

ДОСЛІДЖЕННЯ СВІТОВОГО ОКЕАНУ

УДК 551.46

Експериментальний зразок гідрофізичного програмно-технологічного комплексу

О.А. Щипцов

Щипцов Олександр Анатолійович – член-кореспондент НАН України, д.геогр.н, професор, директор Державної установи "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України"; E-mail: oceanography@ukr.net

Анотація. У статті описано етапи та основні результати науково-технічних досліджень, виконаних у 2020–2022 роках колективом учених і фахівців-океанографів Державної установи "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України" (за сприяння гідрографів Державної установи "Держгідрографія" Державної служби морського і внутрішнього водного транспорту та судноплавства України та Центру навігації, гідрографії та гідрометеорології Гідрографічної служби Військово-Морських Сил Збройних Сил України) у рамках науково-дослідної роботи зі створення експериментального зразка гідрофізичного програмно-технологічного комплексу як складової системи обробки та зберігання інформаційних ресурсів в інтересах забезпечення реалізації наукової складової військово-морської діяльності для досягнення бажаного результату. Методи дослідження – прикладні океанографічні дослідження.

Ключові слова: експериментальний зразок, модульний судновий комплекс, інтеграція, інтелектуальна інформаційна система, гідрофізичний програмно-технологічний комплекс, гідрофізичні параметри, океанографічні дані, програмне забезпечення, суднові технічні прилади, *Starlink*.

Концепт створення експериментального зразка гідрофізичного програмно-технологічного комплексу¹ як складової системи оброблення та зберігання інформаційних ресурсів в інтересах забезпечення реалізації наукової складової військово-морської діяльності для досягнення бажаного результату вперше було оприлюднено в 2021 році у збірнику наукових праць "Океанографічний журнал" (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану) [12].

Експериментальний зразок гідрофізичного програмно-технологічного комплексу (далі – гідрофізичний програмно-технологічний комплекс) розроблено у Державній установі "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України" (далі – Гідрофізичний центр).

Гідрофізичний програмно-технологічний комплекс (в архітектурній схемі проєктованої компоненти майбутньої єдиної системи оброблення та зберігання інформаційних ресурсів) показано на рис. 1.

¹ Експериментальний зразок гідрофізичного програмно-технологічного комплексу – сукупність океанографічних методів досліджень, технічних засобів та обладнання, програмного забезпечення, яку розміщують на науково-дослідному (гідрографічному) судні, а також у береговому приймальному центрі (інтелектуальної інформаційної системи висвітлення гідрографічної обстановки в акваторіях Чорного моря) та використовують в інтересах реалізації наукової складової військово-морської діяльності для досягнення бажаного результату.

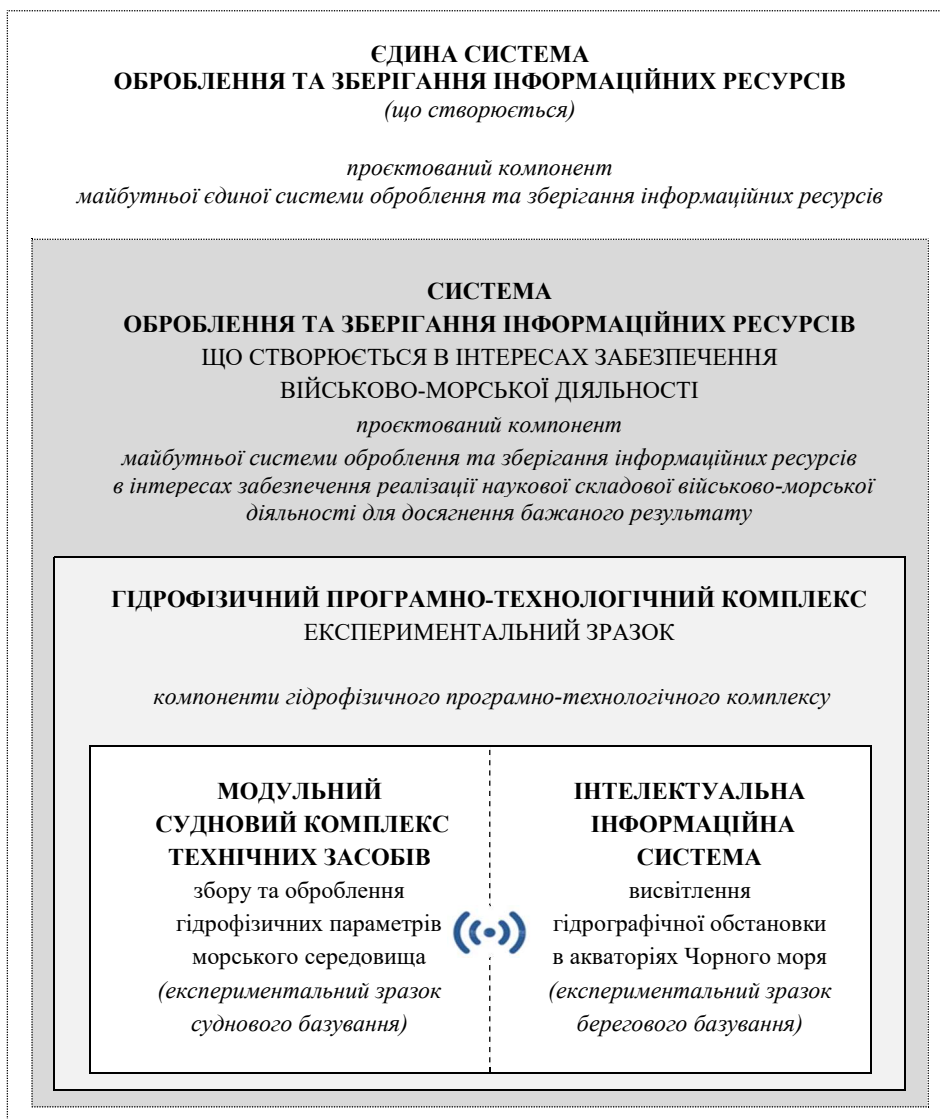


Рис. 1. Архітектурна схема проекрованої компоненти майбутньої єдиної системи оброблення та зберігання інформаційних ресурсів

Формування компонентів гідрофізичного програмно-технологічного комплексу здійснено поетапно:

2020 рік – інтелектуальної інформаційної системи;

2021 рік – модульного суднового комплексу;

2022 рік – інтеграції модульного суднового комплексу до інтелектуальної інформаційної системи.

Розглянемо деякі результати науково-технічних досліджень, отримані у процесі виконання згаданих етапів створення гідрофізичного програмно-технологічного комплексу, зокрема:

Щодо створення експериментального зразка інтелектуальної інформаційної системи висвітлення гідрографічної обстановки в акваторіях Чорного моря

Інформаційне забезпечення є важливим підґрунтям для прийняття рішень у галузі морської діяльності на всіх рівнях. Вітчизняний і зарубіжний досвід отримання та використання океанографічної інформації свідчить, що всі види діяльності зі збору,

постійного зберігання, обробки та доведення до користувачів океанографічних даних ефективно працюють у рамках єдиної інформаційної системи.

У 2020 році було створено сучасну інтелектуальну інформаційну систему океанографічних даних в інтересах навігаційно-гідрографічного забезпечення, призначену для збору океанографічних даних з різних джерел та їх відображення для цілей висвітлення гідрографічної обстановки [8].

Інтелектуальна інформаційна система створена на основі використання онтологічних засад опрацювання різномірної інформації та становить інноваційний комплекс мережових програмно-інформаційних і методичних засобів інтегрованого використання розподілених інформаційних ресурсів з інтегрованою точкою доступу "єдине вікно", яке забезпечує управління інформаційними ресурсами та модулями системи для реалізації інтерактивної взаємодії з користувачами.

Інтелектуальна інформаційна система призначена для збору інформації про гідрографічну обстановку в акваторіях Чорного моря з просторово розподілених джерел і подальшого надання інтегрованої інформації користувачу, а також прогнозування гідродинамічних і гідрофізичних параметрів стану морського середовища Азово-Чорноморського басейну.

Задачі, які може вирішувати експериментальний зразок інтелектуальної інформаційної системи висвітлення гідрографічної обстановки в акваторіях Чорного моря:

- 1) автоматичний або автоматизований збір інформації із заданих джерел;
- 2) автоматична структуризація та перетворення зібраної інформації до формату внутрішньої бази даних;
- 3) відображення інформації, що міститься у внутрішній базі даних, у табличній або графічній (електронна карта) формі з можливістю фільтрації за заданими параметрами;
- 4) прогнозування заданих океанографічних параметрів і відображення результатів прогнозу.

Інтелектуальна інформаційна система вирішує задачі збору інформації за двома процедурами: автоматичний збір за допомогою протоколу *FTP*² та автоматизований, що передбачає внесення файлів з інформацією оператором. Зібрана інформація вноситься у внутрішню базу даних і відображається у користувача. Додатковою функцією є прогнозування океанографічних параметрів і відображення результатів прогнозу.

Експериментальний зразок інтелектуальної інформаційної системи функціонує в рамках веборієнтованого середовища з доступом за протоколом *HTTP*³ через мережу Інтернет або локальну мережу. Для використання експериментального зразка його програмні модулі розміщені таким чином:

1. На основному сервері інтелектуальної інформаційної системи розміщено:
 - модуль збору та структуризації інформації;
 - модуль внесення та зберігання інформації;
 - модуль відображення інформації користувачу;

² *FTP* – протокол, який призначений для передачі файлів через Інтернет або локальну комп'ютерну мережу.

³ *HTTP* – протокол, що дозволяє отримувати різні ресурси (полягає в основі обміну даними в Інтернеті).

- модуль математичного моделювання.

