетину тіла; $W = L\dot{v}/v$ — коефіцієнт, що характеризує нестационарність руху (тут L — довжина тіла; $\dot{v}$ — миттєве прискорення; v — миттєва швидкість).

Отже, коефіцієнт нестационарного опору тіла $C_{\text{хн}}$ у квазістационарному наближенні є лінійною функцією комплексу W , який прийнято називати безрозмірним прискоренням. Зрозуміло, що при малій швидкості й великому прискоренні домінують гідродинамічні сили інерційної природи, а при великій швидкості й малому прискоренні — в'язкісні гідродинамічні сили. Однак існує діапазон швидкостей і прискорень, в якому обидві складові вносять суттєву частку в загальний баланс гідродинамічних сил.

Для перевірки достовірності теорії квазістационарності та меж її застосування при визначенні сили гідродинамічного опору, що діє на тривимірне тіло при нестационарному русі, були проведені численні експериментальні дослідження. Зокрема, в басейні бу-



Характерний вигляд залежності коефіцієнта нестационарного опору C_{xn} (зліва) та функції C_{xn} / C_{xn}^{kv} (справа) при прискоренні еліпсоїда зі стану спокою

ксирувалися моделі різних тіл при різних законах нестационарного руху – розгоні, гальмуванні, коливальних рухах. При цьому вимірювалися миттєві значення сили гідродинамічного опору тіла, швидкості та прискорення. У результаті досліджень було доведено, що виміряні реальні значення коефіцієнта нестационарного опору можуть істотно відрізнятися від обчислених за квазістационарною теорією. Зокрема, показано, що застосування теорії квазістационарності дає прийнятні результати лише тоді, коли безрозмірне прискорення W дуже велике або дуже мале. В інших випадках обчислення нестационарного опору тіла є складною задачею, яку здебільшого можна розв'язати лише експериментальними методами.

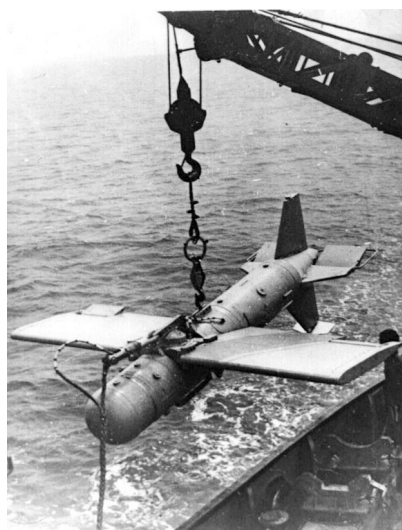
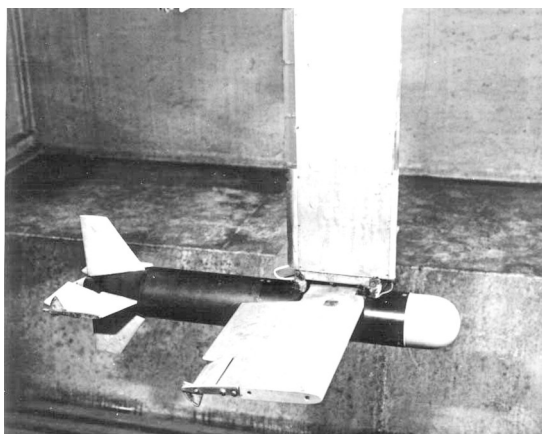
У швидкісному гідродинамічному басейні створено спеціальну експериментальну установку для дослідження коливальних рухів тіл у рідині з великими амплітудами в напрямку переміщення. На ній можна моделювати рух тіл у режимі розгін–гальмування, характерному для деяких видів гідробіонтів – кальмарів, восьминогів тощо. Існує припущення, що такий вид руху дозволяє гідробіонтам зменшити їхні енергетичні витрати. Воно отримало підтвердження при експериментах, проведених на цій установці зі сферою, яка рухається поступально, одночасно здійснюючи коливальні рухи з великою амплітудою в напрямку руху. Зокрема, визначено числа Рейнольдса та Струхала, при яких середній за період опір сфери в режимі розгін–гальмування може бути нижчим, ніж опір тієї ж сфери, що рухається зі сталою швидкістю, рівною середній швидкості коливального руху. Ці експерименти показали цікаву можливість зниження енергетичних витрат при нестационарному пересуванні тіла в рідині за раціонально вибраним законом, зокрема, зі швидким прискоренням і повільним гальмуванням (В.Г.Белінський, П.Й.Зінчук, В.О.Кочін, В.В.Мороз [8–10]).

Експериментальні дослідження гідродинаміки підводних апаратів

У швидкісному гідродинамічному басейні проводилися дослідження, спрямовані на розробку та створення підводних буксированих апаратів, призначених для вивчення гідрофізичних характеристик океану. Розроблялись гідродинамічні схеми та конструкції перспективних типів таких апаратів, визначались гідродинамічні характеристики за допомогою випробування їхніх моделей у гідродинамічному басейні. Створювались методи наближеної оцінки параметрів руху апаратів, придатні для використання на ранніх стадіях проектування.

Одною з наймасштабніших у цьому напрямку була робота зі створення малогабаритного керованого буксировального підводного апарата МУБУ. Він був обладнаний системою автоматичного керування, яка дозволяла реалізовувати за заданою програмою специфічні режими руху – маневрування по глибині з нульовим кутом диференту або з нульовим кутом атаки корпусу.

Уся дослідницька частина роботи зі створення підводного апарата МУБУ – вибір оптимальної гідродинамічної схеми, визначення основних параметрів апарата, випробування моделей тощо – була виконана в співробітниками швидкісного гідродинамічного басейна. Робоче проектування та виготовлення апаратів виконало СКТБ Інституту гідромеханіки НАН України. У результаті було створено три натурні зразки МУБУ. Випробування апаратів та його доведення проводилися в натурних умовах, після чого вони були передані замовникам і тривалий час успішно експлуатувалися в акваторії Чорного моря.



*Модель підводного апарата МУБУ в гідродинамічному басейні (зліва)
та натурний підводний апарат МУБУ на борту судна-носія (справа)*

Слід відзначити, що у швидкісному гідродинамічному басейні на замовлення різних організацій систематично виконувались також дослідження з розробки гідродинамічних схем та визначення гідродинамічних характеристик різноманітних видовжених тіл осесиметричної форми з виступаючими частинами, несучими, стабілізуючими та керуючими поверхнями (В.Г.Белінський, П.Й.Зінчук, В.В.Мороз, В.О.Оришичев [11–13]).

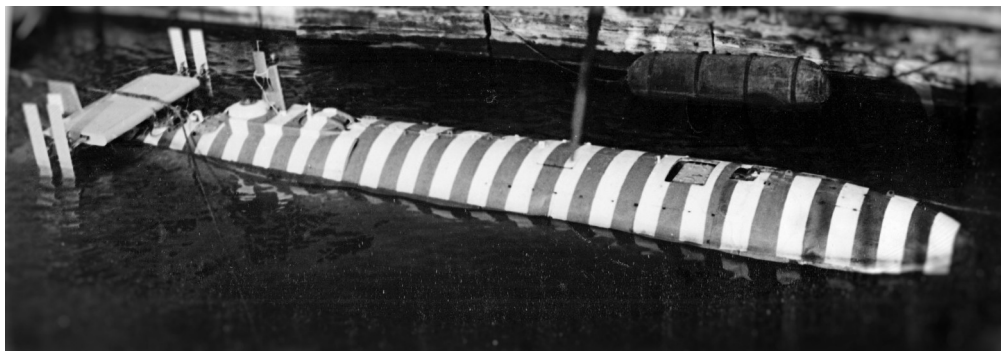
Експериментальні дослідження гідродинаміки нетрадиційних рушіїв

Уже тривалий час багатьох дослідників приваблює перспектива розробки нових досконалих гідродинамічних рушіїв нетрадиційного тину. Поряд із цим існує думка, що важко створити рушій, досконаліший, ніж гребний гвинт. Однак досвід вивчення способів руху різних типів гідробіонтів переконує у високій ефективності тих природних рушіїв, якими вони володіють. Звідси й прагнення дослідити принципи руху гідробіонтів і можливості використовувати їх при створенні технічних засобів пересування на воді. Співробітниками швидкісного гідродинамічного басейну були розроблені й досліджені два типи нетрадиційних рушіїв, заснованих на гідробіонічних принципах – рушії парасолькового та плавцевого типу.

Рушій парасолькового типу є гнучкою конструкцією куполоподібної форми, що здійснює зворотно-поступальні рухи в напрямку переміщення рухомого об'єкта. При русі вперед (холостий хід) купол складається на кшталт парасольки та створює незначний гідродинамічний опір. Під час руху назад (робочий хід) купол розправляється та створює корисну тягу. У живій природі схожу схему руху у воді реалізують медузи. Моделі такого рушія були випробувані в гідродинамічному каналі та в натурних умовах на річковому понтоні. Випробування показали, що рушії цього типу мають високу гідродинамічну ефективність, але тільки при малих швидкостях об'єкта, який вони приводять у рух. Зі збільшенням швидкості ефективність таких рушіїв швидко зменшується.

Рушії плавцевого типу давно є об'єктом ретельних досліджень. У різний час було запропоновано велику кількість їхніх конструкцій, однак із багатьох причин значного застосування на практиці вони поки не отримали. Зокрема, технічна реалізація кінематичної схеми таких рушіїв зазвичай призводить до складних і громіздких конструкцій, які не завжди можна раціонально розмістити на рухомому об'єкті. А найголовніше, досі не вдається створити плавцевий рушій, який міг би зрівнятися за гідродинамічною ефективністю з найкращими зразками гребних гвинтів.

