

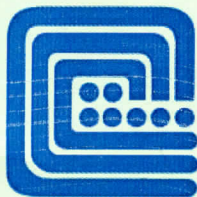
Міністерство освіти і науки України  
Національна Академія наук України  
Академія технологічних наук України  
Інженерна академія України  
Університет Гліндор, м. Рексхем, Великобританія  
Технічний університет Лодзі, Польща  
Технічний університет м. Рига, Латвія  
Технологічний університет м. Таллінн, Естонія  
Університет Екстрамадура, м. Бадахос, Іспанія  
Гомельський державний університет ім. Ф. Скорини, Білорусь  
Інститут проблем математичних машин і систем (ІПММС) НАН України  
Інститут прикладної математики ім. М.В. Келдиша РАН, м. Москва, Росія  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»  
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка  
Чернігівський національний технологічний університет

# **МАТЕМАТИЧНЕ ТА ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ МОДС 2017**

**ДВАНАДЦЯТА МІЖНАРОДНА  
НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ**

*26 - 29 червня 2017 р.*

**Тези доповідей**



**Чернігів 2017**

## ЗМІСТ

К.Е. Якімова, Г.Б. Ефімов, М.В. Ефімова О НИКОЛАЕ ГУРЬЕВИЧЕ ЧЕТАЕВЕ, УЧЕНОМ, ПЕДАГОГЕ И ЧЕЛОВЕКЕ.....	17
СЕКЦІЯ І СУЧАСНІ АСПЕКТИ МАТЕМАТИЧНОГО ТА ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ В ЕКОЛОГІЇ.....	23
О.В.Халченков, І.В.Ковалець КОМПЛЕКС КОМП'ЮТЕРНИХ МОДЕЛЕЙ ТА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ОЦІНКИ АТМОСФЕРНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВІД СХОВИЩ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ .....	24
I.V. Kovalets , S.Y. Maistrenko, A.V. Khalchenkov , T.A. Zagreba, K.V. Khurtsilava , S.N. Anulich , V.P. Bepalov , O.I. Udovenko WEB-BASED SOFTWARE SYSTEM 'POVITRYA' OF OPERATIONAL ATMOSPHERIC POLLUTION FORECASTING IN UKRAINE FOLLOWING TECHNOGENIC ACCIDENTS.....	28
В. Г. Мироненко, Б.О. Антищук МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ГЛИБИНИ ЗАЛЯГАННЯ УЩІЛНЕНОГО ШАРУ ҐРУНТУ РАДІОФІЗИЧНИМ МЕТОДОМ.....	32
А.А. Тимченко СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ КОМПЛЕКСУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АЕС НА ПРИКЛАДІ ЧАЕС .....	34
Д.В. Кушнір, Ю.С. Тучковенко ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВНУТРІШНЬОРІЧНОЇ МІНЛИВОСТІ ГІДРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ ЗА РІЗНИХОБСЯГІВ СТОКУ РІЧКИ ВЕЛИКИЙ КУЯЛЬНИК.....	38
О.А. Тучковенко, Ю.С. Тучковенко, Н.С. Лобода МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОЕКОЛОГІЧНИХ УМОВ В ЛИМАНАХ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я В КОНТЕКСТІ ЗМІН КЛІМАТУ У ХХІ СТОЛІТТІ НА ПРИКЛАДІ ТИЛІГУЛЬСЬКОГО ЛИМАНУ .....	41

2. Тимченко А.А. Системний аналіз процесів зв'язків та взаємодій [текст]. / А.А. Тимченко // Вісник ЧДТУ, 2017. - №1 – С. 111 – 117.  
Під Укриттям-2 четвертий блок розбирають для захоронення [текст]. // Газета «Черкаський край», 12.05.2017.

УДК 551.468.4

## **ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВНУТРІШНЬОРІЧНОЇ МІНЛИВОСТІ ГІДРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ ЗА РІЗНИХ ОБСЯГІВ СТОКУ РІЧКИ ВЕЛИКИЙ КУЯЛЬНИК**

Д.В. Кушнір, Ю.С. Тучковенко

*Одеський державний екологічний університет, Україна*

Куяльницький лиман належить до групи закритих лиманів північно-західного Причорномор'я і є унікальним водним об'єктом загальнодержавного значення, віднесеним до категорії лікувальних.

Метою роботи є оцінка, на підставі результатів математичного моделювання, впливу потенційно можливого у сучасних кліматичних умовах збільшення стоку р. Великий Куяльник на внутрішньорічну просторово-часову мінливість гідрологічних характеристик Куяльницького лиману (рівень води, температура, солоність), які обумовлюють хімічні та біологічні процеси у ньому.