2. На допоміжному сервері розміщено модуль прогнозування океанографічних параметрів. До складу кожного з чотирьох зазначених модулів входять підсистеми.

Зазначимо, що розширення технічних можливостей гідрофізичного програмно-технологічного комплексу здійснено шляхом:

адаптації прогностичного комплексу⁴ інтегрованих чисельних моделей *Delft3D-FLOW* + *SWAN* (далі – прогностичний комплекс) до структури експериментального зразка інтелектуальної інформаційної системи висвітлення гідрографічної обстановки в акваторіях Чорного моря у 2020 році. Цей прогностичний комплекс дозволяє вирішувати задачу оперативного (швидкого) оцінювання стану навколишнього (морського) середовища під час планування та проведення військових операцій протягом тактично вивірених проміжків часу шляхом надання інформації про океанографічну обстановку в теперішньому (з передісторією до 5 днів) та майбутньому (до 4 днів) часі для всього Чорного моря, його північно-західної частини та обраних ділянок прибережних зон моря з необхідним просторовим розділенням даних. До набору океанографічних даних, які можуть бути отримані із використанням автоматизованого модельного комплексу *Delft3D-FLOW* + *SWAN*, відносяться: вітрові умови, відхилення рівня моря від незбуреного стану під дією вітру в прибережних зонах моря (які визначають поточні глибини), просторово-часова мінливість параметрів вітрового хвилювання, циркуляції вод (течій) у прибережних районах моря з урахуванням впливу вітрових хвиль [8, 10];

- дооснащення модулем математичного моделювання просторово-часової мінливості гідрологічних параметрів морського середовища північно-західної частини Чорного моря, який розроблено на основі програмного забезпечення *Delft3D Flexible Mesh Suite* у 2022 році [7]. Основу модуля математичного моделювання просторово-часової мінливості гідрологічних параметрів⁵ [6] морського середовища північно-західної частини Чорного моря складатимуть числові математичні моделі нового покоління, які зараз успішно застосовують країни для вирішення подібних прогностичних задач на північно-західному шельфі Європи, в Австралії та Новій Зеландії; країни Азії й океанографічний офіс оперативної підтримки Військово-Морських Сил США (*NAVOCEANO*) – для прогнозування морського хвилювання та циркуляції вод в прибережних морських районах.

Архітектура графічного інтерфейсу дозволяє включити в розрахунки гідрофізичні процеси, пов'язані з просторово-часовою мінливістю температури та солоності води, що дозволяє отримувати оцінки мінливості вертикальної стратифікації вод (глибин верхнього квазіоднорідного шару перемішування вод, розташування та характеристик піноклину), враховувати окремо густинні та сумарні (густинні + вітрові) течії, розраховувати акустичні характеристики на ділянках акваторії моря, які моделюють. Модельний комплекс також може

⁴ Адаптацію прогностичного комплексу інтегрованих чисельних моделей *Delft3D-FLOW* + *SWAN* до структури експериментального зразка інтелектуальної інформаційної системи висвітлення гідрографічної обстановки в акваторіях Чорного моря здійснено доктором географічних наук, професором Ю.Д. Тучковенком і кандидатом географічних наук Д.В. Кушніром (Одеський державний екологічний університет Міністерства освіти і науки України).

⁵ Під терміном "гідрологічні параметри" в цій статті розуміється визначена сукупність гідрофізичних характеристик морського середовища.

бути використаний для розрахунку типового (діагностичного) розподілу гідрофізичних характеристик для стаціонарних (незмінних у часі) умов.

Узагальнену структуру інтелектуальної інформаційної системи показано на рис. 2, а робоче місце оператора експериментального зразка інтелектуальної інформаційної системи зображено на рис. 3.

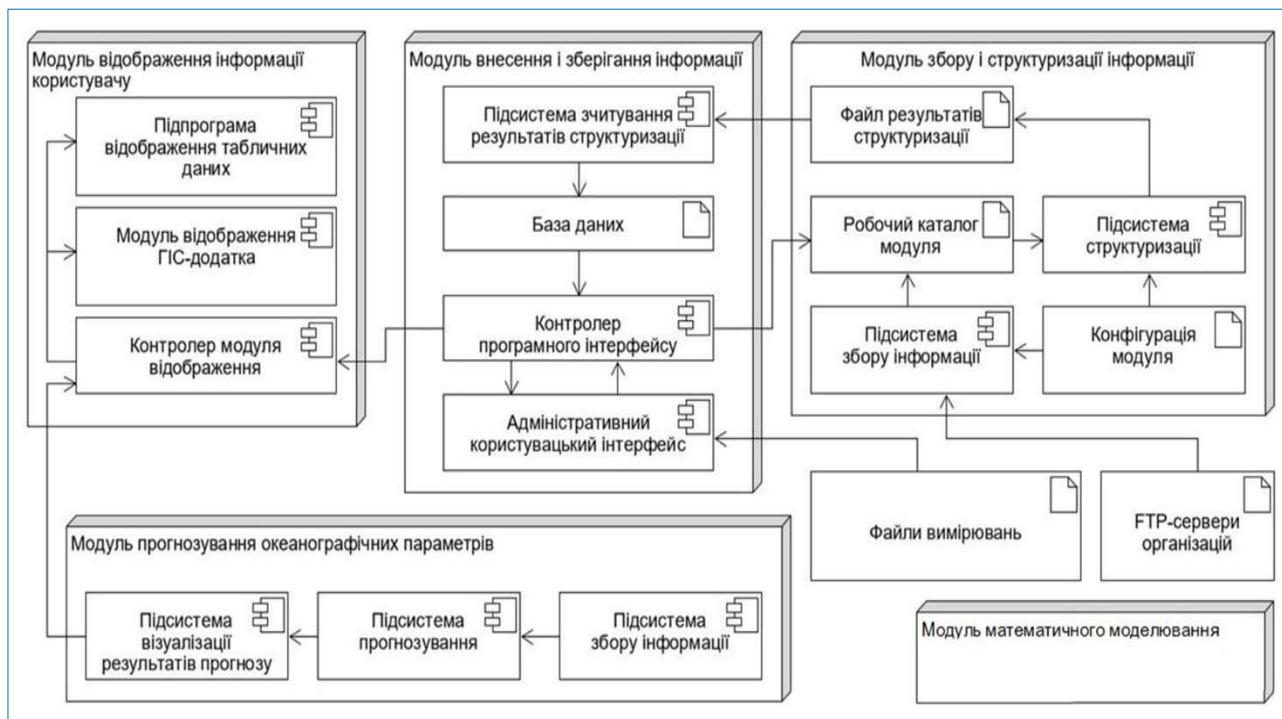


Рис. 2. Узагальнена структура експериментального зразка інтелектуальної інформаційної системи

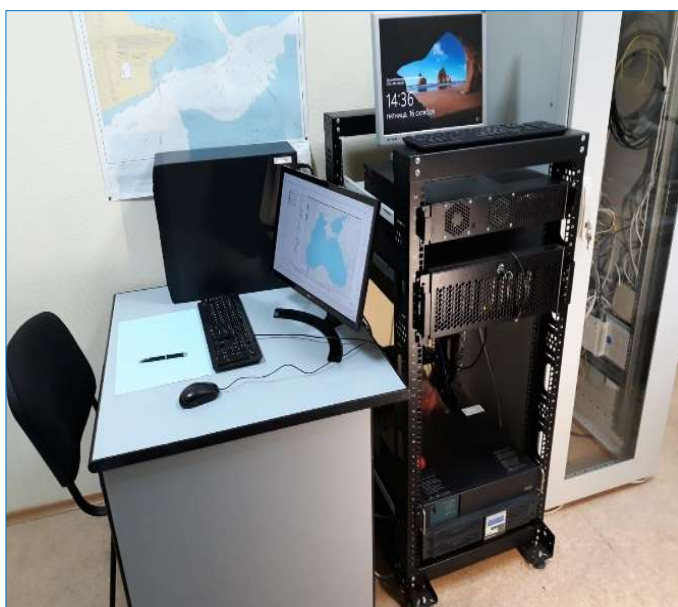


Рис. 3. Робоче місце оператора експериментального зразка інтелектуальної інформаційної системи (берегового базування)

Центральним елементом архітектури інтелектуальної інформаційної системи є модуль внесення і зберігання інформації. Даний модуль включає в себе внутрішню базу даних системи, в якій зберігаються структуровані результати вимірювань. Функціонування модуля забезпечує спеціалізований інтерфейс, який дозволяє адміністратору вносити файли в систему (вони зберігаються в робочому каталозі модуля збору та структуризації інформації). Для взаємодії з іншими модулями використовують підпрограми: підсистему зчитування результатів структуризації для взаємодії з модулем

збору та структуризації даних і контролер програмного інтерфейсу для взаємодії з модулем відображення інформації.

Модуль збору і структуризації інформації – це локальний модуль, що взаємодіє виключно з модулем внесення і зберігання інформації через файлову систему. При запуску модуля збору і структуризації інформації спочатку працює підсистема збору інформації, що отримує файли вимірювань із заданих конфігурацією модуля джерел і розміщує їх в робочому каталозі. Далі всі файли в робочому каталозі проходять процес структуризації за допомогою відповідної підсистеми, результатом роботи якої є файл зі структурованою інформацією.

Важливим елементом модуля відображення інформації користувачу є його контролер, основна функція якого полягає в отриманні команд від користувача (в першу чергу таких, що стосуються фільтрації). Контролер модуля відображення взаємодіє з контролером програмного інтерфейсу, передаючи йому команди користувача і отримуючи у відповідь набори даних для відображення. Також модуль відображення інформації користувачу забезпечує можливість перегляду результатів роботи модуля прогнозування.