Співробітниками швидкісного гідродинамічного басейну (В.Г.Белінський, Л.П.Козлов, В.І.Коробов, В.В.Мороз) був розроблений рушій плавцевого типу, який, з одного боку, за гідродинамічною ефективністю наближався до гребного гвинта, а з другого, був позбавлений деяких недоліків, властивих більшості відомих плавцевих рушіїв. Він являв собою систему з двох пар крил, які здійснюють зворотно-поступальні рухи великої амплітуди в площині, перпендикулярній напрямку руху в області незбуреного потоку. Кожне крило мало окремий незалежний компактний привід від свого лінійного електродвигуна, що виключило необхідність улаштування громіздкої системи перетворення обер-



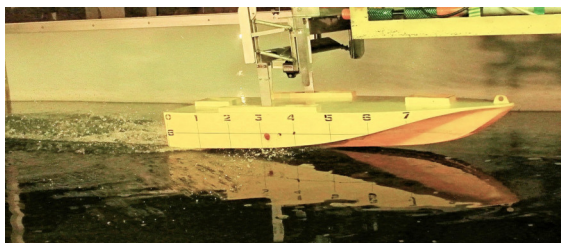
Великомасштабна модель підводного човна з плавцевим рушієм

тального руху від головного двигуна в зворотно-поступальний рух крила. У кожній парі крила рухались у протифазі одне до одного зі сталою швидкістю та з постійним кутом атаки (за винятком коротких проміжків розгону та гальмування крил, де кути атаки змінювалися на протилежні). Кожна пара вводилася в дію в певній послідовності. Зазначені особливості рушія забезпечили йому досить високу гідродинамічну ефективність при покращених гідроакустичних якостях – зниженні шумності. Робочий елемент такого рушія – окреме крило зі своїм лінійним електродвигуном – був випробуваний у гідродинамічному каналі. Двигун у зібраному стані проходив випробування на великомасштабній самохідній моделі підводного човна в акваторії Чорного моря.

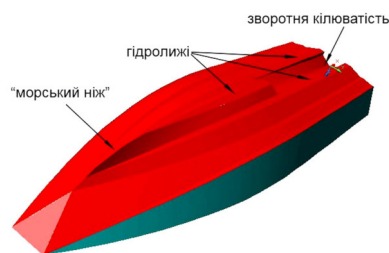
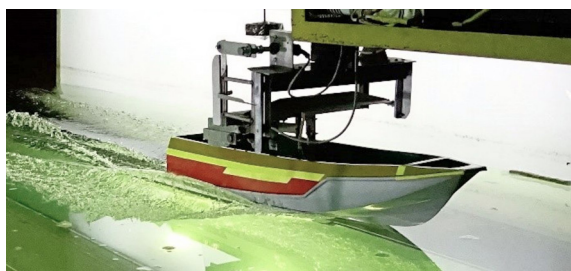
Експериментальні дослідження швидкісних суден

Незважаючи на успіхи теоретичної гідродинаміки в галузі дослідження опору води руху тіл, при вирішенні практичних питань щодо опору води рухові швидкісних суден модельні випробування в дослідних басейнах усе ще залишаються надійним методом отримання достовірних даних. Значну частину сучасних швидкісних суден становлять глісуючі судна, задача зменшення гідродинамічного опору яких була й залишається актуальною впродовж усього періоду їх розвитку. Одним з поширених способів зменшення гідродинамічного опору вважається створення на днищі чи бортах глісуючого судна вентиляваних штучних каверн (В.В.Мороз [14]). Як правило, штучно вентилявані каверни на корпусі судна утворюються за допомогою квітатора або системи кавітаторів, виготовлених у вигляді накладних елементів. У швидкісному дослідному басейні проведено експериментальні дослідження ефективності використання кавітаторів як на днищі, так і на бортах швидкісного судна. Показано, що найбільш ефективно ця технологія може бути застосована в трикорпусній гідродинамічній схемі глісуючого судна (В.В.Мороз, В.О.Кочін). При цьому кавітатор встановлюється безпосередньо на зовнішню обшивку, а для забезпечення вентиляції відривної течії за ним у борті центрального корпусу вмонтовуються вертикальні вентиляційні трубки.

Сучасний етап розвитку швидкісних суден характеризується застосуванням гібри-



*Зовнішній вигляд моделі трикорпусного глісуючого судна (зліва)
та системи вентиляції на центральному корпусі (справа)*

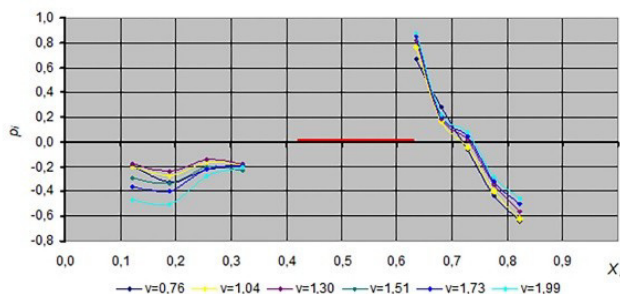


*Зовнішній вигляд моделі в басейні та форма днища
судна з гібридною гідродинамічною схемою*

дних гідродинамічних схем, адаптованих до різних режимів руху – водотоннажного, перехідного, глісуючого. Для кожного з них у практиці суднобудування сформувалася уява щодо оптимальної форми корпусу судна. На жаль, для багатьох швидкісних суден неможливо передбачити який з перерахованих режимів буде визначальним при виборі форми їхнього корпусу. Це робить пошук оптимальної гідродинамічної схеми швидкісного судна актуальною задачею.

На основі сучасних тенденцій розвитку швидкісних суден було сформовано теоретичне креслення концептуального швидкісного судна з гібридними обводами (В.В.Мороз, В.О.Кочін). У гібридній гідродинамічній схемі використано три гідролижі, одна з яких висунута вперед, а дві інші – зміщені в корму. При цьому між кормовими гідролижами днище корпусу судна має зворотню кілюватість. Для інтенсифікації утворення газоводяної суміші під днищем швидкісного судна безпосередньо за носовою гідролижею є вентиляційний отвір. Вентиляція днища може здійснюватись як безпосередньо з поверхні, так і за рахунок вихлопних газів від двигунів. Експериментальні дослідження в басейні показали, що розроблена гібридна гідродинамічна схема швидкісного судна має низький гідродинамічний опір у широкому діапазоні швидкостей як у перехідному режимі руху, так і в режимі розвинутого глісування.

Для багатьох швидкісних суден постає питання визначення аеродинаміки надводної частини корпусу. Зокрема, для суден на повітряній подушці при виборі місць розташування повітрязбірників підіймального комплексу надзвичайно важливо знати характер



Характерний вигляд судна на повітряній подушці скегового типу, дубльованої моделі та розподілу тиску на палубі (червоним кольором показано положення рубки)

розподілу тиску на палубі. У швидкісному гідродинамічному басейні Інституту гідромеханіки НАН України розвинуто гідродинамічний метод визначення аеродинамічних характеристик надводної частини швидкісних суден за допомогою дубльованої моделі. Його суть полягає у створенні дубльованої моделі судна відносно діючої ватерлінії. Таким чином, при випробуваннях у дослідному басейні моделюється обтікання лише надводної частини корпусу судна.

Бібліографія

- [1] Белинский В. Г., Кочин В. А., Мороз В. В. Опыт исследования задач аэродинамики методами гидродинамического эксперимента. *Вісник ОНМУ. Зб. наук. праць*. 2013. № (1) 37. С. 39–54.
- [2] Белинский В. Г., Зинчук П. И. Экспериментальные исследования движения крыла вблизи плоских и взволнованных границ раздела. *Гидромеханика*. 1998. Т. 72. С. 30–45.
- [3] Влияние формы неплоского экрана на гидродинамические характеристики движущегося над ним крыла / Белинский В. Г., Зинчук П. И., Незнамов В. Н., Оришичев В. А., Путилин С. И. *Гидромеханика*. 1975. Т. 29. С. 43–45.

- [4] Максимальные и средние значения гидродинамических характеристик крыла, движущегося над неплоским экраном / Белинский В. Г., Зинчук П. И., Незнамов В. Н., Оришичев В. А., Путилин С. И. *Гидромеханика*. 1975. Т. 31. С. 28–32.
- [5] О влиянии числа Струхала на характеристики крыла вблизи волнового экрана / Белинский В. Г., Зинчук П. И., Незнамов В. Н., Оришичев В. А., Путилин С. И. *Гидромеханика*. 1975. Т. 31. С. 32–35.
- [6] Белинский В. Г., Зинчук П. И. Влияние параметров экрана на мгновенные значения подъемной силы движущегося над ним крыла. *Прикладна гідромеханіка*. 2001. Т. 3 (75), № 1. С. 5–11.
- [7] Мороз В. В., Кочін В. О. Експериментальні дослідження аерогідродинамічних характеристик швидкісних суден типу WIG craft. *Інновації в суднобудуванні та океанотехніці*. Миколаїв : НУК, 2024. С. 36–39.
- [8] О коэффициенте сопротивления удобообтекаемых тел на режимах разгона и торможения / Белинский В. Г., Мороз В. В., Кочин В. А., Иванишин Б. П. *Бионика*. 1992. Т. 25. С. 46–50.
- [9] Белинский В. Г. Об одном свойстве кривой сопротивления тела при неустановившемся движении в жидкости. *Прикладные задачи гидромеханики*. Киев : Наукова думка, 1981. С. 116–126.
- [10] Белинский В. Г., Зинчук П. И. Сопротивление диска и сферы при ускоренном движении из состояния покоя. *Бионика*. 1998. Т. 27–28. С. 88–99.
- [11] Белинский В. Г., Акименко И. П., Мороз В. В. Оценка параметров движения подводных буксируемых систем на ранней стадии проектирования. *Проектирование и конструкции судов. Сб. науч. трудов*. Николаев : НКИ, 1982. С. 3–8.
- [12] Белинский В. Г., Акименко И. П., Мороз В. В. К определению глубины погружения подводной буксируемой системы с двумя углубителями. *Совершенствование судовых устройств и гибких конструкции. Сб. науч. трудов*. Николаев : НКИ, 1985. С. 58–61.
- [13] Белинский В. Г., Мороз В. В., Калюх Ю. И. Оценка параметров движения отводителя на ранней стадии проектирования. *Совершенствование судовых устройств и гибких конструкции. Сб. науч. трудов*. Николаев : НКИ, 1984. С. 22–26.
- [14] Мороз В. В., Кривко С. В. Буксировочные испытания модели полуглиссирующего катера с бортовыми кавитаторами. *Вісник ОНМУ. Зб. наук. праць*. 2015. № (3) 45. С. 110–116.

СПЕЦІАЛЬНЕ КОНСТРУКТОРСЬКО- ТЕХНОЛОГІЧНЕ БЮРО

Хоча спеціального конструкторсько-технологічного бюро й немає в чинній організації структурі Інституту гідромеханіки НАН України, з його існуванням пов'язана така важлива частина нашої історії, що ми просто не маємо права не згадати про цей підрозділ окремо.

