

УДК 504.064

МОДЕЛЮВАННЯ СЦЕНАРІЇВ РОЗВИТКУ АВАРІЙНИХ РОЗЛИВІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН У БУЗЬКО-ДНІПРОВСЬКОМУ СУДНОХІДНОМУ КАНАЛІ

С. С. Рижков, І. В. Тимченко, О. Л. Гіржева

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
пр. Героїв Сталінграду 9, м. Миколаїв, 54025, Україна, E-mail: timchenko_inni@mail.ru

Наведені результати дослідження динаміки розповсюдження забруднюючих речовин в акваторії лиманного суднохідного каналу за розробленими сценаріями розвитку аварійних ситуацій. Моделювання проведено на основі імітаційних моделей поширення забруднюючих речовин у водному середовищі з урахуванням гідрологічних та гідрохімічних характеристик ділянок каналу. Розроблена імітаційна програма дозволяє моделювати поширення нафтопродуктів та інших забруднюючих речовин з урахуванням гідрологічних і гідрохімічних характеристик акваторії, а також інтенсивності випаровування нафтопродуктів у перші години забруднення.

Ключові слова: екологічна безпека, імітаційна модель, шкідлива речовина, дифузія, акваторія.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЦЕНАРИЕВ РАЗВИТИЯ АВАРІЙНЫХ РАЗЛИВОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В БУГСКО-ДНЕПРОВСКОМ СУДОХОДНОМ КАНАЛЕ

С. С. Рыжков, И. В. Тимченко, Е. Л. Гиржева

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова
пр. Героев Сталинграда, 9, г. Николаев, 54025, Украина, E-mail: timchenko_inni@mail.ru

Представлены результаты исследования динамики распространения загрязняющих веществ в акватории лиманного судоходного канала согласно разработанным сценариям развития аварийных ситуаций. Моделирование проведено на основе имитационных моделей распространения загрязняющих веществ в водной среде с учётом гидрологических и гидрохимических характеристик участков канала. Разработанная имитационная программа позволяет моделировать распространение нефтепродуктов и других загрязняющих веществ с учетом гидрологических и гидрохимических характеристик акватории, а также интенсивности испарения нефтепродуктов в первые часы загрязнения.

Ключевые слова: экологическая безопасность, имитационная модель, вредное вещество, диффузия, акватория.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ На сьогоднішній час Дніпро-Бузький суднохідний лиманний канал (ДБЛК) характеризується інтенсивним судноплаванням, розташуванням великих суднобудівних заводів, морських терміналів та інших підприємств, які є джерелами постійних та аварійних забруднень його акваторії небезпечними речовинами. Разом із тим, лиман має статус рибогосподарського водойма вищої категорії, а також охоплює рекреаційні та природоохоронні об'єкти. Найбільш небезпечні та поширені аварійні ситуації пов'язані із забрудненнями водного середовища нафтою та нафтопродуктами, а також осадженням пилу калійних та азотних добрив, фосфоритів й червоного шламу зі шламосховища [1, 2].

Метою роботи є моделювання сценаріїв розвитку аварійних розливів шкідливих рідин на основі створених імітаційних моделей поширення забруднень на водній поверхні для формування бази даних попереднього комплексу заходів із забезпечення екологічної безпеки лиманного каналу.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Розроблено сценарії розвитку аварійних ситуацій з розливами нафтопродуктів при перевантаженні на рейді та біля причалів порту, при бункеровці суден, а також аварійних ситуацій із залповим скидом стічних вод.

Розроблені сценарії базуються на результатах імітаційного моделювання поширення забруднюючих

речовин у водному середовищі та наведені у вигляді елемента бази даних системи комп'ютерного моніторингу процесів перевантаження шкідливих речовин.

Проведено аналіз сучасних моделей поширення забруднюючих речовин на водній поверхні [3–5]. Математичною моделлю динаміки поширення забруднюючих речовин (ЗР) обрано модель конвективної дифузії неконсервативних речовин для моделювання розповсюдження нафтової плями (НП) [6] і модель дифузії в нерухомому середовищі з урахуванням потужності джерела викиду для моделювання розповсюдження ЗР у складі скидів стічних вод.