Для вирішення цієї задачі використовувалась нестационарна тривимірна чисельна гідротермодинамічна модель Delft3D-FLOW [1], результати адаптації та верифікації якої до умов Куяльницького лиману опубліковані в роботі [2].

Модель Delft3D-FLOW базується на чисельному вирішенні рівняння Нав'є-Стокса для нестисливої рідини на мілкій воді у наближенні Бусінеска. Система диференціальних прогностичних рівнянь моделі складається з рівнянь руху у горизонтальній площині, рівняння нерозривності, рівнянь переносу тепла та солей, а також двопараметричної  $k-\epsilon$  моделі турбулентності, що замикає ці рівняння. Вертикальні компоненти векторів швидкості течій розраховуються через рівняння нерозривності. Для рівняння швидкості вертикального руху береться гідростатичне наближення. Рівняння стану морської води визначається за формулою ЮНЕСКО. Тепло- та масообмін з атмосферою розраховуються в моделі з використанням напівемпіричних формул.

Кінцево-різницева апроксимація рівнянь моделі виконана на криволинійній розрахунковій сітці  $C$ -типу за класифікацією Аракави: ска-



лярні величини задаються в центрах елементарних розрахункових осередків, а нормальні компоненти швидкості течій – на їх відповідних границях. Часовий крок рішення рівнянь обмежується умовою стабільності Куранта-Фрідрікса-Леві.

Для проведення гідродинамічного моделювання була побудована криволінійна розрахункова сітка, яка складалась з  $39 \times 270$  розрахункових осередків у горизонтальній площині (рис. 1а). Розрахункові осередки сітки мають перемінні розміри: 60-280 м вздовж повздовжньої вісі лиману та 40-210 м – у поперечному напрямку. По вертикалі задавались три розрахункових рівня у криволінійній  $\sigma$ -системі координат. Глибини в лимані (рис. 1б), приведені до позначки рівня води мінус 4,8 м у Балтійській системі висот (БС), задавались на основі плану Куляницького лиману в ізобатах, побудованого за результатами батиметричної зйомки 2009 р.

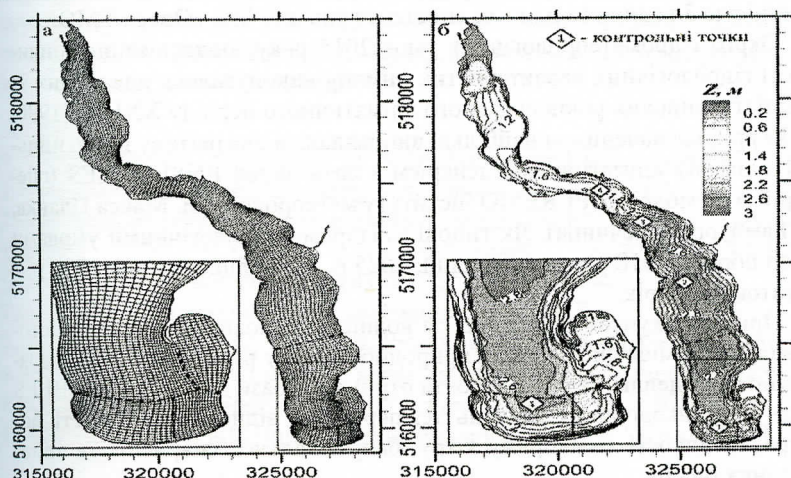


Рис. 1 – Криволінійна розрахункова сітка для акваторії Куляницького лиману (а). Батиметрія лиману та схема розташування контрольних точок для аналізу результатів моделювання (б).

Програмна реалізація чисельних рівнянь моделі дозволила врахувати під час проведення модельних розрахунків висихання-затоплення окремих мілководних ділянок ложа лиману при змінах рівня води у ньому.

Моделювалась внутрішньорічна мінливість гідрологічних характеристик в лимані на відріжку часу з 22.12.2014 р. по 01.11.2015 р. Початок періоду моделювання відповідав моменту відкриття водопропускної

гідротехнічної системи, що дозволяє поповнювати Куяльницький лиман морською водою з Одеської затоки.

При моделюванні враховувались такі прихідні складові водного балансу лиману: обсяги надходження морських вод в лиман через гідротехнічну споруду (водопропуск); прісноводний стік річок, що впадають в лиман; стік з балок та зі ставків пересипу лиману; добові суми опадів на акваторію лиману за даними спостережень на метеопосту «Одеса-Куяльник».