Спеціальне конструкторсько-технологічне бюро з дослідним виробництвом (СКТБ ІГМ НАН України) було створено Постановою Президії АН УРСР № 177-Б від 23 квітня 1979 року на базі Дослідного виробництва Інституту гідромеханіки АН УРСР. Першим директором СКТБ був директор інституту чл.-кор. НАН України О.Я.Олійник. З 1980 по 1982 рік його очолював спочатку заступник директора, а потім директор інституту, чл.-кор. НАН України О.Д.Федоровський. З квітня 1982 року по липень 1985 року і з березня 1993 року до його ліквідації в 2010 році директором СКТБ був В.П.Серов. У період із липня 1985 року до березня 1993 року СКТБ очолював канд. техн. наук М.І.Лаврик.

Основні напрямки діяльності СКТБ

Завдяки залученню керівництвом СКТБ до роботи ряду провідних спеціалістів з таких великих підприємств Києва як ВО «Завод «Арсенал», ВО «Точелектроприлад», КФ ВНПРА, КПП та науково-технічних співробітників інституту до кінця 1982 року СКТБ стало потужною організацією, здатною на високому рівні забезпечити виконання лабораторних і натурних експериментальних досліджень з тематики Інституту гідромеханіки Академії Наук України. На той час заступником директора СКТБ був канд. техн. наук Ю.Г.Мокеєв, гол. інж. – М.П.Лисяк, головними конструкторами проектів – канд. техн. наук Ю.Д.Власенко та Ю.М.Піскун.

Структурно СКТБ складалося з тематичних відділів, дослідного виробництва та допоміжних служб. Це дозволяло забезпечувати розробку, підготовку до виробництва, виготовлення та проведення настроювальних і пусконаладжувальних робіт створених приладів і обладнання, а також проведення лабораторних і натурних досліджень. У СКТБ розроблялись програмне забезпечення апаратної частини автоматизованих систем для наукових досліджень, програми та методики прикладних та експериментальних досліджень на базі фундаментальних теоретичних розробок інституту в галузях гідромеханіки, гідротехнічного будівництва, екології та охорони навколишнього середовища. Також забезпечувались проведення досліджень та обробка їх результатів на спеціалізованому обчислювальному комплексі.

До складу тематичних відділів входили:

- конструкторсько-технологічний відділ (зав. відд. В.Д.Рибко, зав. сект. В.В.Остистий, В.Г.Калініченко, В.О.Холченков, В.С.Марчук, Г.Я.Сметанін, О.І.Гаєвський);
- конструкторський відділ електроніки (зав. відд. канд. техн. наук К.Г.Борисов, заступн. зав. відділу В.Ю.Філімонов, зав. сект. канд. техн. наук В.П.Іванов, Кияниця, В.О.Оришичев, В.П.Парій, В.Г.Янков, О.А.Шкіль);
- дослідно-конструкторській відділ (зав. відд. канд. техн. наук В.Т.Савченко, зав. сект. М.М.Білокриницький, В.І.Кошовий, канд. техн. наук В.В.Попов);
- відділ дослідної гідротехніки (зав. відд. канд. техн. наук О.С.Смирнов, зав. сект. канд. техн. наук Є.І.Сафронова, С.В.Телима, О.І.Ягодзинський);
- конструкторський відділ обчислювальних систем (зав. відд. канд. техн. наук О.Н.Бабій, зав. сект. В.І.Кіреєв, І.А.Кусмарцев);
- конструкторський відділ автоматизованих систем (зав. відд. канд. техн. наук С.С.Тонкаль, зав. сект. М.В.Бурик, С.М.Форостовець, О.С.Фомін);
- лабораторія автоматики (зав. лаб. М.В.Канарський), лабораторія трубопровідного транспорту (зав. лаб. канд. техн. наук К.В.Димінський);
- дослідне виробництво (начальник ділянки Н.П.Чабан).

В 1980-х роках у СКТБ було 10 тематичних відділів, у яких працювали висококваліфіковані фахівці, у тому числі 14 кандидатів наук.

У різний час заступниками директора СКТБ були А.Ч.Івановський, канд. техн. наук М.В.Канарський, канд. техн. наук Ю.М.Піскун, В.І.Кучерова, головними конструкторами проєктів – канд. техн. наук Ю.М.Піскун, канд. техн. наук К.Г.Борисов, канд. фіз.-мат. наук С.І.Константинов; завідувачами відділів – О.І.Адамов, канд. тех. наук М.М.Білокриницький, канд. техн. наук Ю.Д.Власенко, канд. техн. наук М.В.Канарський, Б.С.Конс, канд. фіз.-мат. наук С.І.Константинов, В.І.Кошовий, Г.Ю.Кравченко, канд. фіз.-мат. наук С.А.Матвієвський, канд. техн. наук Ю.В.Мякшин, Т.А.Охріменко,

канд. техн. наук С.В.Телима, канд. техн. наук Р.Ф.Трачук, канд. техн. наук В.Ю.Філімонов, В.О.Холченков, В.П.Чикида, В.Г.Янков; завідувачами секторів – канд. техн. наук В.Т.Артемюк, Б.П.Бісовецький, В.О.Блохін, канд. техн. наук В.А.Воскобійник, О.О.Кот, А.І.Кузнецов, В.В.Лаврик, В.В.Меленевський, І.П.Ревякін, канд. техн. наук І.В.Сенченко, Г.Л.Якубовський.

Розробка та створення обладнання для вимірювання гідрофізичних параметрів і забезпечення наукових досліджень

З моменту створення СКТБ працювало в тісному співтоваристві з науковими відділами інституту, створюючи нові дослідні стенди й оснащуючи лотки та басейни вимірювальними приладами та обладнанням. Під керівництвом зав. відділу фізичної гідромеханіки чл.-кор. НАН України О.Д.Федоровського було створено ряд приладів для дистанційних вимірювань явищ, які відбуваються на вільній водній поверхні. Принцип їх дії ґрунтується на прийомі власного випромінювання водної поверхні в інфрачервоній області оптичного спектру. Зокрема, до них відносяться інфрачервоний радіометр ИКР-1¹ і високочутливий тепловізор ТПВ-1 (розробники Ю.М.Піскун, В.Ю.Філімонов, В.Г.Янков, О.О.Кот, А.І.Кузнецов, В.С.Міклевський, В.М.Горлатих, В.О.Оришичев, Г.Ф.Гноєвий, Л.Р.Шаргородська). За допомогою цих приладів під керівництвом докт. фіз.-мат. наук Є.І.Никифоровича та канд. фіз.-мат. наук О.Г.Костіна було проведено лабораторні та натурні дослідження гідротермодинаміки тонкої поверхневої плівки (скін-шару) на межі розділу вода–повітря, а під керівництвом канд. техн. наук М.В.Малюка та М.П.Динника – лабораторні та натурні дослідження турбулентних течій.

З використанням ИКР-1, ТПВ-1 і модернізованого літакового двоканального тепловізора «Вулкан», встановлених на літаках типу Ан-2, Іл-14 і Ан-30, виконано зйомки теплових карт різних полігонів (В.Ю.Філімонов, О.О.Кот). Так, разом з канд. фіз.-мат. наук О.Г.Костіним було відзнято водойму охолоджувача Чорнобильської АЕС. Разом з канд. фіз.-мат. наук В.П.Каяном і представниками Відділення географії НАН України проведено об'ємні роботи зі складання теплової карти України; з представником Інституту ботаніки НАН України канд. фіз.-мат. наук В.Г.Каневським – зйомки контрольних полігонів сільського господарства. Результати цих робіт використано при розробці методик розрахунку теплових режимів ставків-охолоджувачів ТЕЦ та АЕС, для екологічного моніторингу районів України та розробки методик визначення врожайності сільськогосподарських культур.

Для забезпечення лабораторних досліджень гідротермодинамічних проявів у стратифікованих середовищах було створено малий стратифікований басейн. У ньому передбачалися створення температурної та густинної (сольової) стратифікації, реєстрація стратифікації за допомогою зондувальних пристроїв, контроль параметрів полів температу-

¹Всі аббревіатури для зразків апаратури, створених до серпня 1991 року, відповідають російськомовним варіантам їхніх назв

ри, електричної провідності, тиску, концентрації кисню та оптичних неоднорідностей, збудження поверхневих і внутрішніх хвиль за допомогою спеціальних генераторів. Була створена система візуалізації за допомогою реєстраційного тіньового приладу типу ІАБ-452 з виведенням інформації на кольоровий монітор (розробники В.В.Олексюк, А.І.Кузнецов, Ю.В.Мякшин, В.О.Холченков).

Спільно із канд. фіз.-мат. наук О.Д.Нікішовою виготовлено пристрої для створення безперервно стратифікованого потоку води, пристрої для моделювання турбулентних перемішаних областей у ламінарному потоці стійко стратифікованої рідини, пристрої для створення багатошарового стратифікованого потоку води (розробник В.В.Олексюк). Спільно з докт. фіз.-мат. наук В.І.Нікішовим і докт. фіз.-мат. наук О.Г.Стеценком виготовлено пристрої для створення рідинної стратифікації в експериментальному лотку (розробник В.В.Олексюк). Всі пристрої захищено авторськими свідоцтвами.

Для забезпечення досліджень внутрішніх хвиль різного походження, особливостей їх взаємодії між собою та вивчення їхніх просторових і часових характеристик великий дослідний басейн інституту було обладнано системою стаціонарно встановлених і багаторівневих буксируваних датчиків температури, приладами генерації внутрішніх хвиль, зондуючими пристроями реєстрації розподілу температури з глибиною, хвилемірами, пристроями перетворення та реєстрації інформації (розробники В.Ю.Філімонов, О.О.Кот, В.І.Акаловський, В.О.Оришичев). Створені пристрої мали унікальні з погляду стабільності та роздільної здатності характеристики, наприклад, $0,001^{\circ}\text{C}$ при контактному вимірюванні температур і $0,01^{\circ}\text{C}$ при дистанційному; амплітуда хвилювання фіксувалася з точністю до $0,1\text{ мм}$. Під керівництвом докт. фіз.-мат. наук В.С.Мадерица, докт. фіз.-мат. наук В.І.Нікішова, докт. фіз.-мат. наук О.Г.Стеценка, канд. техн. наук В.Ю.Філімонова в басейні проведено цикл досліджень, які уточнили і експериментально підтвердили ряд фундаментальних теоретичних уявлень у галузі гідромеханіки. Багато з цих досліджень було здійснено вперше у світі.

В інтересах відділу течій із вільними межами (зав. лаб. канд. техн. наук В.Г.Белінський) створено систему керування пересувним візком швидкісного лотка (розробник зав. сект. Б.С.Конс).