Сформовано деякі припущення та доповнення:

1. Перенесення забруднень здійснюється в поверхневому шарі води вздовж течії (по координаті x) при цьому:

– домінуючий вплив на розповсюдження НП оказують вітрові течії, швидкість якої визначається за аналітичним рівнянням [7]:

$$V = K_{sh} V_v \sqrt{3+10h}, \quad (1)$$

де K_{sh} – коефіцієнт, що залежить від схилу дна русла (табличні дані); V_v – швидкість вітру на висоті 2 м над водою, м/с; h – середня висота хвилі, м;

– коефіцієнт турбулентної дифузії розраховується за аналітичним рівнянням [7]:

$$A_x = gHV / fK_{sh}, \quad (2)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с; H – середня глибина лиману, м; f – функція, що залежить від схилу дна (табличні дані).

2. Модель включає компоненту самоочищення для всіх ЗР, які потрапили у лиман при аварійному скиді стічних вод. При цьому коефіцієнт самоочищення задається як $K=e^{(-K)}$, де K – коефіцієнт неконсервативності речовин (табличні дані), t – час, проходження забруднюючої речовини між визначеними створами.

3. Модель конвективної дифузії НП включає компоненту, що враховує інтенсивність випаровування в перші години надходження ЗР у водойму [6]. Швидкість зміни концентрації внаслідок випаровування приймається квазістаціонарною на відповідному проміжку часу та залежить від властивостей окремих фракцій нафти:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = const = \varepsilon = \sum_{l=1}^4 \frac{K_{al} P_l M_l m_l}{RT_{cep} m}, \quad (3)$$

де C – концентрація нафти в поверхневому шарі води; P_l – парціальний тиск l -ої фракції нафти Па, при даній температурі середовища над поверхнею плями T_c , °С; M_l – молярна маса нафти, г/моль; R – універсальна газова стала, Дж/моль·К; m_l та m – маса відповідно l – ої фракції та нафти в цілому, г; K_{al} – коефіцієнт масапереносу в атмосфері, що розраховується в залежності від швидкості вітру та типу нафти, $K_{al} = 1,25 \cdot 10^{-3} |V|$, м/с.

При цьому спрощене рівняння уточнено, наступним шляхом:

– нафту представлено у вигляді чотирьох легких фракцій з різними характеристиками (коефіцієнтом масапереносу, парціальним тиском, масою та малярною масою);

– випаровування розглядалось як квазістаціонарний процес у дискретні проміжки часу, які визначені експериментальним шляхом з урахуванням властивостей випаровування легких фракцій.

4. Модель турбулентної дифузії в нерухомому середовищі включає функцію потужності джерела скиду стічних вод за умови тривалого скиду.

За методом кінцево-різницевої апроксимації отримано скореговану рекурентну форму моделі динаміки розповсюдження ЗР [8], яка в загальному вигляді враховує зміну об'єму забруднення під дією сил течії і вітру, турбулентної дифузії, випаровування та біохімічної трансформації:

$$C_{ij}^{t+1} = C_{ij}^t + (-V(C_{i+1,j}^t - C_{ij}^t) / \Delta x + A_x (C_{i+2,j}^t - 2C_{i+1,j}^t + C_{ij}^t) / \Delta x^2 - \varepsilon C_{ij}^t - KC_{ij}^t) \Delta t, \quad (4)$$

де C – концентрація ЗР у поверхневому шарі води, кг/м³; Δx , Δt – відповідні кроки по координатам x та часу; t , i – параметри решітки різницевої схеми; V – швидкість вітрової течії, м/с (1); A_x – коефіцієнт горизонтальної турбулентної дифузії (2).

Проведено дослідження стійкості чисельного рішення за визначеним числом Куранта, \tilde{C} [9] та визначено співвідношення часового та просторового кроку:

$$\tilde{C} = \frac{2A_x \Delta t}{dx^2} \leq 1$$

де Δt – часовий крок; dx – просторовий крок.

Імітаційна модель динаміки ЗР у водному середовищі за умови незначного впливу вітрових збурень описується параболічним диференціальним рівнянням:

$$C_{ij}^{t+1} = C_{ij}^t + A_x (C_{i+2,j}^t - 2C_{i+1,j}^t + C_{ij}^t) / \Delta x^2 + Q - KC_{ij}^t \Delta t, \quad (5)$$

де Q – потужність джерела викиду, кг/м³·с.