Модуль прогнозування океанографічних параметрів містить спеціалізовані підсистеми збору інформації та візуалізації результатів роботи. Робота модуля прогнозування океанографічних параметрів є автономною та не залежить від інших модулів.

Інтелектуальна інформаційна система спрямована на удосконалення автоматизації процесу висвітлення гідрографічної обстановки в акваторіях Чорного моря для підвищення оперативності обробки океанографічних даних із застосуванням інноваційного комплексу мережевих програмно-інформаційних і методичних засобів інтегрованого використання розподілених інформаційних ресурсів.

До інтелектуальної інформаційної системи додається:

- Методика використання експериментального зразка інтелектуальної інформаційної системи;

- Інструкція користувача інтелектуальної інформаційної системи висвітлення гідрографічної обстановки в акваторіях Чорного моря.

Сформоване програмне забезпечення зазначеної системи – це набір когнітивних сервісів, побудованих на основі існуючих когнітивних ІТ-платформ у рамках модульної клієнт-серверної архітектури. Ці сервіси забезпечують процеси автоматичного й автоматизованого збору океанографічних даних, їх структуризації та надання за запитом користувачу в інтерактивній формі. До складу програмного забезпечення інтелектуальної інформаційної системи також входить програма прогнозування гідрологічних (гідрометеорологічних) параметрів.

Розширення технічних можливостей експериментального зразка гідروفізичного програмно-технологічного комплексу шляхом його дооснащення модулем математичного моделювання просторово-часової мінливості гідрологічних параметрів морського середовища північно-західної частини Чорного моря

Числові математичні моделі нового покоління – це інтегрований модельний комплекс *Delft3D Flexible Mesh Suite*, який складається з двох програмних модулів [14]: *FLOW* та *WAVE*.

Розробник надає вільний доступ широкому колу користувачів до кодів програмних пакетів, а їх використання регулюється ліцензійною угодою *GNU General Public License* версії 3 [22].

Delft3D-FLOW – це базовий гідротермодинамічний модуль інтегрованого пакета програм *Delft3D* (версії 4.04.01), який надає можливість моделювати просторово-часову мінливість таких океанографічних характеристик як термохалінна структура та густинна стратифікація морських вод; їх циркуляція, спричинена різними чинниками та їх сукупністю (густинні, градієнтні, вітрові, вітрохвильові та сумарні течії); коливання рівня моря, спричинені дією вітру та атмосферного тиску; перенос (трасування) як консервативних, так і неконсервативних домішок у морському середовищі. Модель *Delft3D-FLOW* базується на чисельному вирішенні тривимірних рівнянь Нав'є-Стокса для нестисливої рідини на мілкій воді у наближенні Бусінеска. Система диференціальних прогностичних рівнянь моделі складається з рівнянь руху, рівняння нерозривності, рівнянь транспорту скалярних величин (тепла і солей) та двопараметричної k - ε -моделі турбулентності, яка замикає ці рівняння [15].

У програмному модулі *Delft3D-WAVE* використовується спектральна модель третього покоління для розрахунку просторово-часової мінливості параметрів вітрового хвилювання *SWAN* (*Simulating Waves Nearshore Model*) [16]. Модель базується на чисельному вирішенні рівняння балансу енергії хвиль у спектральній формі з урахуванням її джерел і стоків.

Рівняння, які описують спектр поверхневого хвилювання та кінематику морських хвиль в моделі *SWAN*, мають такий вигляд [16]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial N}{\partial t} + \nabla_x \cdot [(C_g + U)N] + \frac{\partial C_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial C_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S_{tot}}{\sigma} \\ \frac{\partial x}{\partial t} = (C_x, C_y) = C_g + u = 0,5 \left(1 + \frac{2kd}{sh(2kd)} \right) \frac{\sigma k}{k^2} + u \\ \frac{\partial \sigma}{\partial t} = C_\sigma = \frac{\partial \sigma}{\partial t} \left(\frac{\partial d}{\partial t} + u \cdot \nabla_x d \right) - C_g k \frac{\partial u}{\partial s} \\ \frac{\partial \theta}{\partial t} = C_\theta = -\frac{1}{k} \left(\frac{\partial \sigma}{\partial t} \frac{\partial d}{\partial m} + k \frac{\partial u}{\partial m} \right) \end{array} \right.$$

де $N = E(\sigma, \theta, x, y) / \sigma$ – густина енергії хвиль;

C_g – вектор групової швидкості хвиль;

S_{tot} – функція джерел і стоків;

C_x, C_y – швидкість поширення хвиль в площині x, y ;

C_σ, C_θ – швидкість поширення у частотно-кутовій площині σ, θ ;

d – глибина моря;

s – координата у напрямку поширення хвилі θ ;

m – координата, перпендикулярна s ;

$k = (k_x, k_y)$ – вектор хвильового числа;

$u = (u_x, u_y)$ – вектор швидкості.

У моделі *SWAN* реалізовані процеси, які пов'язані з генерацією, поширенням у просторі та дисипацією вітрових хвиль, а саме: передача енергії від вітру до хвиль (генерація хвиль вітром); поширення хвиль у просторі; рефракція хвиль і трансформація їхніх параметрів через просторові варіації глибин і течій; взаємодія хвиль і течій; дисипація хвильової енергії внаслідок донного тертя, обвалення гребенів (забуруннювання) хвиль (*whitcapping*) та обвалення хвиль на критичних глибинах (*wave breaking*) через їх зміну; нелінійна взаємодія між хвилями як у глибокому морі (4-х хвильова), так і в мілкому морі (3-х хвильова).

Програмні модулі реалізовані в горизонтальній площині на криволінійній розрахунковій сітці; інтегровані за допомогою взаємного інтерфейсу та взаємодіють між собою, тобто враховується вплив течій на параметри вітрового хвилювання та їх поширення і, навпаки, внесок хвильових процесів у формування прибережних течій та інтенсивність турбулентного змішування вод. Узагальнений прогноз вітрового хвилювання і циркуляції вод дає змогу підвищити точність розрахунків швидкості та напрямку морських течій, температури і солоності води у верхньому шарі моря. Поліпшення якості прогнозу досягається завдяки більш коректному обліку ефектів взаємодії морських хвиль і течій за умови використання комплексної прогностичної моделі цих явищ.

Найбільш суттєвою відмінністю між моделями *Delft3D-FLOW* і *D-Flow FM*⁶ є використання неструктурованих сіток. Великі ділянки з чотирикутниками можна з'єднувати зі значно більшою гнучкістю, ніж раніше, за допомогою трикутників, п'ятикутників і шестикутників. Деталізація (і огрублення) сітки без *DD*-зв'язку тепер можлива в одній і тій же модельній сітці. В майбутньому *1D*-сітки будуть з'єднуватися з *2D*-сітками або прилеглими одна до одної, або *1D*-сітка накладатиметься на *2D*-сітку. Нарешті багато обмежень сітки *Delft3D-FLOW* тепер зникли, оскільки більше немає справжніх "рядків" і "стовпців" сітки, рядки комірок сітки можуть бути з'єднані зі стовпцями в будь-якому напрямку і в будь-якому положенні.

На додаток до неструктурованих файлів сітки всі вхідні дані геометричної моделі тепер вказуються в географічних координатах, або в декартових, або в сферичних координатах (*x*, *y* або довгота, широта). Таким чином, це відрізняється від моделі *Delft3D-FLOW*, яка вимагала введення в базу даних моделі в індексах сітки. Це так зване незалежне від моделі введення координат дозволяє легко змінювати сітку моделі, після чого інші вхідні дані моделі можуть залишатися незмінними.

Новий графічний інтерфейс користувача *Delta Shell*⁷ забезпечує більш потужне та інтегроване середовище для налаштування моделей *D-Flow FM* та перевірки вхідних даних моделі, таких як залежні від часу фактори впливу (граничні умови та управління перешкодами). Ще одним удосконаленням в *Delta Shell* є використання сценаріїв для запуску та взаємодії з моделлю в реальному часі.

D-Flow FM, як і *Delft3D-FLOW*, реалізує розв'язувач скінченного об'єму на рівномірній сітці. Однак, оскільки немає поняття "рядків" і "стовпців" сітки, то немає і *ADI*-розв'язувача.

⁶ *D-Flow FM (D-Flow Flexible Mesh)* - ключовий компонент *Delft3D Flexible Mesh Suite*, модуль для гідродинамічного моделювання на неструктурованих сітках у *1D-2D-3D* (*D-Flow FM* є наступною версією *Delft3D-FLOW*).

⁷ *Delta Shell* - компонент *Delft3D Flexible Mesh Suite*, інструмент для налаштування або імпорту різних типів моделей, виконання імітації різних моделей або комбінацій моделей та аналізу результатів моделювання.

Рівняння нерозривності розв'язується в неявному вигляді для всіх точок єдиної об'єднаної системи. Інтегрування за часом виконується явно для частини періоду адвекції, а результуюче динамічне часове обмеження автоматично встановлюється на основі критерію Куранта. Можливе зниження швидкості розрахунку, яке може виникнути в результаті такого підходу, часто може бути виправлене шляхом уточнення та більшого масштабування обчислювальної сітки в потрібних місцях. У *D-Flow FM* схема адвекції підходить як для докритичних, так і для критичних потоків. Схема є "ударостійкою", здатна відтворювати правильні швидкості течії.

У моделі *D-Flow FM* реалізовано прогностичний розрахунок таких гідрофізичних полів як температура та солоність.

Приклад використання модуля математичного моделювання просторово-часової мінливості гідрологічних параметрів морського середовища

У процесі науково-технічних досліджень було розраховано поля течій, рівня моря, зональних і меридіональних компонентів швидкості вітру для обчислення параметрів трансформації хвиль. Батиметричні дані використано з сайту *GEBCO* [17]. Початкові та закриті граничні умови використано з моделі *BLKSEA_ANALYSISFORECAST_PHY_007_001* [23].