Для забезпечення досліджень характеристик примезового шару в інтересах відділу гідробіоніки та керування примезовим шаром (докт. техн. наук Л. Ф. Козлов, канд. фіз.-мат. наук В.В.Бабенко, канд. фіз.-мат. наук Г.О.Воропаєв) розроблено та створено лазерний доплерівський вимірювач швидкості (розробники канд. фіз.-мат. наук В. П. Іванов, пров. інж. В.О.Блохін).

В інтересах того ж відділу (зав. лаб., канд. техн. наук А.І.Циганюк, ст. наук співробітник, канд. техн. наук В.П.Каян) створено пристрої керування плавцевими рушіями (розробники зав. відд., канд. техн. наук В.Ю.Філімонов, зав. сект. О.О.Кот, пров. інж. В.І.Акаловський).

Для візуалізації гідротермодинамічних процесів розроблено пристрій оперативної візуалізації інформації з записом на магнітну стрічку та з відображенням інформації на екрані дисплея. Отримано авторське свідоцтво (розробники В.В.Олексюк, Ю.М.Піскун, О.Д.Федоровський, В.Ю.Філімонов).

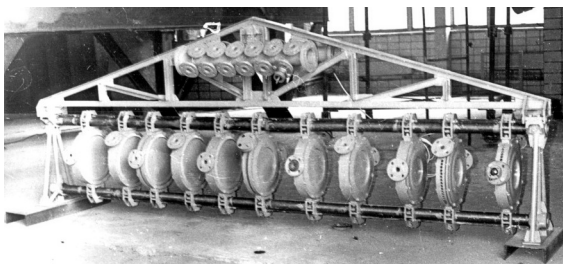
Для забезпечення мікроструктурних досліджень за тематикою відділу фізичної гідромеханіки (зав. лаб., докт. фіз.-мат. наук В.С.Мадерич) створено стенд електропровідності, який дозволив автоматизувати процес тарування датчиків електричної провідності з унікальною роздільною здатністю та обробку інформації (гол. конструктор, канд. фіз.-мат. наук С.І.Константинов, зав. відд., канд. техн. наук В.Ю.Філімонов, зав. сектору О.О.Кот, пров. інж. В.С.Міклевський, зав. відд. С.С.Тонкаль, зав. сект. С.М.Форостовець і О.С.Фомін).

Для градування первинних перетворювачів температури у відділі метрології та стандартизації (зав. відд., канд. техн. наук Ю.В.Мякшин, провідні спеціалісти С.Д.Зенькович і Т.А.Цхведіані) розроблено спеціалізований стенд з можливістю градування в широкому діапазоні температур. До його складу входять пристрої реєстрації параметрів впливу, пристрої підтримки заданої температури в діапазоні від -10°C до $+50^{\circ}\text{C}$, багатоканальні вимірювальні підсилювачі постійного струму, пристрої реєстрації та обробки.

На замовлення Московського державного університету створено унікальний пристрій реєстрації біопотенціалів (розробник В.С.Міклевський).

Для автоматизації експериментальних досліджень на базі Морського гідрофізичного інституту НАН України (селище Кацевелі) розроблено систему прийому, передачі та обробки інформації (розробники гол. констр. Ю.М.Пісун, зав. відд., канд. техн. наук К.Г.Борисов, зав. сект. В.Г.Янков, пров. інж. А.І.Кузнецов і Г.Ф.Гноєвий).

Було створено автоматизовану систему дослідження коливань пружних волокон у потоках рідини (розробники зав. відд., канд. техн. наук М.В.Канарський, зав. сектора Г.Л.Якубовський, пров. інж. В.В.Лаврик, зав. відд., канд. техн. наук С.С.Тонкаль, зав. сект. С.М.Форостовець і О.С.Фомін).



Низькочастотна багатоелементна випромінювальна акустична антена

Під керівництвом зав. відділу гідродинамічної акустики, докт. фіз. наук В.Т.Грінченка для дослідження гідроакустичних характеристик морських акваторій були створені низькочастотний акустичний випромінювач і акустична антенна система (розробники зав. відд., канд. техн. наук О.Н.Бабій, зав. сект., канд. техн. наук О.А.Шкіль, пров. інж. І.В.Сенченко та О. М. Дігун, ст. інж. І.Я.Чередниченко та В.С.Волошин, зав. сект. В.І.Кіреєв та І.А.Кусмарцев).

На замовлення лабораторії гідродинаміки гідрофізичних систем інституту (зав. лаб. канд. техн. наук В.Г.Белінський) для проведення досліджень гідрофізичних полів океану з використанням великого комплексу гідрофізичних приладів, у тому числі, розроблених СКТБ, було створено малогабаритний керований буксируваний пристрій (МУБУ).

Для забезпечення можливості руху в товщі океану вздовж різних спеціальних траєкторій було також розроблено і створено систему автоматичного керування (САУ). Світлини

підводного апарату МУБУ розміщено в розділі, присвяченому швидкісному гідродинамічному басейну інституту.

МУБУ являє собою буксирований на кабель-тросі моноплан з верхньорозташованим поворотним крилом. У двох носових відсіках фюзеляжу розміщується гідрофізична апаратура, у двох центральних і хвостовому – механізм керування. Крило та хвостове оперення оснащені елеронами та кермами глибини відповідно. Натурні випробування МУБУ пройшли успішно, а його створення розширило можливості експериментального дослідження Світового океану (розробники гол. констр. канд. техн. наук К.Г.Борисов, зав. відд. В.Ю.Філімонов, зав. сект. В.О.Оришичев, пров. інж.и С.І.Фурманов, Б.С.Конс, ст. технік Л.І.Почовний, зав. сект. Кияниця, пров. інж. В.С.Міклевський, В.І.Акаловський, Г.Ф.Гноєвий, інженери С. П. Набойченко, Н.Н.Іванова, Л.І.Устенко, старший технік С.І.Кондзельська, технік С.Р.Смирнова). Кураторами цієї роботи від інституту учасниками натурних випробувань були зав. лаб., канд. техн. наук В.Г.Белінський та канд. техн. наук П.Й.Зінчук і В.В.Мороз.

Представником наступного покоління створених в СКТБ буксируваних систем став вимірювач гідрофізичних полів ИГФП-1, який забезпечує широкий спектр вимірювань гідрофізичних параметрів (розробники гол. констр. канд. фіз.-мат. наук С.І.Константинов, відповідальний виконавець, зав. відділу, канд. техн. наук В.Ю.Філімонов, виконавці В.О.Оришичев, О.О.Кот, В.І.Акаловський, В.С.Міклевський, С.В.Петухов, Г.Ф.Гноєвий, В.Г.Янков).



Буксирований вимірювач гідрофізичних полів ИГФП-1 на транспортувальному візку

Курирували роботу від інституту докт. фіз.-мат. наук В.С.Мадерич, докт. фіз.-мат. наук Є.І.Никифорович, канд. техн. наук М.П.Динник. ИГФП-1 складається з буксируваного носія гідрофізичної апаратури (БНГА) з розміщеними на ньому гідрофізичними датчиками та блоками з електронною апаратурою, спуско-підйомного пристрою (СПУ), гідрологічної лебідки та бортової електронної апаратури. Спуск БНГА на воду та підйом його на борт судна здійснюється за рахунок тягового зусилля гідрологічної лебідки за допомогою спуску підйомного пристрою. СПУ являє собою пристрій, змонтований на фундаментній рамі на кормі судна. Він складається з переобладнаного транспортно-технологічного візка, встановленого на підйомній платформі, шарнірно закріпленій відносно опорної балки. Бальність моря при постановці-вибиранні буксированої системи становить до чотирьох балів. Система керування БНГА забезпечує такі режими руху: автоматичне сканування у вертикальній площині між горизонтами; сканування у вертикальній площині при ручному керуванні; автоматичне відстеження заданого горизонту. За допомогою електронної апаратури комплексу вирішуються задачі підтримки та

контролю заданого режиму руху БНГА, отримання інформації про просторовий розподіл гідрологічних полів морського середовища, передачі цієї інформації по лінії зв'язку, обробка гідрологічних параметрів за допомогою ЕОМ і запис інформації на НМЛ та аналогові самописці. Комплекс забезпечував вимірювання середніх і пульсаційних значень температури, електричної провідності, швидкості, тиску, концентрації розчиненого у воді кисню й вуглекислого газу, рН середовища.

До середини 1980-их рр. інститут очолив ряд пріоритетних напрямів фундаментальних і прикладних досліджень, ставши головною організацією у виконанні ряду державних замовлень СРСР. До роботи були залучені провідні організації Києва, Донецька, Львова, Одеси, Севастополя, Москви, Ленінграда тощо. СКТБ інституту стало головним співвиконавцем з технічного забезпечення цих робіт, створення експериментальних комплексів і проведення досліджень.

Було організовано науково-технічні напрями для реалізації поставлених завдань. У рамках першого з них працювали відповідальний виконавець від інституту, канд. техн. наук А.І.Циганюк, гол. констр., канд. техн. наук Ю.М.Піскун, відповідальний виконавець від СКТБ, зав. відд., канд. техн. наук М.В.Канарський. За другий напрям відповідали відповідальний виконавець від інституту, канд. техн. наук В.П.Каян, гол. констр., канд. фіз.-мат. наук С.І.Константинов, відповідальний виконавець від СКТБ, зав. відд., канд. техн. наук В.Ю.Філімонов.

В результаті цих робіт були створені багатоканальні вимірювальні комплекси. Один із них включав ультразвукову, гідрооптичну та гідрологічну апаратуру (зав. відд., канд. техн. наук М.В.Канарський, зав. сект., канд. фіз.-мат. наук С.А.Матвієвський, зав. сект. Г.Л.Якубовський). Другий комплекс, на додачу, містив інфрачервону апаратуру, багаторівневу систему гідрофізичних датчиків і апаратуру для мікроструктурного зондування (зав. відд., канд. техн. наук В.Ю.Філімонов, зав. сект. О.О.Кот і В.Г.Янков).

Усі канали комплексів містили автоматизовані системи обробки наукової інформації (АСНІ), які дозволяли проводити обробку інформації в режимі реального часу з виведенням на дисплей та зберігання на відповідних носіях (розробники зав. відд., канд. техн. наук С.С.Тонкаль, зав. сект. С.М.Форостовець та О.С.Фомін, пров. інж. В.Д.Селезньов, М.М.Кравчук, С.Ф.Старостін).