Крім спостережених у 2015 р. значень витрат води р. В. Куяльник, при моделюванні використовувались оцінки середньомісячних витрат природного та побутового стоку річки в лиман за умов 2015 р., розраховані за моделлю «клімат-стік».

Часова мінливість напряму та швидкості вітру, температури та вологості повітря, балу хмарності у період моделювання задавались із дискретністю 3 години за даними спостережень на ГМС «Одеса-ГМО».

Окрім гідрометеорологічних умов 2015 року, моделювання мінливості гідрологічних характеристик лиману виконувалось для різних за водністю типових років сучасного кліматичного періоду XXI ст. (1990-2030 рр.), визначених за найбільш виправданим для регіону Куяльницького лиману кліматичним сценарієм з бази даних ENSEMBLES (сценарій A1B моделі MPI-REMO Інституту метеорології ім. Макса Планка, м. Гамбург, Німеччина). Як типові за гідрометеорологічними умовами були обрані: 2018 р. – маловодний; 2025 р. – середньоводний, 2021 р. – багатоводний рік.

При розрахунках для різних за водністю типових років використовувались щомісячні значення природного стоку р. В. Куяльник, розраховані за моделлю «клімат-стік» та отримані з бази даних ENSEMBLES ряди середньодобових значень температури, відносної вологості повітря, швидкості та напряму вітру, балу загальної хмарності та атмосферних опадів.

Результати розрахунків з використанням прогностичної тривимірної гідротермодинамічної моделі Delft3D-FLOW аналізувались в 4-х обраних контрольних точках на акваторії Куяльницького лиману (рис. 16). Були отримані оцінки змін внутрішньорічної просторово-часової мінливості гідрологічних характеристик Куяльницького лиману за різних обсягів надходження до нього стоку річки Великий Куяльник.

За результатами моделювання встановлено, що:

- провадження водного менеджменту на водозборі р. В. Куяльник, реалізація різних інженерно-технічних заходів, спрямованих на збільшення стоку річки в Куяльницький лиман, будуть суттєво впливати на

його гідроекологічний режим лише у разі забезпечення надходження до лиману не менш 75% від обсягів природного стоку річки;

- збільшення природного стоку р. В. Куяльник не здатне самостійно забезпечити стабілізацію гідроекологічного режиму Куяльницького лиману без періодичного поповнення його морською водою Одеської затоки та здійснення заходів щодо стабілізації та збільшення надходження вод від інших малих водотоків, які впадають в лиман;

- за відсутності поповнення лиману морськими водами та стоком інших малих водотоків, які впадають в лиман, збільшення стоку р. В. Куяльник навіть до 75% від обсягів природного стоку здатне забезпечити стабілізацію річного циклу мінливості рівня та солоності води в лимані лише в багатоводні роки;

- в багатоводні роки температура води в лимані завжди нижча, ніж в середньоводні та маловодні; води мілководної північної ділянки лиману завжди прогриваються сильніше, ніж на більш глибоких ділянках лиману; збільшення стоку р. В. Куяльник впливає на температурний режим лиману, хоча і незначно.

#### Література

1. Delft3D-FLOW. Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments – User Manual. Version 3.15: Посібник користувача гідродинамічної моделі Delft3D-FLOW / Deltares systems // Delft, The Netherlands. 2014. URL: [http://oss.deltares.nl/documents/183920/185723/Delft3D-FLOW\\_User\\_Manual.pdf](http://oss.deltares.nl/documents/183920/185723/Delft3D-FLOW_User_Manual.pdf) (дата звернення 15.04.2017 р.).
2. Тучковенко Ю.С., Кушнір Д.В. Результати чисельного моделювання внутрішньорічної мінливості характеристик гідрологічного режиму Куяльницького лиману // Укр. гідрометеорол. ж. 2016. № 17. С. 137 – 149. URL: <http://uhmj.odeku.edu.ua/uk/category/2016-uk/17-uk>.

УДК 504.4.054; 504.4.06

### МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОЕКОЛОГІЧНИХ УМОВ В ЛИМАНАХ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я В КОНТЕКСТІ ЗМІН КЛІМАТУ У ХХІ СТОЛІТТІ НА ПРИКЛАДІ ТИЛІГУЛЬСЬКОГО ЛИМАНУ

О.А. Тучковенко, Ю.С. Тучковенко, Н.С. Лобода  
*Одеський державний екологічний університет*

Для оцінки впливу очікуваних у ХХІ ст. змін клімату на гідроекологічні умови в лиманах Північно-західного Причорномор'я на прикладі Тилігульського лиману використовувалась математична модель