Океанографічний прогноз побудовано на основі метеорологічного прогнозу на 10 діб з часовою дискретністю 6 годин за глобальною чисельною моделлю прогнозу погоди *GFS* (*Global Forecast System*), вебсервіс *NOMADS* якої (*National Operational Model Archive and Distribution System*) розміщено в США [20]. Просторова деталізація прогностичних даних моделі *GFS* у горизонтальній площині становить $0,25^\circ$ за широтою та довготою. Національна метеорологічна служба США надає безкоштовний доступ до прогностичних даних моделі *GFS*. Оперативні поточні прогнози метеорологічних параметрів дозволено використовувати з веб-ресурсу *NOMADS* (*Data Transfer: NCEP GFS Forecasts (0,25 degree grid)*) [19].

Окрім того, усі зроблені за останні декілька років у вказані строки прогнози зберігаються в історичному архіві *GFS*-прогнозів на відповідному веб-ресурсі (*NCEP GFS 0,25 Degree Global Forecast Grids Historical Archive*) [21] Національного центру атмосферних досліджень США *NCAR* (*National Center for Atmospheric Research*) і можуть бути вільно використані. Прогностичну продукцію за моделлю *GFS* використовує, зокрема, в оперативній діяльності Український гідрометеорологічний центр Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Метеорологічні дані завантажують з *GFS* за допомогою програми *XyGrib* [20] у форматі *.grib2.

Як приклад на рис. 4 наведено прогностичні поля поверхневих течій в акваторії Чорного моря на 4 доби, розраховані за моделлю *Delft3D Flexible Mesh Suite*.

На рис. 5 показано результати прогнозування поля солоності, розраховані за моделлю *Delft3D Flexible Mesh Suite*, а на рис. 6 – результати прогнозування параметрів вітру.

На рис. 5 видно, що поле солоності добре корелює з поверхневою циркуляцією водних мас в акваторіях Чорного моря: в областях розвитку антициклонічного утворення, де, зазвичай, солоність вод нижча, ніж у зонах циклонічних вихорів, що пояснюється динамічними особливостями циркуляції. У циклонічних утвореннях відбувається підйом більш солоних вод із глибинних шарів, а в антициклонічних вихорах формуються низхідні потоки, які опускають менш солоні води з верхніх шарів униз.

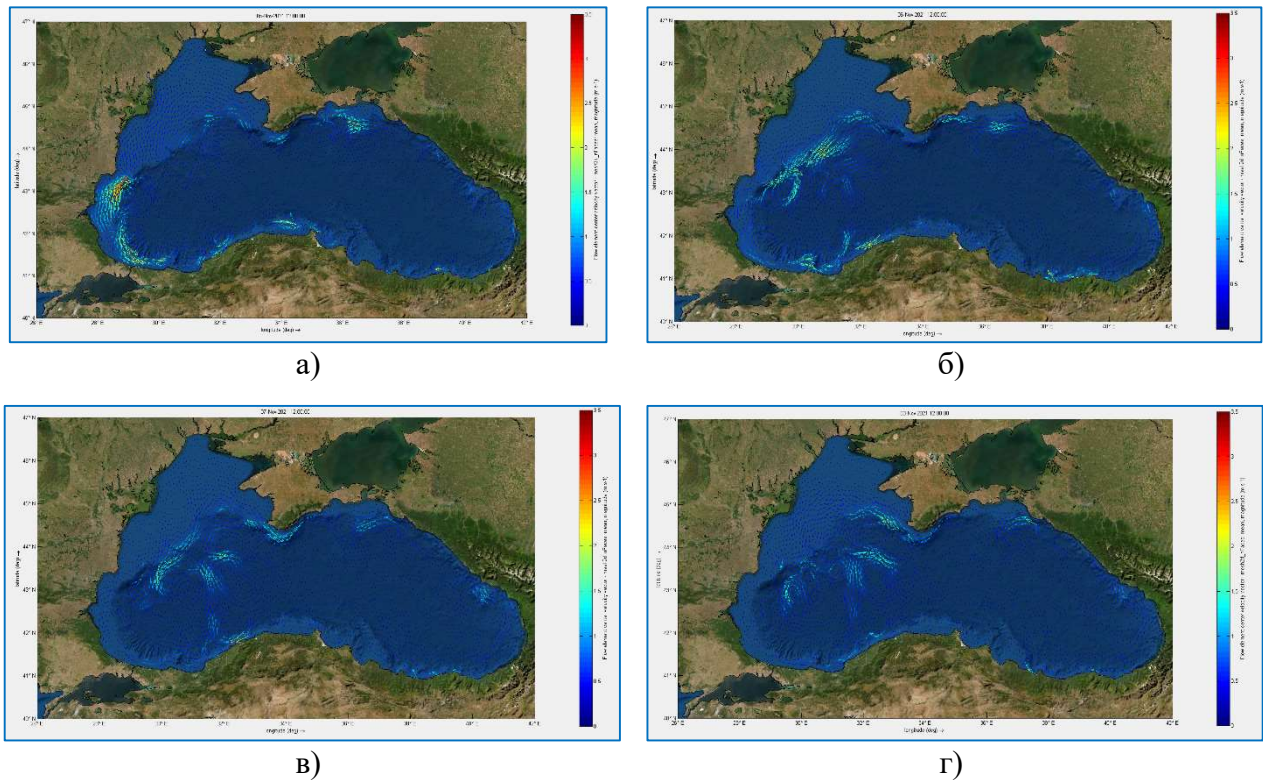


Рис. 4. Прогностичні поля поверхневих течій в акваторіях Чорного моря о 12:00: а) 5 жовтня 2022 р.; б) 6 жовтня 2022 р.; в) 7 жовтня 2022 р.; г) 8 жовтня 2022 р.

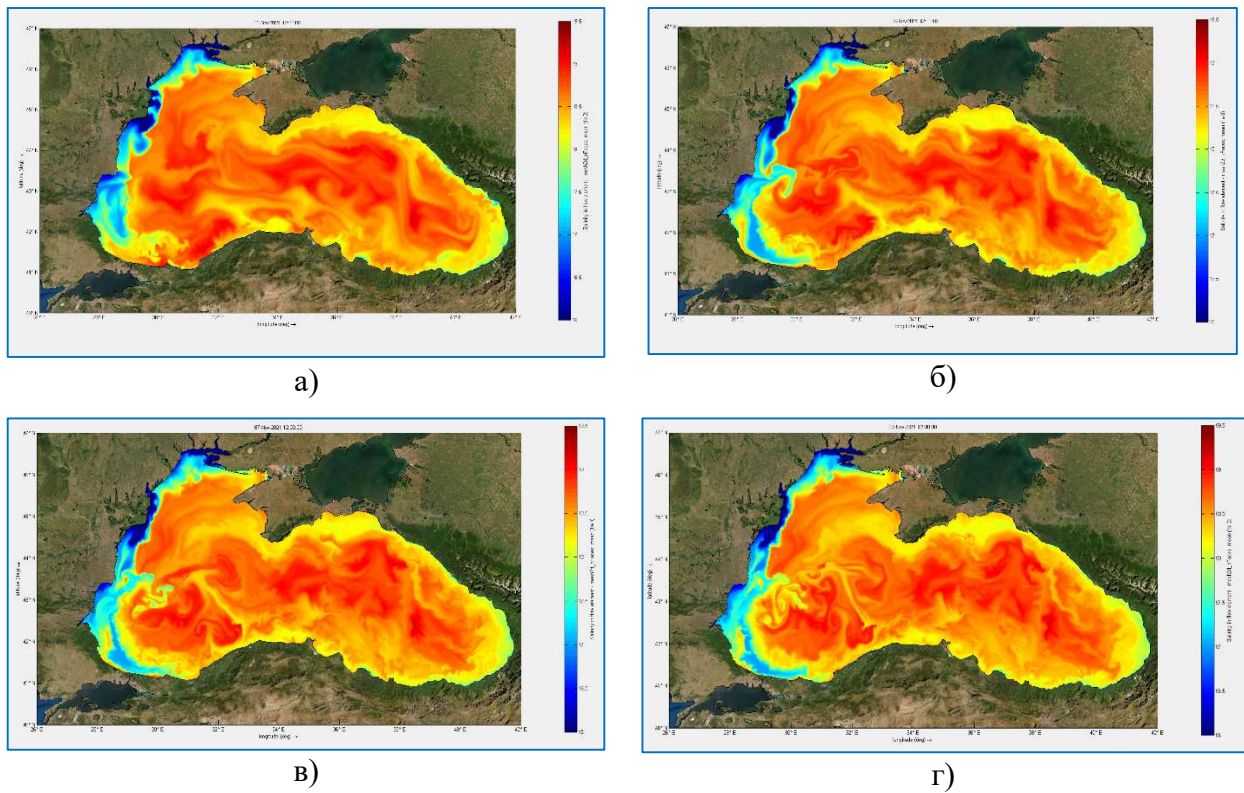


Рис. 5. Прогностичні поля розподілу поля солоності в акваторіях Чорного моря о 12:00: а) 5 жовтня 2022 р.; б) 6 жовтня 2022 р.; в) 7 жовтня 2022 р.; г) 8 жовтня 2022 р.