До одного з комплексів входив інфрачервоний канал, який складався зі скануючого інфрачервоного радіометра та апаратури контролю температури води й повітря, зовнішнього опромінення та вологості повітря. Канал дозволяв отримувати інформацію про радіаційну температуру та умови формування скін-шару. При цьому враховувався вплив завад і велись обробка інформації в режимі реального часу, її відображення та збереження.

Для налаштування каналу та перевірки основних метрологічних характеристик було створено перевірочний інфрачервоний стенд, який дозволяв підтримувати з високою точністю температуру двох абсолютно чорних тіл. Значення їхніх температур контролювались з роздільною здатністю $0,001^{\circ}\text{C}$ (розробники зав. відділу, канд. техн. наук В.Ю.Філімонов, зав. сектору О.О.Кот, пров. інж. В.С.Міклевський, В.М.Горлатих, Г.Ф.Гноєвий).

Задля вивчення вертикального розподілу гідрофізичних параметрів був створений

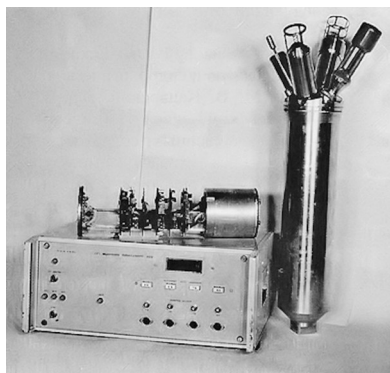
канал мікроструктурного зондування (СТД-зонд), який забезпечував у режимі реального часу контроль за зміною параметрів, корекцію динамічних похибок, розрахунок солоності та густини води за вимірюваннями температури, електричної провідності й гідростатичного тиску (гол. констр., канд. фіз.-мат. наук С.І.Константинов, зав. відд., канд. техн. наук В.Ю.Філімонов, зав. відд., канд. тех. наук С.С.Тонкаль, В.Г.Янков, пров. інж. А.І.Кузнецов, В.С.Міклевський, зав. сект. С.М.Форостовець, зав. сект. О.С.Фомін, пров. інж. М.М.Кравчук, В.Д.Селезньов, С.Ф.Старостін).

У період з 1983 по 1991 рік за допомогою апаратури окремих каналів і багатоканальних комплексів в цілому, встановлених на науково-дослідних, випробувальних і гідрографічних суднах, були проведені дослідження акваторій Атлантичного й Північного Льодовитого океанів. Їхні результати ввійшли до численних звітів про науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи інституту та СКТБ та отримали високу оцінку державних організацій-замовників НДР.

Істотним досягненням СКТБ стало створення автоматизованої системи наукових досліджень (АСНИ), яка дозволила автоматизувати практично всі експериментальні дослідження, які проводились у різних відділах інституту. Вона забезпечила розрахунок у реальному масштабі часу фізичних характеристик води за виміряними температурними та електрохімічними параметрами, побудову для будь-якого моменту часу вертикального розрізу та ізоліній кожного з виміряних або розрахованих параметрів. Це уможливило багаторазове й багатостороннє використання програмного забезпечення та наочне представлення отриманих результатів (розробники гол. констр., канд. техн. наук Ю.М.Пісун, гол. констр., канд. фіз.-мат. наук С.І.Константинов і колективи відділів під керуванням канд. техн. наук С.С.Тонкаля і канд. техн. наук О.Н.Бабія).

У 1989–1991 рр. у СКТБ було проведено комплексну роботу з проектування автоматизованої системи контролю за експериментальною морською льодостійкою стаціонарною платформою для Пільтун-Астохського газоконденсатного родовища на о. Сахалін (розробники гол. констр. проекту А.Ч.Івановський, зав. відд., канд.фіз.-мат. наук С.І.Константинов, зав. сект. О.О.Кот, зав. сект. С.А.Матвієвський, пров. інж. Кияниця, В.В.Олексюк, І.Д.Бачинський, Б.О.Свердлов). Був розроблений комплекс вимірювальної апаратури для контролю стану ґрунтів основи з використанням систем датчиків порового та контактного тисків, реєстраторів сейсмічних впливів, нахилу платформи, цілісності елементів конструкції, швидкості течій та вітру, товщини льоду, температури води й повітря, параметрів хвилювання.

Надалі в СКТБ було створено систему контролю гідрофізичних параметрів на основі датчиків тиску (зав. відд. Б.С.Конс), які знайшли широке застосування в службах Київводоканалу. Окрім того, розроблялися системи біологічної очистки води (зав. відд., канд. фіз.-мат. наук С.І.Константинов), автоматизовані системи обліку нафтопродуктів (зав.



Загальний вигляд СТД-зонда

відд., канд. техн. наук С.С.Тонкаль).

У відділі канд. техн. наук В.Ю.Філімонова були розроблені пристрої для контролю витрати повітря й природного газу (виконавець В.І.Акаловський), пристрої для оперативного визначення концентрації метану (виконавці О.О.Кот, В.М.Горлатих), система пожежного оповіщення на основі датчиків окису вуглецю (виконавці О.О.Кот, В.М.Горлатих), електромікроманометр (виконавці В.С.Міклевський, В.М.Прохоров), пристрої контролю якості води (виконавці В.П.Парій, В.В.Меленевський), система автоматичного регулювання співвісності опор потужних електроприводів (виконавці Кияниця, В.І.Акаловський), система безперебійного енергозабезпечення на базі дизель-генератора (виконавці О.О.Кот, А.І.Кузнецов, Г.Ф.Гноєвий). У відділі було створено комп'ютеризований комплекс для розведення та виготовлення друкованих плат на базі пристрою АDМАР (виконавці С.В.Петухов, В.І.Акаловський, В.С.Міклевський, Г.Ф.Гноєвий), який забезпечував усі пов'язані з цим процесом роботи відділу, включаючи роботи за договорами зі сторонніми організаціями: розведення спеціалізованих плат для НВО «САТУРН», друкованих плат портативної радіостанції для НВП «АВІАРМ» тощо.

За договором з Центром аерокосмічних досліджень Землі НАН України у відділі був розроблений тепловізор для малих літальних апаратів (виконавці О.О.Кот, В.М.Горлатих, В.С.Міклевський, Г.Ф.Гноєвий). У відділі В.Г.Янкова було розроблено апаратуру документування даних з урахуванням витрати рідкого мулу в технологічному процесі очищення води з використанням ультразвукового накладного витратоміра (виконавці А.І.Кузнецов, В.В.Лаврик).

Серйозну увагу в СКТБ приділено розробці ультразвукової апаратури. Під науковим керівництвом академіка НАН України В.Т.Грінченка у відділі канд. техн. наук В.Ю.Філімонова було створено прилади для визначення рівня, концентрації та витрати в рідких середовищах. Зокрема, розроблено й виготовлено зразки приладів для визначення вмісту зважених речовин, вологості осаду, густини та витрати рідини, велись роботи зі створення сучасних накладних ультразвукових рівномірів і витратомірів. Виготовлені прилади знайшли практичне застосування в ГКП «Київводоканал».

У створених приладах використовується принцип вимірювання швидкості поширення акустичного коливання та його амплітуди при проходженні контрольованої ділянки середовища. Результати вимірювань, отримані первинними п'єзокерамічними перетворювачами інформації, обробляються за допомогою мікроконтролерного пристрою й відображаються у вигляді поточних значень контрольованих параметрів на цифровому рідкокристалічному індикаторі. Передбачено світлову та звукову сигналізацію про досягнення заданого значення контрольованого параметра й підключення виконавчого регулювального пристрою для роботи в системі автоматичного регулювання, є стандартний струмовий вихід. Прилади сумісні з сучасними комп'ютерами.

Індикатор густини рідини призначено для визначення густини нерухомих рідин і рідин, які течуть по трубопровідних системах. У приладі використовується комбінований метод відносного відбиття акустичної імпедансометрії та враховується вплив температури середовища.

Ультразвуковий накладний витратомір УЗРН-ИМ, призначений для вимірювання

об'ємної витрати та обсягу рухомих рідких середовищ, у тому числі, пульпи й мулових сумішей, в напірних трубопроводах. Принцип дії заснований на використанні різниці часу проходження ультразвукових імпульсів між випромінювачем і приймачем у напрямі потоку контрольованої рідини та проти нього.

У відділі було створено інфрачервоні прилади для контролю таких параметрів середовищ як мутність (прозорість), рівень і порційна витрата. В подальшому до жовтня 2010 року у відділі №2 СКТБ Інституту гідромеханіки НАН України (зав. відд., канд. техн. наук В.Ю.Філімонов) виконувалась розробка та створення приладів, обладнання та систем на сучасному рівні з використанням мікропроцесорної техніки та виведенням інформації на персональний комп'ютер. Забезпечується відображення інформації на світлових індикаторах, збереження інформації в цифровому вигляді, відображення інформації на моніторі комп'ютера та обробка інформації за допомогою сучасного програмного забезпечення. За результатами роботи отримані патенти України. Розроблено інфрачервоний сторож для зачинених об'єктів. У приладах використовується як прохідний, так і відбитий сигнал.

Створені в СКТБ прилади, обладнання та системи

За договором з Північним гірничозбагачувальним комбінатом, м. Кривий Ріг, створено систему контролю тиску СКД-12, призначену для контролю поточного значення тиску в 12 пульповодах пульпонасосної станції ПНС-1 з архівуванням значень тиску, сигналізацією про аварійну ситуацію та відображенням інформації на екрані монітора та на принтері.

За договором з Бортницькою станцією аерації створено муломір ИМ-3, призначений для знаходження глибини заданого рівня концентрації мулу у відстійниках очисних споруд та ультразвуковий рівнемір УР-40-15 для вимірювання рівня рідких і сипучих продуктів у відкритих і закритих резервуарах.



Муломір ИМ-3 (зліва) та ультразвуковий рівнемір УР-40-15 (справа)

Для забезпечення експериментальних досліджень Інституту гідромеханіки НАН України було створено систему реєстрації поверхневого хвилювання СРПХ, систему з дослідження ґрунту на зсув методом кручення СДГСМК, реєстратор швидкості течії рідини РШТР-8, систему оптичної локації донних поверхневих нерівностей СОЛДПН-1, пульт керування швидкістю візка СКШВ, реєстратор обертів мікровертушок і швидкості течії РОМШТ.

Докладний опис та світлини системи реєстрації поверхневого хвилювання СРПХ і системи з дослідження ґрунту на зсув методом кручення СДГСМК дано в розділі, присвяченому відділу вихрових рухів.