У статті надано результати дослідження імітаційних моделей на прикладі деяких ймовірних сценаріїв розвитку аварійних ситуацій (рис. 1).

	Сценарій А	Сценарій В	Сценарій С	Сценарій D
Забруднююча речовина	Дизельне паливо	Дизельне паливо	Дизельне паливо	Нафтові води
Маса ЗР, кг	30000	1000	200	-
Густина ЗР, кг/м ³	750	750	750	-
Концентрація ЗР, кг/м ³	300	345	100	85
Глибина водойми, м	11	2	2	3,5
Швидкість вітру, м/с	5 (6,4)	5 (6,4)	5 (6,4)	1 (1,14)
Коефіцієнт дифузії, м ² /с	13,39	3,37	3,37	3,34
Концентрація ЗР, кг/м ³ при				
t=900 с	610	270	80	-
t=1800 с	402	210	75	-
t=3600 с	250	100	45	-
t=7200 с	120	59	40	-

Рисунок 1 – Діалогове вікно даних моделювання (елемент бази даних концентрацій ЗР)

Сценарій А: розлив дизельного палива (30 т) в районі рейду порту внаслідок порушення технологічного процесу бункерування. Тривалість скиду – 2 хв. Погодні умови: легкий вітер, незначне хвилювання, температура повітря – 20 °С, Глибина водойми – 11 м.

Сценарій В: експлуатаційний розлив дизельного палива (1 т) в районі причалу порту. Характер скиду – залповий. Погодні умови: швидкість вітру – 5 м/с, незначне хвилювання, температура повітря – 20 °С, глибина водойми – 2 м.

Сценарій С: аварійний розлив дизельного палива (200 кг) в районі причалу порту. Характер скиду – залповий. Погодні умови: швидкість вітру – 5 м/с, незначне хвилювання, температура повітря – 20 °С, глибина – 2 м.

Сценарій D: несанкціонований скид нафтовмісних вод в районі причалу порту (через

колектор міської каналізації). Початкова концентрація нафтопродуктів 85 г/м^3 . Погодні умови – безвітряно.

Результати імітаційного моделювання за запропонованими сценаріями розвитку ситуації наведено на рис. 2, 3.

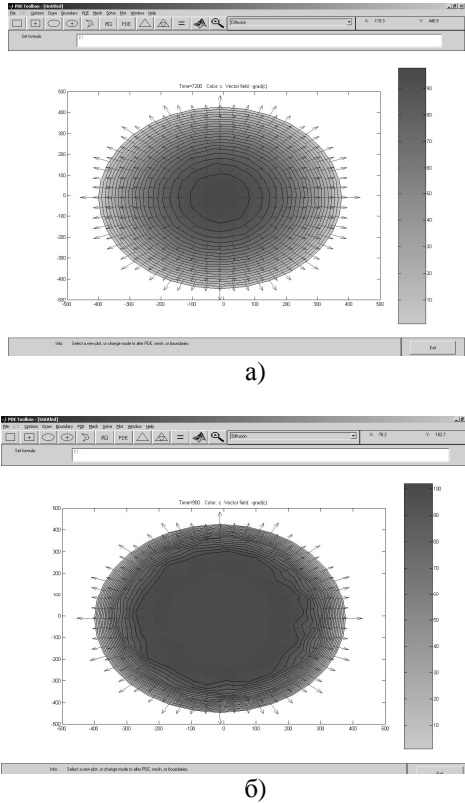


Рисунок 2 – Діалогові вікна програм розрахунку динаміки ЗР за рівнянням (5), згідно сценарію D: а – за час 7200 с; б – за час 900 с

На рис. 3 наведено результати моделювання зміни концентрації нафтопродуктів згідно з умовами сценаріїв A, B, C.

На рис. 3, в наведено результати перевірки адекватності моделі (4) на основі результатів моделювання розливу 100 кг нафтопродуктів та натурних даних про розлив, а саме зміну концентрації впродовж чотирьох діб.