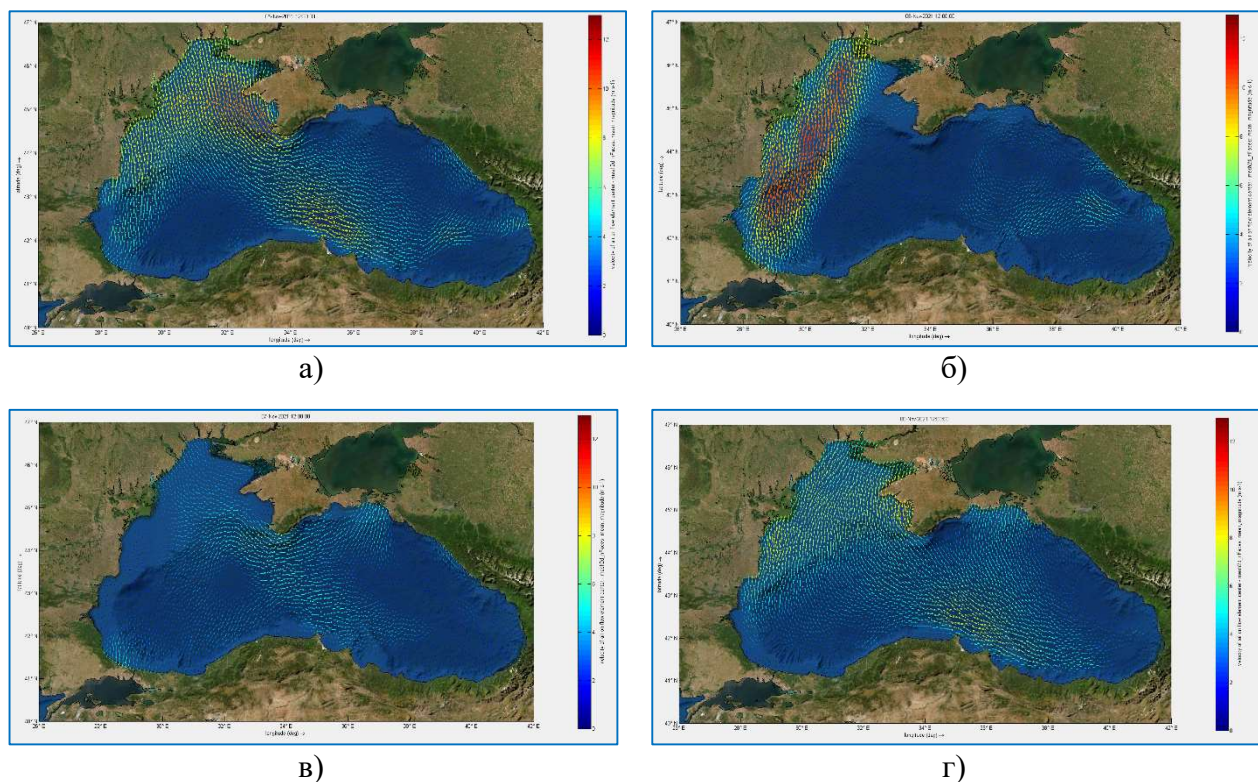


Рис. 6. Прогностичні поля параметрів вітру над акваторіями Чорного моря о 12:00:
а) 5 жовтня 2022 р.; б) 6 жовтня 2022 р.; в) 7 жовтня 2022 р.; г) 8 жовтня 2022 р.

Зіставлення результатів розрахованих прогнозів з натурними даними показало здатність моделі достовірно передбачати стан гідрофізичних полів у заданих акваторіях Чорного моря. Порівняння розрахованих температур поверхні моря з супутниковими зображеннями поверхневої температури, отриманими з супутників *NOAA*, показало хороший якісний збіг прогностичних і реальних температурних полів.

Загалом інтеграція прогностичного комплексу та модуля математичного моделювання просторово-часової мінливості гідрологічних параметрів морського середовища у структуру інтелектуальної інформаційної системи дасть можливість вирішувати задачі оперативного висвітлення гідрографічної обстановки в заданих акваторіях Чорного моря та проміжках часу з необхідним просторовим розділенням океанографічних даних [7, 8, 18].

Щодо створення експериментального зразка модульного суднового комплексу засобів збору та оброблення гідрофізичних параметрів морського середовища

Розроблений фахівцями Гідрофізичного центру експериментальний зразок модульного суднового комплексу восени 2021 року було розгорнуто на базі відновленого науково-дослідницького судна (далі – НДС) "Гідробіолог" НАН України.

Проте вже у квітні 2022 року в умовах воєнного стану на підставі рішення уповноваженого органу Міністерства оборони України відбулося примусове вилучення НДС "Гідробіолог" НАН України. Зважаючи на якісний рівень капітального переоснащення НДС "Гідробіолог" НАН України, судно зразу ж було взято в експлуатацію Військово-Морськими Силами ЗС України, що свідчить про високий професіоналізм фахівців

Гідрофізичного центру, проявлений у процесі технічного відновлення морехідного стану НДС "Гідробіолог" НАН України.

Враховуючи вимушені обставини, керівництвом Гідрофізичного центру було прийнято рішення, що альтернативою вилученого НДС "Гідробіолог" НАН України стане НДС "Анатолій Гончар" НАН України. Загальний вигляд науково-дослідницького судна "Анатолій Гончар" НАН України показано на рис. 7.



Рис. 7. Науково-дослідницьке судно "Анатолій Гончар" НАН України

У травні 2022 року на НДС "Анатолій Гончар" НАН України відновили роботи з модернізації та оснащення бортового науково-технічного комплексу необхідними науково-технічними засобами та обладнанням раніше створеного експериментального зразка модульного суднового комплексу засобів збору та обробки гідрофізичних параметрів морського середовища.

Слід особливо відзначити, що всі згадані науково-технічні роботи проводилися вченими та спеціалістами-океанографами Гідрофізичного центру в умовах військового стану, запровадженого Указом Президента України від 24.02.2022 № 64/2022 "Про введення військового стану в Україні", при обмеженому фінансуванні, що вимагало від співробітників Гідрофізичного центру повної віддачі, докладання надзусиль, командної концентрації на досягненні мети, ініціативності, креативності та неординарних рішень.

Наприкінці 2022 року було завершено останній етап науково-дослідних робіт щодо створення експериментального зразка гідрофізичного програмно-технологічного комплексу як складової системи оброблення та зберігання інформаційних ресурсів в інтересах забезпечення військово-морської діяльності (далі – гідрофізичний програмно-технологічний комплекс) для досягнення бажаного результату, затверджених рішеннями Президії НАН України, метою яких була реалізація положень згаданого вище Концепту.

Тривимірне зображення [13] потенційної взаємодії модульного суднового комплексу, розміщеного на науково-дослідницькому (гідрографічному) судні, з іншими технічними засобами вивчення морського середовища наведено на рис. 8.

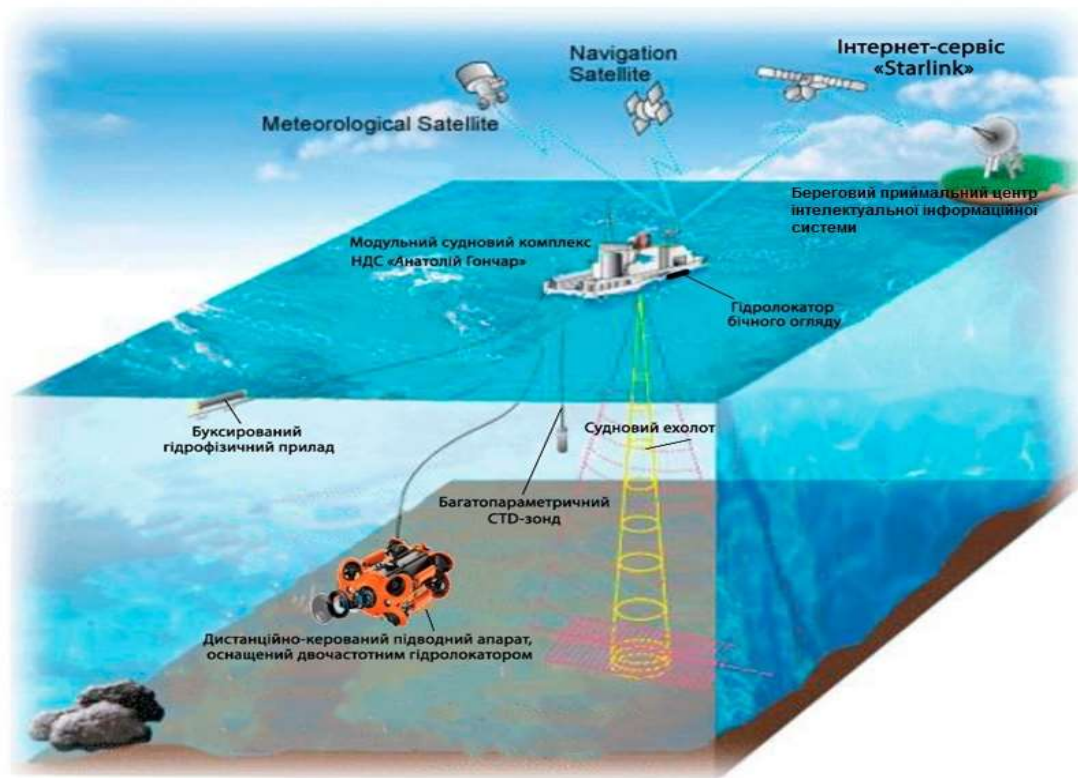


Рис. 8. Тривимірне зображення потенційної взаємодії модульного суднового комплексу, розміщеного на науково-дослідницькому (гідрографічному) судні, з іншими технічними засобами вивчення морського середовища

До складу модульного суднового комплексу увійшли: багатопараметричний *CTD*-зонд, лебідка з переносним пристроєм для роботи з забортним обладнанням, а також автоматизоване робоче місце та відповідне програмне забезпечення, судновий сервер⁸, локальна комп'ютерна мережа.