Для вимірювання швидкості потоку рідини приладом РШТР-8 застосовано термоанемометричний спосіб вимірювання, при якому реєструються зміна опору датчика, падіння напруги або протікання струму через первинний перетворювач. У якості перетворювача використовується нагрітий платиновий резистивний датчик, розміщений у потоці рідини. У процесі обтікання змінюється температура датчика, а отже, опір. Діапазон реєстрації швидкості потоку – (1 ... 30) см/с, кількість каналів – вісім. Збереження інформації та її відображення на екрані персонального комп'ютера здійснюється за допомогою програми *Speed*.



*Пульт керування швидкістю візка
СКШВ*

страцію висот поверхневих неоднорідностей від 0 до 10^3 мм з роздільною здатністю за висотою (0,02 ... 2) мм і просторовими розмірами від 2 мм.

Пульт керування швидкістю візка СКШВ забезпечує задання, керування і реєстрацію параметрів руху візка дослідного басейну з відображенням на дисплеї пульта і моніторі персонального комп'ютера. На дисплеї пульта у верхньому рядку відображається задана швидкість, а також поточне й середнє значення швидкості візка (см/с). У нижньому рядку відображається пройдена візком дистанція. Лампочка АВАРІЯ сигналізує про перевищення швидкістю руху візка значення 500 см/с і відключення гідроприводу.



*Реєстратор обертів мікровертушок
і швидкості течії РОМШТ*

Метод оптичної локації поверхневих неоднорідностей ґрунтується на вимірюванні інтенсивності оптичного випромінювання, відбитого від межі розділу вода–пісок. При цьому здійснюється підсвічування досліджуваної ділянки поверхні в інфрачервоній області спектра випромінювання за допомогою спеціальної системи з чотирьох світлодіодів. Відбите від донної поверхні випромінювання сприймається фотоприймальним пристроєм, який перетворює оптичний сигнал на електричний. Створена на базі цього принципу система СОЛДПН-1 забезпечує реє-

страцію висот поверхневих неоднорідностей від 0 до 10^3 мм з роздільною здатністю за висотою (0,02 ... 2) мм і просторовими розмірами від 2 мм.

Пульт керування швидкістю візка СКШВ забезпечує задання, керування і реєстрацію параметрів руху візка дослідного басейну з відображенням на дисплеї пульта і моніторі персонального комп'ютера. На дисплеї пульта у верхньому рядку відображається задана швидкість, а також поточне й середнє значення швидкості візка (см/с). У нижньому рядку відображається пройдена візком дистанція. Лампочка АВАРІЯ сигналізує про перевищення швидкістю руху візка значення 500 см/с і відключення гідроприводу.

РОМШТ – це малогабаритний переносний прилад з автономним живленням від шести батарей типу АА. Прилад реєструє обороти спеціальних гідрометричних мікровертушок типу Х-6-65 й дає змогу перерахунку їх на величину швидкості течії води. Автоматично контролюється справність елементів рідкокристалічного індикатора та рівня напруги живлення. При розрядженні батарей нижче заданого рівня на індикаторі висвічується напис LOW BAT.

Розробка науково-обґрунтованих рекомендацій, технічних і прикладних рішень

Цей напрямок робіт структурно підрозділяється на дослідження в галузі берегової гідротехніки, дослідження з оцінки водних ресурсів і дослідження в області меліорації та техногенного впливу на водне середовище. Науковими керівниками цих напрямів є чл.-кор. НАН України О.Я.Олійник та докт. техн. наук М.Г.Пивовар.

Берегова гідротехніка

Ці роботи виконувались у тісній співпраці з інститутом під керівництвом канд. техн. наук В.В.Хомицького. На СКТБ покладалися роботи з експериментальних досліджень і натурного моделювання гідродинамічних процесів у береговій зоні морів і водосховищ, дослідження гідрогенного переміщення наносів, динаміки та морфології берегової зони, взаємодії хвиль з різними гідротехнічними спорудами.

Основні роботи виконувались на експериментальному полігоні в с. Кийлів Київської області. У різні роки дослідження проводилися під керівництвом зав. відділом СКТБ канд. техн. наук О.С.Смирнова, канд. техн. наук Ю.Д.Власенка та канд. техн. наук О.М.Сокольников. Приладове забезпечення та оснащення цих робіт здійснював сектор під керівництвом О.І.Ягодзинського.

Отримані результати знайшли практичне застосування:

- при будівництві гідротехнічних споруд і водосховищ на річках Дніпро і Дунай з метою їх комплексного використання в плані гідроенергетики, меліорації, водоспоживання;
- при обґрунтуванні будівництва меліоративних систем у південних областях України (Каховська зрошувальна система, Північнокримський канал);
- при будівництві захисних споруд і хвостосховищ на Криворізькому гірничозбагачувальному комбінаті;
- при вирішенні завдань захисту територій від підтоплення та затоплення (каскад водосховищ на річці Дніпро).

Технології згущення пульпи і зведення загороджувальних споруд хвостосховищ гірничозбагачувальних комбінатів

У співтоваристві з лабораторією магістрального гідротранспорту інституту (керівник робіт канд. техн. наук Ю.К.Вітошкін), відділом експериментальної гідротехніки (зав. відд., канд. техн. наук О.С.Смирнов) виконувались дослідження згущення хвостової пульпи на Азербайджанському, Коджаранському і Костомукшському гірничозбагачувальних комбінатах. Під керівництвом канд. техн. наук О.С.Смирнова досліджувалась технологія намивання дамби, що обгороджує хвостосховище Північного гірничозбагачувального комбінату.

Оцінка водних ресурсів

У СКТБ були виконані значні роботи з оцінки ресурсів підземних вод задля їх раціонального використання, в першу чергу, для питного водопостачання великих міст. Зокрема, на замовлення Держкомітету геології та використання надр України було виконано комплекс робіт і досліджень щодо оцінки експлуатаційних запасів підземних вод методами математичного моделювання ряду водозаборів для водопостачання м. Львова (відп. виконавець, зав. відділом, канд. техн. наук С.В.Телима). Виконано роботи з аналізу умов формування водних ресурсів на території Прикарпаття та Волинсько-Подільського артезіанського басейну з метою вибору типових ділянок для створення водозаборів підземних вод. Окрім того, СКТБ як співвиконавець брало участь у комплексних дослідженнях, проведених ДГП «Західукргеологія» щодо оцінки впливу великих водозаборів підземних вод на екологічний стан прилеглих територій в областях Західного регіону України.

Паралельно цими роботами проводилися дослідження з удосконалення методів математичного моделювання прямих і обернених задач геофільтрації та масопереносу, розробки нового програмного забезпечення, чисельних методів та ефективного використання обчислювальної техніки для розв'язання вказаного класу завдань. Отримані результати увійшли до відповідних звітів СКТБ, методичні рекомендації та наукові статті (відповідальні розробитники канд. техн. наук С.В.Телима і пров. констр. В.О.Леонтьєв).

Меліорація та технічний вплив на водне середовище

Спільно з відділом прикладної гідродинаміки інституту (зав. відд., чл.-кор. НАН України О.Я.Олійник) проводилися роботи з оцінки параметрів насичено-ненасиченого середовища, які увійшли до проектних рішень Діпроводгоспу України з обґрунтування будівництва другої черги Каховської зрошувальної системи. Було розроблено рекомендації з оцінки гідрофізичних і гідрогелогічних параметрів водовмісних ґрунтів на зрошуваних землях Запорізької області (масив Кам'янський під та Північно-Рогащицька зрошувальна система).

Під керівництвом канд. техн. наук С.В.Телими в СКТБ було виконано науково-практичні дослідження щодо розробки ефективних методів захисту від підтоплення ґрунтовими водами окремих районів міст Харкова, Нікополя, Києва в умовах активного технічного навантаження на водне середовище. Надано відповідні рекомендації, розроблено технічні рішення, використані в практичній діяльності проектних і будівельних організацій.

До жовтня 2010 року СКТБ виконувало роботи й дослідження у рамках основних напрямків цієї діяльності. Проводились комплексні роботи з розробки науково обґрунтованих рекомендацій оцінки водного середовища активної зони водообміну при проектуванні та будівництві очисних споруд, дослідження з оцінки водних ресурсів методами математичного моделювання за методикою прогнозування процесів підтоплення і затоплення територій ґрунтовими водами. Було завершено багаторічні дослідження за Державною науковою програмою «Екологічна безпека України» (тема «Прогнозуван-

ня підтоплюваності територій ТЕЦ і АЕС ґрунтовими водами в складних природних і технічних умовах», відповідальний виконавець канд. техн. наук С.В.Телима).

Публікаційна діяльність і захисти дисертаційних робіт

Колектив СКТБ спільно з інститутом брав участь у створенні багатьох нормативних документів, методичних рекомендацій і монографій, таких як «Методичні рекомендації щодо розрахунків захисту територій від підтоплення в зоні зрошення (Київ, 1986 рік). Окрім того, матеріали робіт СКТБ використано в монографіях В.В.Хомицького «Природоохоронні аспекти берегової гідротехніки» (Київ, 1983 рік), О.Д.Федоровського «Оптичні методи в гідромеханіці» (Київ, 1984 рік) та колективній монографії «Дренаж з волокнистими фільтрами для захисту територій від підтоплення (М.Г.Пивовар та ін.), Київ, 2000 рік). Опубліковано понад двісті друкованих праць у різних наукових журналах і збірниках, отримано понад два десятки авторських свідоцтв.

За результатами виконаних робіт захистили дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук співробітники СКТБ М.М.Білокриницький, В.А.Воскобійник, М.В.Канарський, Ю.В.Мякшин, В.В.Олексюк, Ю.М.Піскун, І.В.Сенченко, В.Ю.Філімонов, О.А.Шкіль.