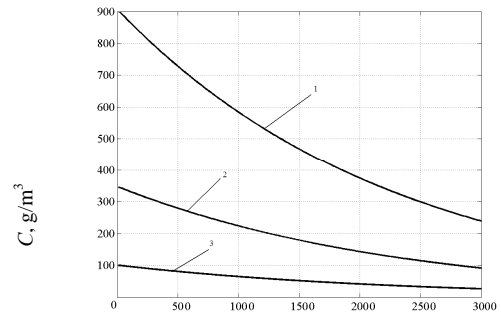
Для аналізу використано результати проб забруднення в центрі плями. Найбільше середнє квадратичне відхилення (s), не перевищує 11 % та розраховано як

$$s = 100\% \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ((C_i - C_{\text{exp}_i}) / C_{\text{exp}_i})^2},$$

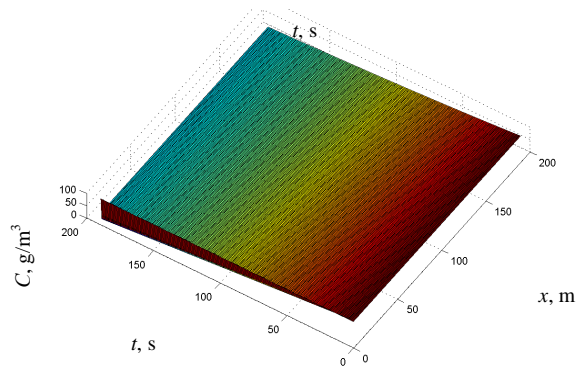
де C_{exp_i} – експериментальна концентрація; n – кількість проб з забрудненою водою.

Наведені результати вводяться в базу даних і дають змогу оцінити очікувані площі забруднення, концентрації ЗР у будь-який момент часу та будь-якій точці розливу, час досягнення ЗР фонові концентрації та, тим самим, визначити очікувані

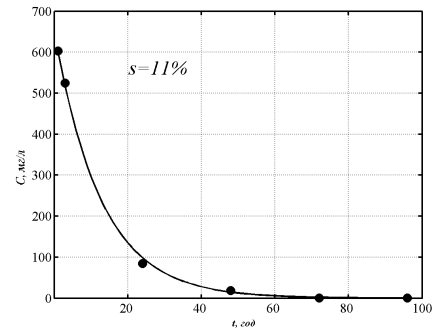
рівні екологічного ризику різнотипних аварійних ситуацій, а також прогнози наслідки забруднень для акваторії.



а)



б)



в)

Рисунок 3 – Результати моделювання зміни концентрації ЗР із часом за рівнянням (4): а – згідно з умовами: 1 – сценарій A; 2 – сценарій B; 3 – сценарій C; б – за сценарієм C; в – у центрі плями

ВИСНОВКИ. Аналіз результатів моделювання та порівняння з даними натурних досліджень (даними про зміни концентрацій ЗР при реальних розливах нафтопродуктів) дозволяє зробити висновки, що розроблена програма на основі моделі (4) дозволяє моделювати поширення нафтопродуктів та інших забруднюючих речовин з урахуванням гідрологічних і гідрохімічних характеристик акваторії (виду мулових відкладень, глибини та схилу дна), а також інтенсивності випаровування нафтопродуктів у перші години забруднення.

Крім того, враховуючи обмеженість акваторії ДБЛК, при незначному хвилюванні, розроблена

комп'ютерна програма на основі моделі (5) з достатньою достовірністю дозволяє моделювати розповсюдження ЗР на водній поверхні (при швидкості вітру до 3 м/с), а також є ефективною при моделюванні поширення ЗР унаслідок тривалого скиду за рахунок вмісту функції потужності джерела забруднення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стан поверхневих вод [Електронний ресурс] // Державне управління охорони навколишнього природного середовища в Миколаївській області . – 2012. – Режим доступу: <http://www.duecomk.gov.ua>.
2. Багатофакторний аналіз рівнів екологічної небезпеки прибережних районів акваторії лиманного каналу / С.С.Рижков, І. В. Тимченко, О. Л. Гіржева // Тези доповіді 2-й Міжн. конгресу «Захист навколишнього природного середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», – Львів, 2012. – С. 19.
3. Основы математического моделирования процессов физико-химического и биологического самоочищения водных экосистем / В.И. Лаврик // Гидробиологический журнал. – 1999. – Т. 35 – № 3. – С. 15 – 39.
4. Моделі процесів забруднення та самоочищення водного середовища / В.Д.