Найважливіша складова експериментального зразка модульного суднового комплексу засобів збору та оброблення гідрофізичних параметрів морського (річкового) середовища – багатопараметричний *CTD*-зонд *EXO-2* (рис. 9) виробництва фірми "YSI inc" (США).

CTD-зонд містить набір таких датчиків: тиску (*D*), електропровідності (*C*), температури (*T*), водневого показника (*pH*), окисно-відновлювального потенціалу (*ORP*), каламутності (*Tu*), розчиненого кисню (*DO*), солоності (*S*). Діапазон глибин до 200 м. Датчики встановлюють і герметизують відповідно до вимог Керівництва користувача *CTD*-зонда [7].

Перед застосуванням *CTD*-зонда виконують його калібрування згідно з Керівництвом користувача *CTD*-зонда разом із набором датчиків і калібрувальних розчинів:

- електропровідності (1 мкмос/см; 10 мкмос/см; 100 мкмос/см);
- окисно-відновлювального потенціалу (*ORP*; 0,0);

⁸ Судновий сервер – розподілений елемент гідрографічного фрагмента ресурсної бази Банку океанографічних даних НАН України, що акумулює поточні океанографічні (гідрофізичні) дані для подальшої їх передачі та оперативної обробки у береговому приймальній центрі інтелектуальної інформаційної системи.

- *pH* (4,00; 7,00; 10,00);
- каламутності (0 *NFU*; 12.4 *FNU*; 124 *FNU*);
- розчиненого кисню (100% нас.; 0,0% нас.).

Роботу *CTD*-зонда забезпечує комп'ютер зі спеціалізованим програмним забезпеченням *KorEXO*.

На екрані комп'ютера (рис. 10), який входить до складу автоматизованого суднового робочого місця, зображено залежність вимірних гідрофізичних параметрів річкового середовища (температури, каламутності, електропровідності, *pH*, *ORP*, концентрації кисню) від глибини.



Рис. 9. Багатопараметричний *CTD*-зонд *EXO-2*



Рис. 10. Візуалізація на екрані комп'ютера АРМ залежностей вимірних гідрофізичних параметрів річкового середовища

Після первинної обробки отримані океанографічні (гідрофізичні) дані передаються на судновий сервер за допомогою локальної суднової комп'ютерної мережі.

Для виконання експедиційних робіт передбачено застосування суднового спуско-підіймального обладнання.

Випробування функціональної придатності складових елементів відновленого модульного суднового комплексу засобів збору та обробки гідрофізичних параметрів морського (річкового) середовища, встановленого на НДС "Анатолій Гончар" НАН України, шляхом виконання експериментальних досліджень у річковому середовищі успішно проведені у травні 2022 року (рис. 11, 12).

Під час виконання експериментальних досліджень підтверджено функціональну придатність та надійність складових елементів відновленого модульного суднового комплексу НДС "Анатолій Гончар" НАН України відповідно до вимог Технічного завдання НДР.

Мобільність технічних засобів (складових елементів) модульного суднового комплексу, необхідних для вимірювання гідрофізичних параметрів морського середовища, дозволяє використовувати їх на спеціалізованих судах, зокрема на великих гідрографічних катерах, що було підтверджено під час випробувань функціоналу вибіркового складових гідрофізичного програмно-технологічного комплексу (рис. 13, 14).

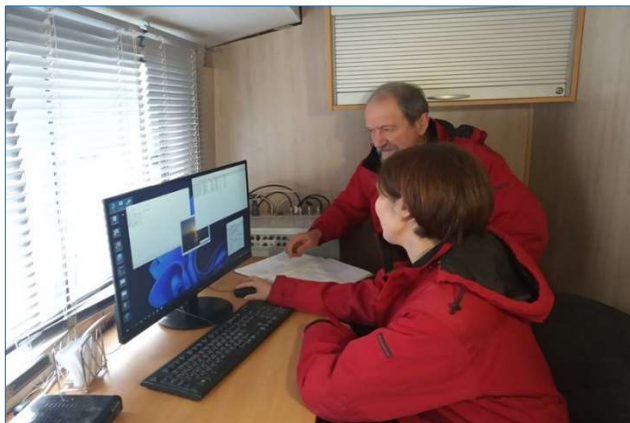


Рис. 11. АРМ оператора модульного суднового комплексу засобів збору та оброблення гідрофізичних параметрів морського (річкового) середовища на борті НДС "Анатолій Гончар" НАН України (на передньому плані – кандидат економічних наук Ірина Шевченко, за нею – Юрій Птиця)



Рис. 12. Випробування функціональної придатності складових елементів відновленого експериментального зразка модульного суднового комплексу засобів та обробки гідрофізичних параметрів морського (річкового) середовища, встановленого на НДС "Анатолій Гончар" НАН України (зліва направо: доктор географічних наук Антон Гордєєв, кандидат фізико-математичних наук Олексій Шундель, кандидат геологічних наук Сергій Федосєнков)



Рис. 13. Підготовка багатопараметричного CTD-зонда суднового комплексу до зйомки гідрофізичних параметрів морського середовища з використанням електричної лебідки "Jarrett" моделі S350-F19001 австралійської фірми "Advansa", яку встановлено на правому борті палуби ВГК "О. Солодунов" (зліва направо: кандидат фізико-математичних наук Олексій Шундель, кандидат геологічних наук Сергій Федосєнков)



Рис. 14. Учасники випробувань гідрофізичного програмно-технологічного комплексу на відкритій палубі ВГК "О. Солодунов" підключають супутникову антену до платформи глобального супутникового Інтернету "Starlink" (зліва направо: В'ячеслав Косих, кандидат фізико-математичних наук Олексій Шундель, капітан III рангу Станіслав Пархоменко, контрадмірал Ігор Тимчук, кандидат юридичних наук Олександр Щипцов)

Зазначені випробування здійснено у серпні 2022 року в акваторії Бурлачої балки Сухого лиману північно-західної частини Чорного моря з використанням:

- модульного суднового комплексу засобів збору та оброблення гідрофізичних параметрів морського середовища Гідрофізичного центру та тимчасовим використанням суднового обладнання для доступу до платформи глобального супутникового Інтернету "Starlink" компанії SpaceX, а також навігаційного та спуско-підіймального обладнання ошвартованого великого гідрографічного катера (ВГК) "О. Солодунов" ДУ "Держгідрографія" Державної служби морського і внутрішнього водного транспорту та судноплавства України (за згодою) (рис. 15);

- обладнання берегового приймального центру інтелектуальної інформаційної системи висвітлення гідрографічної обстановки в акваторіях Чорного моря (берегового базування) Гідрофізичного центру який розташований у м. Києві (рис. 16).

Під час випробувань функціоналу було також здійснено тестування процесу інтеграції вибірових складових гідрофізичного програмно-технологічного комплексу. У результаті було складено відповідні акти випробувань, які надано для погодження уповноваженим представникам ВМС ЗС України.

Зокрема начальником Центру навігації, гідрографії та гідрометеорології – начальником Гідрографічної служби Військово-Морських Сил Збройних Сил України погоджено:



Рис. 15. Узагальнена структура модульного суднового комплексу засобів збору та оброблення гідрофізичних параметрів морського середовища, який було оперативного розгорнуто на борті ВГК "О. Солодунов" у серпні 2022 року (зліва направо: кандидат фізико-математичних наук Олексій Шундель, кандидат геологічних наук Сергій Федосєнков, капітан III рангу Станіслав Пархоменко, гідролог Артем Матвєєв)

- Акт випробувань функціоналу вибіркового складових експериментального зразка гідрофізичного програмно-технологічного комплексу Державної установи "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України" від 08 вересня 2022 року [1];

- Акт випробувань функціонування модуля математичного моделювання просторово-часової мінливості гідрологічних параметрів північно-західної частини Чорного моря, проведених у режимі науково-технічного вебінару 28 грудня 2022 року [2].



Рис. 16. Оператор АРМ берегового приймального центру інтелектуальної інформаційної системи доктор географічних наук Антон Гордєєв під час оперативної обробки гідрофізичних даних, отриманих від суднового серверу ВГК "О. Солодунов" через платформу глобального супутникового Інтернету *Starlink*

Слід підкреслити, що тестування інтеграції модульного суднового комплексу до інтелектуальної інформаційної системи є завершальним етапом зі створення експериментального зразка гідрофізичного програмно-технологічного комплексу.

На завершення зазначимо:

У процесі створення експериментального зразка гідрофізичного програмно-технологічного комплексу:

- в реальних експедиційних умовах використовувалися теоретично сформовані методи океанографічних досліджень [3, 9, 10, 12];

- здійснено оснащення та перевірку функціональної придатності складових елементів (технічних засобів, обладнання та програмного забезпечення) відновленого модульного суднового комплексу, який встановлено на НДС "Анатолій Гончар" НАН України;

- проведено перевірку на практиці мобільності модульного суднового комплексу шляхом його оперативного розгортання на борті ВГК "О. Солодунов" ДУ "Держгідрографія" Державної служби морського і внутрішнього водного транспорту та судноплавства України (за згодою);

- апробовано технологічний процес передачі та прийому поточних океанографічних (гідрофізичних) даних від суднового сервера:

НДС "Анатолій Гончар" НАН України до централізованого гідрографічного фрагмента ресурсної бази Банку океанографічних даних НАН України для подальшої їх передачі за

допомогою мережі "звичайного" Інтернету та оперативної обробки у береговому приймальному центрі інтелектуальної інформаційної системи;

ВГК "О. Солодунов" до централізованого гідрографічного фрагмента ресурсної бази Банку океанографічних даних НАН України для подальшої їх передачі та оперативної обробки у береговому приймальному центрі інтелектуальної інформаційної системи за допомогою платформи глобального супутникового інтернету *Starlink* компанії *SpaceX*;

здійснено інтеграцію модульного суднового комплексу до інтелектуальної інформаційної системи, внаслідок чого утворився цілісний гідрофізичний програмно-технологічний комплекс;

- розширено технічні можливості гідрофізичного програмно-технологічного комплексу як складової системи оброблення та зберігання інформаційних ресурсів в інтересах забезпечення військово-морської діяльності шляхом дооснащення його інтелектуальної інформаційної системи прогностичним комплексом інтегрованих чисельних моделей *Delfi3D-FLOW* + *SWAN* та модулем математичного моделювання просторово-часової мінливості гідрологічних параметрів морського середовища північно-західної частини Чорного моря⁹;

- подано заявку Гідрофізичного центру до Державного підприємства "Український інститут інтелектуальної власності" Міністерства економічного розвитку і торгівлі України про наміри патентування винаходу "Гідрофізичний модульний судновий комплекс" (наразі ця заявка перебуває на стадії проведення кваліфікаційної експертизи) [5].