ПЕРСОНАЛЬНИЙ ПОКАЖЧИК

- Абрамова Л.П., 102, 106, 124, 125
Авраменко О.В., 127
Авраменко П.Г., 115–117, 122, 128,
260, 261, 265–267
Адамов О.І., 115, 121, 122, 287
Акаловський В.І., 289, 291, 294
Ареф Х., 56
Аріс М., 32
Артем'єв О.М., 153–155
Артемюк В.Т., 288
Асауленко І.О., 12, 88, 89, 92
Бабенко В.В., 17, 32, 33, 38, 40, 41,
43–45, 47–51, 169, 170, 262,
289
Бабій О.Н., 287, 290, 293
Базилевич В.О., 14, 82, 83
Барбер Дж.Р., 56
Басанець А.В., 153
Баскова О.О., 34, 37, 38
Басовський В.Г., 22–24, 137, 138, 141,
146, 149, 150, 152, 153, 158,
159
Бачинський І.Д., 293
Безверхий О.І., 115
Белінг Д.Є., 4
Белінський В.Г., 32, 41, 46, 50, 260, 261,
273, 275, 277–279, 281,
289–291
Берг Е.О., 84
Берман В.П., 14, 88–91
Бідяєв В.О., 103
Білеуш А.І., 85
Білокриницький М.М., 215, 226, 287,
299
Біляшевський М.М., 14, 15, 77, 191
Бісовецький Б.П., 288
Блохін В.О., 31, 40, 43, 50, 288, 289
Бобоев Л.Г., 92
Богданов В.Л., 30
Бойко В.В., 234–238, 240–244, 251,
253, 254
Бойко В.В. (мол.), 240
Бондар В.В., 102, 106, 109, 118
Борисов К.Г., 287, 290, 291
Борисюк А.О., 137, 140, 141, 159
Бруяцький Є.В., 176, 177
Бугай М.Г., 77–80, 86
Будній О.А., 82
Буйвол В.М., 16, 215, 217
Бурик М.В., 287
Виноградний Г.П., 22, 23, 121–124,
140, 153–155
Виноградський П.М., 178
Вишневський П.Ф., 14
Вітошкін Ю.К., 88, 89, 92, 297
Власенко Ю.Д., 16, 17, 214–219, 223,
226, 228, 286, 287, 297
Вовк В.М., 110, 117

- Вовк І.В., 22–24, 137, 140, 143, 145,
146, 148–150, 153, 154, 156,
158, 159
- Вовк О.І., 158, 159
- Вовк О.О., 234, 236, 238, 244, 253
- Войтенко В.І., 88, 92
- Волинський Р.І., 23, 104, 105
- Волошин В.С., 290
- Волощук В.А., 178, 182
- Ворович І.І., 55
- Воропаєв Г.О., 17, 24, 25, 30, 32, 34, 36,
38, 44, 45, 49–51, 263, 289
- Воскобійник А.В., 41, 44, 106, 114, 115,
119, 120, 124–126
- Воскобійник В.А., 22, 44, 100, 102, 106,
111, 113–115, 117, 119–128,
205, 288, 299
- Воскобойник О.А., 44, 102, 106, 111,
114, 115, 119, 120, 122,
124–128
- Гаєв Є.О., 214, 215, 224, 227
- Гаєвський О.І., 287
- Гайдученко В.І., 82
- Галактіонов О.С., 24, 59, 63, 64
- Ган О.В., 244
- Гетьман О.М., 59
- Глушко В.М., 50, 170, 171
- Глушков В.М., 31
- Глєбова Л.П., 153
- Гнітецький М.О., 31, 40, 42, 138
- Гноевий Г.Ф., 288, 290–292, 294
- Гомілко О.М., 146–148, 151
- Гончаренко Т.Б., 102, 106, 109
- Горбань В.О., 25, 113–117, 122, 266, 267
- Горбань І.М., 25, 102, 110, 111, 113,
114, 116, 117, 126, 141
- Горбатенко Є.Г., 106, 118
- Горлатих В.М., 288, 292, 294
- Городецька Н.С., 135–138, 147, 151,
152
- Горський Ю.Д., 59
- Грінченко В.Т., 20–24, 29, 55, 56, 62,
115, 121, 123, 124, 135, 137,
138, 140–158, 234, 290, 294
- Грінько С.М., 82
- Грибовська Н.К., 82, 86
- Гуржій О.А., 24, 59, 62, 63, 178
- Двойченко П.А., 4
- Дворянська О.М., 34
- Дейнека В.І., 82, 84
- Дейнекін Ю.П., 215, 219, 228
- Дем'яновська Т.П., 86
- Деркач М.І., 63
- Дзевалтовський О.В., 82
- Димитрієва Н.Ф., 34, 37, 45
- Димінський К.В., 92, 95, 287
- Динник М.П., 89, 288, 291
- Дідковський М.М., 11, 12, 15
- Добронравов О.О., 198
- Довгий С.О., 41, 51, 165–167, 169
- Доліна Н.В., 82, 86
- Дрозд Н.І., 14
- Дятел О.О., 206
- Дятловицький Л.І., 15, 100
- Єрмакова О.В., 153
- Єрмоєнко Е.В., 82
- Єфремов І.І., 215
- Єфремова Н.С., 110
- Железняк Й.А., 14, 15
- Железняк М.Й., 23, 105
- Жовтоног Н.І., 198
- Жукова Н.І., 243
- Завальний В.С., 116
- Загуменний Я.В., 24, 34, 36–39, 46
- Зарембо Л.К., 55
- Засс В.М., 5, 259
- Зверховський О.М., 215, 219
- Згуровський М.З., 180
- Зенькович С.Д., 290
- Зінчук П.Й., 273, 275, 277, 279, 281,
291
- Золікова Т.О., 82
- Зробок Р.Б., 245
- Іванов В.П., 31, 32, 40, 43, 287

- Іванова Н.Н., 291
 Івановський А.Ч., 287, 293
 Іванюк В.Ф., 215
 Івченко В.М., 15
 Ільченко В.М., 59, 65
 Ісхакова Л.В., 59
 Калантиренко І.І., 14
 Калініченко В.Г., 287
 Калугін Ю.І., 192, 194, 200, 206
 Калюжний О.Я., 156
 Калюх Т.Ю., 242
 Калюх Ю.І., 115
 Канарський М.В., 32, 42, 287, 290, 292, 299
 Каневський В.Г., 288
 Карасик В.М., 14, 87–89, 92
 Каширихін Л.П., 214, 215
 Каян В.П., 17, 41, 47, 50, 170, 171, 288, 289, 292
 Кисельов С.К., 200
 Кисельов Т.П., 26, 215
 Кіреєв В.І., 287, 290
 Кияниця А.Н., 287, 291, 293, 294
 Коберник С.Г., 12, 14, 88, 92
 Коваленко А.Д., 21
 Коваль С.О., 45
 Козенко В.Ф., 214, 215, 217
 Козенко О.М., 26
 Козицький В.В., 82
 Козлов Л.П., 15, 17, 31, 32, 35, 40, 41, 43, 47, 48, 50, 51, 281
 Комісарова Г.Л., 22, 151
 Кондаков В.М., 92
 Кондзельська С.І., 291
 Коновалюк Т.П., 59, 62, 63, 70
 Конс Б.С., 50, 287, 289, 291, 293
 Константинов М.Ю., 62, 89
 Константинов С.І., 287, 290–293
 Копійка О.В., 167, 169
 Корнілов І.Є., 108
 Коробов В.І., 17, 32, 34, 40–43, 45–50, 281
 Корольов В.І., 115–117, 128, 215, 265, 267
 Корольова А.С., 110, 124–126, 268
 Костін О.Г., 176, 177, 288
 Кот О.О., 59, 288–294
 Кочін В.О., 168, 169, 263, 267, 268, 276, 278, 279, 282, 283
 Кошовий В.І., 287
 Кравченко Г.Ю., 287
 Кравченко О.М., 138
 Кравчук М.М., 292, 293
 Красний Л.Г., 156
 Краснопольська Т.С., 24, 55, 57–59, 62, 63, 71, 157
 Красовський А.В., 4
 Кремеєв В.С., 198, 200
 Кріль С.І., 14, 77, 78, 88–91
 Кривенко О.Н., 88, 92
 Кривоног В.В., 79, 80, 86
 Кривоног О.І., 77–80, 86
 Кривонос Ю.Г., 103
 Крижанівська А.Б., 14, 15
 Крижановський В.В., 138, 153, 154, 156, 158
 Криницький В.О., 214, 215
 Кудибин І.Б., 26, 205
 Кузнецов А.І., 288–290, 293, 294
 Кузьменко А.О., 234, 236, 238, 240, 241
 Кузьменко В.Г., 179
 Кулик О.І., 59, 64
 Кундієв Ю.І., 154
 Курганська С.М., 206
 Кусмарцев І.А., 287, 290
 Кучерова В.І., 287
 Кучинський М.Д., 80
 Кучма Л.Д., 234
 Лаврик В.В., 288, 290, 294
 Лаврик М.І., 286
 Лазуткін Б.А., 89
 Ланге Ю.В., 4
 Лейко О.Г., 150
 Лемешко В.А., 236, 237, 240

- Леоненко І.В., 48
 Леонович Г.В., 80
 Леонтьєв В.О., 298
 Лисяк М.П., 286
 Литвиненко О.Р., 138
 Ліпай І.Є., 14
 Ліпський Г.І., 237
 Лісющенко Т.К., 138
 Логвинович Г.В., 15–18, 32, 50, 122,
 169, 213, 216, 217
 Лойцяньський Л.Г., 32
 Лук'янов П.В. (Павло), 59, 64
 Лук'янов П.В. (Петро), 138
 Луцкевич Р.Б., 43
 Мадерич В.С., 19, 59, 63, 64, 253, 254,
 289–291
 Майданник В.Г., 153, 154
 Макаренков А.П., 22–24, 47, 114, 115,
 121–124, 137, 138, 140,
 152–157
 Макаренкова А.А., 23, 24, 137, 153,
 154, 156
 Максимчук В.Л., 14
 Малішевський М.Г., 4
 Малюга В.С., 24, 26, 59, 63, 137, 140,
 144, 159
 Малюк М.В., 14, 89, 288
 Манова З.І., 214, 215
 Марко М.Е., 215
 Марченко А.Г., 105, 106, 113, 114,
 118–120
 Марчук В.С., 287
 Масюк С.В., 102, 126, 129
 Матвієвський С.А., 287, 292, 293
 Матвієвський С.О., 122
 Махаммедо Ж.К., 102
 Маципура В.Т., 143, 156, 158
 Меламед Ю.В., 138
 Меленевський В.В., 288, 294
 Мелешко В.В., 24, 55–57, 59, 62, 63, 67,
 70, 72, 146, 147, 151, 253
 Меєр Х.І.Х., 56
 Міклевський В.С., 288, 290–294
 Можанська А.Ф., 41
 Мокеєв Ю.Г., 286
 Мокляк В.І., 14
 Момот Л.А., 43
 Монастирьов М.В., 237
 Мороз В.В., 41, 43, 46, 47, 50, 165, 168,
 169, 262, 263, 267, 268, 273,
 276, 278, 279, 281–283, 291
 Морозова Л.В., 105, 107
 Мусієнко В.П., 41, 44
 Мякшин Ю.В., 287, 289, 290, 299
 Мьялковський В.М., 5, 8
 Назаров В.О., 5, 8
 Наумова О.І., 24, 214, 215, 217, 221
 Наумовець А.Г., 180
 Незнамов В.М., 275
 Нестерук І.Г., 214, 215, 217–219, 221,
 227, 228
 Никифорович Є.І., 24, 175–178, 180,
 181, 288, 291
 Нікітін І.А., 119, 125
 Нікітін І.К., 15
 Нікішов В.І., 19, 59, 63–65, 100, 109,
 111, 113, 253, 254, 268, 289
 Нікішова О.Д., 32, 35, 36, 42, 64, 65, 289
 Нога Ю.І., 104
 Ньютон П., 56
 Огієвський А.В., 5, 7–9
 Олексюк В.В., 59, 64, 65, 110, 289, 293,
 299
 Олійник В.Н., 23, 24, 29, 137, 138,
 143–145, 148–150, 153, 155,
 156, 158
 Олійник Є.О., 206
 Олійник О.Я., 14, 18, 19, 77, 100, 191,
 192, 194, 198, 200, 204–206,
 286, 297, 298
 Оппоков Є.В., 3–7
 Оришичев В.О., 34, 275, 277, 281,
 287–289, 291
 Орлова Л.С., 92