Погребенник, М.М. Мельник, О.О. Червінка: доклады Межд. науч.-техн. семинара «Системы контроля окружающей среды – 2002». – Севастополь, 2002. – С. 41–47.

5. Mokin V.B. Simulation of dynamics of processes of water biological purification with account of their serial-concurrent interrelation in the aquatic systems // Hydrobiological journal. – 2012. – № 48. – С. 100–107.

6. Тимченко І.В. Вдосконалення системи комп'ютеризованого екологічного моніторингу перевантаження шкідливих рідин в акваторіях морських портів: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 21.06.01. – М., 2010. – 21 с.

7. Караушев А.В. Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод / – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 285 с.

8. Рекурентна модель динаміки нафтового поля / Д. Підпригора, І. Тимченко // Матеріали Міжн. наук.-техн. конф. наук. конф. «Проблеми екології та енергосбереження в судостроєнні». – Миколаїв, 21–23 грудня 2005 р. / – Миколаїв: НУК, 2005. – С. 229.

9. Кирьянов Д.В. Вычислительная физика.– М.: Полибук Мультимедиа, 2006. – 352 с.

MODELLING OF SCENARIOS FOR HARMFUL SUBSTANCES EMERGENCY SPILLS DEVELOPMENT IN DNIEPER-BUG FAIRWAYS

S. Rizhkov, I. Tymchenko, O. Girzheva

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

vul. Heroes Stalingrad, 9, Mykolaev, 54025. E-mail: timchenko_inni@mail.ru

Presents the results of studying the dynamics of pollutants spreading into waters of estuary fairways in scenarios of emergency situations. Modelling is conducted on the basis of simulation models of pollutants spread in the aquatic environment. All this is carried out considering hydrological and hydrochemical characteristics of the channel plots. The developed simulation program allows to simulate the spread of oil and other pollutants on the basis of hydrological and hydrochemical characteristics of the area and intensity of evaporation of oil in the early hours of contamination.

Key words: environmental safety, simulation model, hazardous substances, diffusion, water area.

REFERENCES

1. The condition of surface waters [Electronic resource] // State Department of Environmental Protection in Mykolaiv region . – 2012. – Access mode: <http://www.duecomk.gov.ua>. [in Ukrainian]
2. Multivariate analysis of the ecological hazard of waters estuary channel on coastal areas levels / S.S. Ryzhkov, I.V. Tymchenko, O. L. Hirzheva // Report theses of the 2-nd Int. congress «Protecting of the environment. Energy-saving. Balanced nature management». – Lviv, 2012. – P. 19. [in Ukrainian]
3. Principles of mathematical modeling of physico-chemical and biological natural purification of aquatic ecosystems / V.I. Lavrik // Hydrobiological journal. – 1999. – Т. 35 – № 3. – P. 15–39. [in Russian]
4. Models of purification and pollution processes of the aquatic environment / V.D. Pogrebennik, M.M. Melnik, O.O. Chervinka: the reports of Int. sc.-techn. seminar «Systems of environmental control – 2002». – Sevastopol, 2002. – P. 41–47. [in Ukrainian]

5. Mokin V. B. Simulation of dynamics of water natural purification processes considering their serial-concurrent interrelation in the aquatic systems // Hydrobiological journal. – 2012. – № 48. – P. 100–107.

6. Tymchenko I.V. Improvement of the system of computerized ecological monitoring of hazardous liquids overloading in seaports areas.: dissertation for the degree of candidate of technical sciences. 21.06.01. – М., 2010. – 21 p. [in Ukrainian]

7. Karashev A.V. Methodological bases of an estimation and regulation of the human impact on surface water quality. – L.: Gidrometeoizdat, 1987. – 285 p. [in Russian]

8. Recurrent model of oil fields dynamics / D. Pidoprygora, I. Tymchenko // The materials of Int. sc.-techn. conf. «Problems of ecology and energy saving in shipbuilding». – Mykolaiv, Dec. 21–23 2005. – Миколаїв: НУК, 2005. – P. 229. [in Ukrainian]

9. Kiryanov D.V. Computational Physics.– М.: Polibuk Multimedia, 2006. – 352 p. [in Ukrainian]

Рекомендовано до друку д.т.н., проф. Шмандієм В.М.