Також було розроблено, апробовано та тестовано окремі складові частини загальної Методики використання гідрофізичного програмно-технологічного комплексу, а саме:

- Методику використання експериментального зразка інтелектуальної інформаційної системи висвітлення гідрографічної обстановки в акваторіях Чорного моря;

- Методику використання експериментального зразка модульного суднового комплексу засобів збору та оброблення гідрофізичних параметрів морського середовища на НДС "Анатолій Гончар" НАН України;

- Керівництво по експлуатації експериментального зразка модульного суднового комплексу засобів збору та оброблення гідрофізичних параметрів морського середовища.

На думку автора, застосування експериментального зразка гідрофізичного програмно-технологічного комплексу передбачувано зробить реальний позитивний внесок у здійснення прогнозування та моделювання стану прибережних і шельфових районів Чорного моря і розвиток методів оперативної океанографії.

У відгуку командування Військово-Морськими Силами Збройних Сил України [4] на результати виконання науково-дослідної роботи щодо створення експериментального зразка гідрофізичного програмно-технологічного комплексу як складової системи оброблення та зберігання інформаційних ресурсів в інтересах забезпечення військово-морської діяльності для досягнення бажаного результату зазначено:

⁹ Модуль математичного моделювання просторово-часової мінливості гідрологічних параметрів морського середовища північно-західної частини Чорного моря розроблено в Гідрографічному центрі на основі програмного забезпечення *Delfi3D Flexible Mesh Suite* кандидатом фізико-математичних наук Олексієм Шунделем і кандидатом геологічних наук Сергієм Федосєнковим.

"Потенційна ефективність удосконалення інформаційного забезпечення морської діяльності зумовлюється високим рівнем залежності якості прийнятих рішень від наявності та своєчасності використання актуальної, повної, достовірної та комплексної океанографічної інформації про обстановку у відповідних морських акваторіях Азово-Чорноморського басейну.

Отримані результати виконання роботи мають практичне значення та перспективи для подальшого використання Військово-Морськими Силами Збройних Сил України, які суттєво зацікавлені у створенні ефективної системи інформаційного забезпечення океанографічними та гідрографічними відомостями про стан морського середовища Азово-Чорноморського басейну, а також інших районів Світового океану.

Науково-технічні результати виконання НДР:

є актуальними, відповідають сучасним потребам у справі розвитку науково-технічного потенціалу Військово-Морських Сил Збройних Сил України та заслуговують на позитивну оцінку;

можуть бути в перспективі впроваджені в діяльність відповідних підрозділів Військово-Морських Сил Збройних Сил України".

Таким чином, створення експериментального зразка гідрофізичного програмно-технологічного комплексу Державною установою "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України" має практичне значення та потенційні перспективи застосування.

Перелік використаних джерел

1. Про результати випробувань функціоналу вибіркового складових експериментального зразка гідрофізичного програмно-технологічного комплексу Державної установи "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України": Акт ДУ "Гідрофізичний центр НАН України" від 08.09.2022. 2022. 3 с.

2. Про результати випробувань функціонування модуля математичного моделювання просторово-часової мінливості гідрологічних параметрів північно-західної частини Чорного моря, проведених в режимі науково-технічного вебінару: Акт ДУ "Гідрофізичний центр НАН України" від 28.12.2022. 2022. 3 с.

3. Блатов А.С., Булгаков Н.П., Иванов В.А., Косарев А.Н., Тужилкин В.С. Изменчивость гидрофизических полей Черного моря / Под ред. Б.А. Нелепо. Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. 240 с.

4. Щодо результатів виконання науково-дослідної роботи "Створення експериментального зразка гідрофізичного програмно-технологічного комплексу як складової системи оброблення та збереження інформаційних ресурсів в інтересах забезпечення військово-морської діяльності Військово-Морських Сил Збройних Сил України": Відгук командування ВМС ЗС України від 30.12.2022. 2022. 2с.

5. Гідрофізичний модульний судновий комплекс : заявка а 2022 00574 Україна : МПК [2021.01] G01S 15/00, G01V 1/38 / О.А. Щипцов, А.Ю. Гордєєв, С.Г. Федосєєнков, О.І. Шундель, С.І. Неверова (Україна); заявник та патентовласник ДУ "Гідрофізичний центр НАН України". № а 2022 00574 заявл. 09.02.2022.

6. Парамонов А.Н., Кушнир В.М., Забурдаєв В.И. Современные методы и средства измерения гидрологических параметров океана. Киев: Наукова думка, 1979. 248 с.

7. Створення експериментального зразка гідрофізичного програмно-технологічного комплексу як складової системи оброблення та збереження інформаційних ресурсів в інтересах забезпечення військово-морської діяльності Військово-Морських Сил Збройних Сил України : звіт про НДР (заключний) / ДУ "Гідрофізичний центр НАН України"; кер. О.А. Щипцов. Київ, 2022. 517 с. № ДР 0121U110836.

8. Створення експериментального зразка інтелектуальної інформаційної системи висвітлення гідрографічної обстановки в акваторіях Чорного моря з використанням океанографічних даних в інтересах навігаційно-гідрографічного забезпечення Збройних Сил України: звіт про НДР (заключний) / ДУ "Гідрофізичний центр НАН України"; кер. О.А. Щипцов. Київ, 2020. 672 с. № ДР 0121U112453.
9. Шундель О.І., Федосєєнков С.Г. Створення системи комплексного моніторингу стану водного середовища Чорного моря шляхом його математичного моделювання. *Екологічна безпека та природокористування*. 2022. Т. 41, №1. С. 111–120. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.1.111-120>
10. Щипцов О.А. Морські наукові дослідження (методологічний базис): наук.-довідк. вид. К.: Логос, 2017. 129 с.
11. Щипцов О.А., Гордєєв А.Ю., Стефанов Г.С., Тимчук І.В., Федосєєнков С.Г. Неможливо керувати тим, що ще не виміряно. *Океанографічний журнал (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану)*. 2021. № 3 (14). С. 59–71.
12. Щипцов О.А., Тучковенко Ю.С., Кушнір Д.В., Гончаренко Р.В., Титюк Т.Г. Автоматизований модельний комплекс для забезпечення діяльності Військово-Морських Сил України оперативними прогнозами океанографічних умов. *Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського*. 2020. № 3 (70). С. 75–83.
13. Deep Sea Research Vessel KAIREI. The Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC): web-site. URL: <https://www.jamstec.go.jp/e/about/equipment/ships/kairei.html> (дата звернення: 26.09.2022).
14. Delft3D Open Source Community. Deltares: web-site. URL: <https://oss.deltares.nl/web/delft3d/home> (дата звернення: 26.09.2022).
15. Delft3D-FLOW, User Manual: Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flow sand transport phenomena, including sediments. Deltares: web-site. 682 p. URL: https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/Delft3DFLOW_User_Manual.pdf (дата звернення: 06.10.2022).
16. Delft3D-WAVE, User Manual: Simulation of short-crested waves with SWAN. Deltares: web-site. 2020. 196 p. URL: https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/Delft3D-WAVE_User_Manual.pdf (дата звернення: 06.10.2022).
17. GEBCO aims to provide the most authoritative, publicly available bathymetry data sets for the world's oceans. GEBCO: web-site. URL: <https://www.gebco.net> (дата звернення: 05.11.2022).
18. NATO - AJP-3.11 Allied joint doctrine for meteorological and oceanographic support to joint forces. URL: <https://standards.global.spec.com/std/10054861/AJP-3.11> (дата звернення: 07.10.2022).
19. NOMADS. Data Transfer: NCEP GFS Forecasts (0.25 degree grid): web-site. URL: http://nomads.ncep.noaa.gov/cgi-bin/filter_gfs_0p25.pl (дата звернення: 25.11.2022).
20. OpenGribs' Mission Statement: web-site. URL: <https://opengribs.org/en> (дата звернення: 05.11.2022).
21. Research Data Archive at the Computational and Information Systems Laboratory. NCEP GFS 0.25 Degree Global Forecast Grids Historical Archive. NCAR: web-site. URL: <https://rda.ucar.edu/datasets/ds084.1/> (дата звернення: 05.11.2022).
22. Terms of use Delft3D Community. Deltares: web-site. URL: <https://oss.deltares.nl/web/delft3d/terms-of-use> (дата звернення: 26.09.2022).
23. The DOI® System: web-site. URL: https://doi.org/10.25423/cmcc/blk_sea_analysisforecast_phy_007_001_eas4 (дата звернення: 05.11.2022).