- Оруджов В.І., огли, 26
 Осипенко С.Б., 215, 224
 Осипчук Л.М., 152
 Остистий В.В., 287
 Островерх Б.М., 23, 102, 111–113,
 118–121, 126, 137, 138, 147
 Откаленко О.О., 59, 64, 65
 Охріменко Т.А., 287
 Очеретько В.Ф., 88
 Павленко Г.Є., 12, 13, 30, 100, 259
 Панченков А.М., 15, 271
 Парамонов Ю.О., 34, 46
 Парій В.П., 287, 294
 Пархісенко В.М., 171
 Патон Б.Є., 180, 254
 Переверза К.В., 179
 Петерс Г.В.М., 56
 Петухов С.В., 291, 294
 Печук Є.Д., 59, 157
 Пивовар М.Г., 14, 77, 79, 80, 297, 299
 Писарев С., 4
 Письменний Є.М., 178
 Пишкін Б.А., 9–11, 14, 15, 23, 77, 100,
 191
 Пищенко І.О., 14
 Підгорна Г.В., 80
 Піскун Ю.М., 286–290, 292, 293, 299
 Плужник В.І., 234, 238, 244
 Позня Н.Г., 82
 Полосухіна О.В., 102, 124
 Поляков В.Л., 192, 194, 200, 206
 Попков В.І., 32, 36
 Попов В.В., 215, 287
 Потапенко Л.С., 102, 111, 112,
 119–121, 126
 Почовний Л.І., 291
 Приходько М.А., 228
 Проходько В.П., 84
 Прохоров В.М., 294
 Птуха Ю.О., 32, 36
 Путілін С.І., 214, 215, 217, 219, 221,
 223, 225, 226, 228, 275, 277
 П'ятецький В.Ю., 17, 41, 47, 50, 260,
 261
 П'ятецький І.В., 92
 Рева Т.Л., 138
 Ревякін І.П., 288
 Ремез Н.С., 234, 236, 238, 240, 253
 Рибко В.Д., 287
 Родіонов І.А., 11
 Розовський І.Л., 11, 14, 15, 77
 Розумнюк Н.В., 24, 34, 38, 44, 46
 Романенко П.Ю., 79, 86, 125
 Руденко В.М., 26
 Рудницька М.О., 157
 Рудницький О.Г., 22, 23, 137, 138, 142,
 152, 153, 156, 157
 Савицький О.А., 111, 137, 138, 147,
 148, 152
 Савченко В.Т., 223, 225, 287
 Савченко Г.Ю., 214, 215, 217, 219, 224,
 226, 227
 Савченко Ю.М., 16, 17, 51, 213, 214,
 216–219, 221, 223–228
 Салтанов М.В., 100, 115, 116, 266, 267
 Сафронова Є.І., 287
 Сахно Ю.П., 82
 Свердлов Б.О., 293
 Свиренко Д.О., 4
 Сеймов В.М., 23, 111, 147, 148
 Селезньов В.Д., 292, 293
 Селезов І.Т., 23, 100, 103–105,
 107–109, 127, 204, 253
 Селезова Л.В., 28
 Семененко В.М., 16, 17, 24, 214, 215,
 217, 219, 221, 224, 225, 227,
 228
 Семенов Ю.А., 214, 215, 221, 225, 227
 Семеняко А.В., 34
 Сенченко І.В., 146, 149, 288, 290, 299
 Серебряков В.В., 16, 168, 169
 Серов В.П., 286
 Сидорчук В.М., 14, 103
 Сидорчук М.В., 138

- Силін М.А., 11, 12, 14, 15, 87, 88, 92
 Сідько М.І., 138
 Сірий В.С., 192, 194
 Сірош О.О., 24, 34, 38, 46
 Скороход І.В., 92
 Скрипачов В., 35
 Сметанін Г.Я., 287
 Смирнов О.С., 287, 297
 Смирнова С.Р., 291
 Смыслов В.В., 11
 Соболев Т.В., 137, 138, 152
 Совенко О.К., 80
 Соколовський Г.П., 102, 110, 116, 125, 261
 Сокольников О.М., 297
 Сокольников Ю.М., 14, 118
 Сорокіна В.О., 109
 Сотченко О.М., 5, 8
 Старовойт І.В., 137, 151
 Старостін С.Ф., 292, 293
 Степова Н.Г., 200
 Стеценко О.Г., 19, 55, 57, 59, 63–65, 289
 Стовбун І.І., 92, 95
 Суздальцев О.І., 118
 Сурма М.В., 80
 Сухомел Г.Й., 7–9, 11, 77, 191, 259
 Телима С.В., 192, 194, 198, 200, 206, 287, 288, 298, 299
 Темеров А.С., 215
 Терещенко Л.М., 105, 118, 120, 124, 128, 205
 Терпугов М.В., 4, 7, 8
 Тимоха О.М., 253
 Ткалич В.С., 116
 Ткалич П.В., 104
 Ткаченко В.О., 82, 102, 105–109, 111, 118, 120, 124
 Ткаченко Л.В., 137, 138, 156, 157
 Тонкаль С.С., 287, 290, 292–294
 Трачук Р.Ф., 288
 Трофимчук О.М., 111, 147, 148, 152
 Трохименко Н.А., 152
 Уласович Н.М., 6
 Улітко А.Ф., 56, 147, 149
 Усков І.А., 43
 Устенко Л.І., 291
 Фадеїчев В.В., 79, 92
 Феденів В.І., 237
 Федоренко М.С., 214, 215, 217
 Федоровський О.Д., 19, 20, 286, 288, 289, 299
 Федорюк М.В., 55
 Філімонов В.Ю., 59, 155, 268, 287–295, 299
 Філонов В.В., 34
 Фомін О.С., 287, 290, 292, 293
 Форостовець С.М., 287, 290, 292, 293
 Фрідріхсон В.Л., 79, 80
 Фурманов С.І., 291
 Харламова О.В., 206
 Харченко А.Г., 105, 106, 119, 125, 205
 Хатунцев В.Н., 41, 47
 Хейст Г.Я.Ф. ван, 56
 Хижа І.А., 102, 106, 125, 205
 Хлапук А.М., 79, 80
 Хлевнюк Д.В., 236, 240, 243, 251
 Хлевнюк Т.В., 236, 238, 241, 251
 Холченков В.О., 287–289
 Хомицький В.В., 105, 106, 111, 118–121, 124, 205, 253, 297, 299
 Цайтц Є.С., 14
 Цветков П.К., 14, 82
 Циганюк А.І., 32, 35, 42, 43, 165, 169, 171–173, 289, 292
 Цхведіані Т.А., 290
 Чабан Н.П., 287
 Чала О.М., 236, 241, 251
 Челишков В.С., 32, 35
 Чередниченко І.Я., 290
 Черкесов Л.В., 253
 Черних Л.В., 110
 Чернюк А., 236
 Чикіда В.П., 288

- Чирков А.В., 206
 Чичик П.Д., 214, 215
 Чорний І.М., 260, 261
 Шабрін А.М., 84
 Шайбо М.В., 116, 117, 128, 261, 265
 Шакало В.М., 32, 40, 47, 48
 Шамко В.В., 105
 Шанкар П.Н., 56
 Шаргородська Л.Р., 288
 Швець Г.І., 14, 15
 Шевченко В.С., 122
 Шевчук Ю.Р., 215
 Шелюжко Л.А., 4
 Шеховцов О.В., 166, 167, 171
 Шквар Є.О., 24, 29, 38
 Шкіль О.А., 287, 290, 299
 Шматко О., 82
 Штернберг С.П., 4
 Юрченко Н.Ф., 17, 32, 41, 178, 184
 Ягодзинський О.І., 287, 297
 Яковлев В.В., 102, 103, 105–109, 118
 Якубовський Г.Л., 288, 290, 292
 Янков В.Г., 287, 288, 290–294
 Янковський Л.І., 116, 128, 259, 261
 Ярош Д.В., 59
 Ярощук Л.Б., 153

ЗМІСТ

КОРОТКИЙ ІСТОРИЧНИЙ НАРИС	3
ВІДДІЛ ГІДРОБІОНІКИ ТА КЕРУВАННЯ ПРИМЕЖОВИМ ШАРОМ	30
ВІДДІЛ ВИХРОВИХ РУХІВ	55
ВІДДІЛ ГІДРОДИНАМІКИ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД	77
ВІДДІЛ ГІДРОДИНАМІКИ ХВИЛЬОВИХ ТА РУСЛОВИХ ПОТОКІВ	100
ВІДДІЛ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ АКУСТИКИ	135
ВІДДІЛ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ В ГІДРОАЕРОМЕХАНІЦІ ТА ЕКОЛОГІЇ	165
ВІДДІЛ МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОТЕРМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ	175
ВІДДІЛ ПРИКЛАДНОЇ ГІДРОДИНАМІКИ	191
ВІДДІЛ ТЕЧІЙ З ВІЛЬНИМИ МЕЖАМИ	213
НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ З ПРОБЛЕМ СЕЙСМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИБУХІВ	234
ДОСЛІДНИЙ БАСЕЙН	259
ШВИДКІСНИЙ ГІДРОДИНАМІЧНИЙ БАСЕЙН	271
СПЕЦІАЛЬНЕ КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ БЮРО	286