Experimental sample of the hydrophysical software and technological complex

O.A. Shchypytsov

Shchypytsov, Olexandr Anatoliyovych – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dr. Sci. (Geogr.), Professor, Director of the State Institution "Scientific Hydrophysical Center of the National Academy of Sciences of Ukraine"; E-mail: oceanography@ukr.net

Abstract. The article describes stages and main results of scientific and technical research carried out in 2020-2022 by a team of scientists and qualified oceanographers of the State Institution "Scientific Hydrophysical Centre of the National Academy of Sciences of Ukraine" (with the assistance of hydrographers of the State Institution "State Hydrography" of the State Service of Marine and Inland Water Transport and Shipping of

Ukraine and the Center of Navigation, Hydrography and Hydrometeorology of the Hydrographic Service of the Naval Forces of the Armed Forces of Ukraine) within the framework of research work on the creation of an experimental sample of a hydrophysical software and technological complex as a component of processing and storage system of information resources in the interests of ensuring the implementation of scientific component of naval activity to achieve the desired result. Research methods – applied oceanographic research.

Key words: experimental sample, modular ship complex, integration, intelligent information system, hydrophysical software and technological complex, hydrophysical parameters, oceanographic data, vessel technical devices, Starlink.

References

1. Pro rezultaty vyprobuvan funktsionalu vybirkovykh skladovykh eksperymentalnoho zrazka hidrofizychnoho prohramno-tekhnologichnoho kompleksu Derzhavnoi ustanovy "Naukovyi hidrofizychnyi tsentr Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy" [About the results of functional testing of selected components of the experimental sample of the hydrophysical software and technological complex of the State Institution "Scientific Hydrophysical Center of the National Academy of Sciences of Ukraine"]: DU "Hidrofizychnyi tsentr NAN Ukrainy"; 2022. 3 p. Act [in Ukrainian].

2. Pro rezultaty vyprobuvan funktsionuvannya modulua matematychnoho modeliuвання простorovo-chasovoi minlyvosti hidrolohichnykh parametriv pivnichno-zakhidnoi chastyny Chornoho moria, provedenykh v rezhymy naukovo-tekhnichnoho vebinaru [About the results of tests of the functioning of the module of mathematical modeling of spatio-temporal variability of hydrological parameters of the northwestern part of the Black Sea, conducted in the mode of a scientific and technical webinar]: DU "Hidrofizychnyi tsentr NAN Ukrainy"; 2022. 3 p. Act [in Ukrainian].

3. Blatov AS, Bulgakov NP, Ivanov VA, Kosarev AN, Tuzhilkin VS, Nelepo BA, editor. *Izmenchivost gidrofizicheskikh poley Chernogo morya* [Variability of hydrophysical fields of the Black Sea]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1984. 240 p. [in Russian].

4. Pro rezultaty vykonannya naukovo-doslidnoi roboty "Stvorennia eksperymentalnoho zrazka hidrofizychnoho prohramno-tekhnologichnoho kompleksu yak skladovoi systemy obroblennia ta zberezhennia informatsiinykh resursiv v interesakh zabezpechennia viiskovo-morskoï diialnosti Viiskovo-Morskykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy" [About the results of the research work "Creation of an experimental model of a hydrophysical software-technological complex as a component of the processing and preservation of information resources in the interests of ensuring the naval activities of the Navy of the Armed Forces of Ukraine"]: Komanduvannya VMS ZS Ukrainy; 2022. 2 p. Vidghuk [in Ukrainian].

5. Shchypstov OA., Hordieiev AIu, Fedoseienkov SH, Shundel OI, Nevierova SI, inventors; DU "Hidrofizychnyi tsentr NAN Ukrainy", assignee. *Hidrofizychnyi modulnyi sudnovyi kompleks* [Hydrophysical modular ship complex]. Zaiavka na vydachu patentu Ukrainy a 2022 00574. 2022 Feb 9 [in Ukrainian].

6. Paramonov AN, Kushnir VM, Ziburdaev VI, Paramonov AN, Kushnir VM, Ziburdaev VI. *Sovremennye metody i sredstva izmereniya gidrologicheskikh parametrov okeana* [Modern methods and means of measuring the hydrological parameters of the ocean.] Kiev: Naukova dumka; 1979. 248 p. [in Russian].

7. Stvorennia eksperymentalnoho zrazka hidrofizychnoho prohramno-tekhnologichnoho kompleksu yak skladovoi systemy obroblennia ta zberezhennia informatsiinykh resursiv v interesakh zabezpechennia viiskovo-morskoï diialnosti Viiskovo-Morskykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy [Creation of an experimental model of a hydrophysical software-technological complex as a component of the system for processing and preserving information resources in the interests of ensuring the naval activities of the Naval Forces of the Armed Forces of Ukraine]: zvit pro NDR (zakliuchnyi). Kyiv: DU "Hidrofizychnyi tsentr NAN Ukrainy"; 2022. 517 p. № DR 0121U110836 [in Ukrainian].

8. Stvorennia eksperymentalnoho zrazka intelektualnoi informatsiinoï systemy vysvitlennia hidrohrafichnoi obstanovky v akvatoriiakh Chornoho moria z vykorystanniam okeanohrafichnykh danykh v interesakh navihatsiino-hidrohrafichnoho zabezpechennia Zbroinykh Syl Ukrainy [Creation of an experimental model of an intelligent information system for highlighting the hydrographic situation in the Black Sea water areas using oceanographic data in the interests of navigation and hydrographic support of the Armed Forces of Ukraine]: zvit pro NDR (zakliuchnyi). Kyiv: DU "Hidrofizychnyi tsentr NAN Ukrainy"; 2020. 672 p. № DR 0121U112453 [in Ukrainian].

9. Shundel OI, Fedoseienkov SH. Stvorennia systemy kompleksnoho monitorynhu stanu vodnoho seredovyssha Chornoho moria shliakhom yoho matematychnoho modeliuвання. Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannya [Creation of a system of complex monitoring of the condition of the water environment of the Black Sea by means of its mathematical modeling. Environmental safety and nature management]. 2022;41(1):111–120. DOI:10.32347/2411-4049.2022.1.111-120 [in Ukrainian].
10. Shchypstov OA. Morski naukovi doslidzhennia (metodolohichni bazys) [Marine scientific research (methodological basis)]. Kyiv: Logos; 2017. 129 p. [in Ukrainian].
11. Shchypstov OA, Hordieiev AYu, Stefanov HS, Tymchuk IV, Fedoseienkov SH. Nemozhlyvo keruvaty tym, shcho shche ne vymiriano. Okeanohrafichnyi zhurnal (Problemy, metody ta zasoby doslidzhen Svitovoho okeanu) [It is impossible to manage what has not yet been measured. Oceanographic Journal (Problems, methods and facilities for researches of the World Ocean)]. 2021;3(14):59–71 [in Ukrainian].
12. Shchypstov OA, Tuchovenko YuS, Kushnir DV, Honcharenko RV, Tytiuk TH. Avtomatyzovanyi modelnyi kompleks dlia zabezpechennia diialnosti Viiskovo-Morskykh Syl Ukrainy operatyvnymy prohnozamy okeanohrafichnykh umov. Zbirnyk naukovykh prats Tsentru voienno-stratehichnykh doslidzhen Natsionalnoho universytetu oborony Ukrainy imeni Ivana Cherniakhovskoho [An automated model complex to ensure the activity of the Naval Forces of Ukraine with operational forecasts of oceanographic conditions. Collection of scientific papers of the Center for Military and Strategic Studies of the National Defense University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy]. 2020;3(70):75–83 [in Ukrainian].
13. Deep Sea Research Vessel KAIREI. The Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC) [Internet]. 2022 [cited 2022 Sep 26]. Available from: <https://www.jamstec.go.jp/e/about/equipment/ships/kairei.html>
14. Delft3D Open Source Community. Deltares [Internet]. 2022 [cited 2022 Sep 26]. Available from: <https://oss.deltares.nl/web/delft3d/home>
15. Delft3D-FLOW, User Manual: Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flow sand transport phenomena, including sediments. Deltare [Internet]. 2022 [cited 2022 Oct 6]. Available from: https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/Delft3DFLOW_User_Manual.pdf
16. Delft3D-WAVE, User Manual: Simulation of short-crested waves with SWAN. Deltares [Internet]. 2022 [cited 2022 Oct 6]. Available from: https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/Delft3D-WAVE_User_Manual.pdf
17. GEBCO aims to provide the most authoritative, publicly available bathymetry data sets for the world's oceans. GEBCO [Internet]. 2022 [cited 2022 Nov 5]. Available from: <https://www.gebco.net>
18. NATO - AJP-3.11 Allied joint doctrine for meteorological and oceanographic support to joint forces. [Internet]. 2022 [cited 2022 Oct 6]. Available from: <https://standards.global.spec.com/std/10054861/AJP-3.11>
19. NOMADS. Data Transfer: NCEP GFS Forecasts (0.25 degree grid) [Internet]. 2022 [cited 2022 Nov 25]. Available from: http://nomads.ncep.noaa.gov/cgi-bin/filter_gfs_0p25.pl
20. OpenGribs' Mission Statement [Internet]. 2022 [cited 2022 Nov 5]. Available from: <https://opengribs.org/en>
21. Research Data Archive at the Computational and Information Systems Laboratory. NCEP GFS 0.25 Degree Global Forecast Grids Historical Archive. NCAR [Internet]. 2022 [cited 2022 Nov 25]. Available from: <https://rda.ucar.edu/datasets/ds084.1/>
22. Terms of use Delft3D Community. Deltares [Internet]. 2022 [cited 2022 Sep 26]. Available from: <https://oss.deltares.nl/web/delft3d/terms-of-use>
23. The DOI® System [Internet]. [cited 2022 Nov 25]. Available from: https://doi.org/10.25423/cmcc/blk_sea_analysisforecast_phy_007_001_eas4

Стаття надійшла 15.12.2022