

5. Самарский А. А. Теория разностных схем / А. А. Самарский.– Москва : Наука, 1983. –616 с.
6. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде [Текст] / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К. : Наук.думка, 1997. – 368 с.
7. Biliaiev M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography, *Air Pollution Modeling and its Application XXI (Springer)*. – 2012. P. 87-91.
8. Biliaiev M., Pshinko O., Rusakova T., Biliaieva V., Sladkowski A. Computer Model for Simulation of Pollutant Dispersion Near the Road with Solid Barriers. *Transport Problems, Volume 16, Issue 2, Part 1*, – 2021. P.73-86. DOI: 10.21307/tp-2021-024

ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ УРАЖЕННЯ ВОДОЛАЗА У ВИПАДКУ РОБОТИ В АГРЕСИВНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Біляєв М. М.

*доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри «Гідравліка та водопостачання»,
Український державний університет науки і технологій*

Біляєва В. В.

*кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри «Аерогідромеханіка та енергомасоперенос»,
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара*

Гулько О. Ю.

*кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри «Гідравліка та водопостачання»,
Український державний університет науки і технологій*

Козачина В. А.

*кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри «Гідравліка та водопостачання»,
Український державний університет науки і технологій*

Татарко Л. Г.

*кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри «Енергетики»,
Український державний хіміко-технологічний університет*

ASSESSMENT OF THE RISK OF DIVING IN THE CASE OF WORKING IN AN AGGRESSIVE ENVIRONMENT

Biliaiev M.

*Doctor of Technical Sciences, Professor
Head of The Department «Hydraulics and Water Supply»,
Ukrainian State University of Science and Technology*

Biliaieva V.

*PhD, Associate Professor of The Department
«Fluid Dynamics, Energy and Mass Transfer»,
Dniprovsk National University after Oles Gonchar*

Gunko O.

*PhD, Associate Professor of The Department «Hydraulics and water supply»,
Ukrainian State University of Science and Technology*

Kozachyna V.

*PhD, Associate Professor of The Department «Hydraulics and water supply»,
Ukrainian State University of Science and Technology*

Tatarko L.

*PhD, Associate Professor of The Department «Power engineering»,
Ukrainian State University of Chemical Technology*

Abstract:

The development of a numerical model for assessing the risk of chemical or thermal damage to divers during repair work on damaged underwater pipelines is considered. A two-dimensional mass transfer equation is used to model the chemical pollution of the water area. The energy equation is used to model the process of thermal pollution of the water area. The calculation of flow hydrodynamics is based on the Euler equations. An explicit finite-difference scheme is used to numerically integrate the energy equation. Splitting schemes are used for numerical integration of Euler equations. An implicit difference splitting scheme is used to numerically integrate the mass transfer equation. The software implementation of the constructed numerical model is carried out. The results of a computational experiment are presented.

Анотація:

Розглядається розробка чисельної моделі для оцінювання ризику хімічного або термічного ураження водолазів при проведенні ремонтних робіт на пошкоджених підводних трубопроводах. Для моделювання хімічного забруднення акваторії використовується двовимірне рівняння масопереносу. Для моделювання процесу теплового забруднення акваторії використовується рівняння енергії. Розрахунок гідродинаміки потоку здійснюється на базі рівнянь Ейлера. Для чисельного інтегрування рівняння енергії використовується явна кінцево-різницева схема. Для чисельного інтегрування рівнянь Ейлера використовуються схеми розщеплення. Для чисельного інтегрування рівняння масопереносу використовується неявна різницева схема розщеплення. Здійснена програмна реалізація побудованої чисельної моделі. Представлено результати обчислювального експерименту.

Keywords: water pollution, numerical simulation, diver, ecology, labor protection

Ключові слова: забруднення водного середовища, чисельне моделювання, водолаз, екологія, охорона праці

Постановка проблеми.

Оцінювання ризику ураження водолаза, що працює в зоні теплового або хімічного забруднення річки [1] – є важливою задачею, який ще не приділяється особлива увага. Такий ризик виникає тому, що на дні багатьох річок де розташовані різного роду трубопроводи, що транспортують небезпечні, агресивні рідини можливе формування значних зон хімічного або термічного забруднення, що може привести до травмування водолазів. Тому, при проведенні таких підводних робіт потрібно заздалегідь знати зони інтенсивного хімічного забруднення акваторії, щоб уникнути негативного впливу на водолаза та появи ризику ураження.

Розглянемо побудову математичної моделі для оцінювання ризику хімічного або термічного ураження водолаза при прориві підводного трубопроводу, що транспортує, наприклад, хімічно небезпечну рідину.

Для визначення полів хімічного забруднення акваторії при витокі небезпечної речовини з пошкодженого підводного трубопроводу використовується рівняння масопереносу [2, 3, 4]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} = \text{div}(\mu \text{grad } C) + Q \cdot \delta(x - x_i) \cdot \delta(y - y_i), \quad (1)$$

де C – концентрація хімічно небезпечної речовини; u, v – компоненти вектору руху водного потоку; $\mu = (\mu_x, \mu_y)$ – коефіцієнти дифузії; x_i, y_i – декартові координати; t – час; Q – інтенсивність емісії хімічно небезпечної речовини з пошкодженого підводного трубопроводу.

Граничні умови такі:

– на межі, де потік води «втікає»: $C = 0$;

– на межі області, де потік води «виходить» з області: $\left. \frac{\partial C}{\partial n} \right|_{\Gamma} = 0$ (n – одиничний вектор зовнішньої нормалі до межі Γ);

– на твердих поверхнях реалізується умова

$$\left. \frac{\partial C}{\partial n} \right|_{\Gamma} = 0.$$

Початкова умова: для $t = 0$: $C = 0$ в розрахунковій області.

Визначення зони хімічного забруднення в акваторії дозволяє визначити зони можливого ризику для водолаза – зони, де концентрація, наприклад, кислоти, перевищує допустиму величину та може пошкодити обладнання водолаза.

При емісії нагрітих вод в акваторію потрібно визначити зону теплового забруднення її. Для рішення цієї задачі використовується рівняння енергії:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} = \text{div}(a \text{grad } T), \quad (2)$$

де T – температура води в акваторії; u, v – компоненти вектору руху потоку; $a = (a_x, a_y)$ – коефіцієнти температуропровідності; x_i, y_i – декартові координати; t – час.

Крайові умови для рівняння енергії такі:

– на межі, де потік води «втікає»: $T = T_a$, де T_a

– температура води в акваторії до емісії нагрітих вод;

– на межі області, де потік води «виходить» з області: $\left. \frac{\partial T}{\partial n} \right|_{\Gamma} = 0$ (n – одиничний вектор зовнішньої нормалі до межі Γ);

– на твердих поверхнях реалізується умова

$$\left. \frac{\partial T}{\partial n} \right|_{\Gamma} = 0.$$

Початкова умова: для $t = 0$: $T = T_a$ в розрахунковій області.

Для рішення задачі гідродинаміки використовуються рівняння Ейлера, що записані в змінних «вихор – функція току» [4]:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial u\omega}{\partial x} + \frac{\partial v\omega}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial y} = u; \frac{\partial \psi}{\partial x} = -v \quad (4)$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = -\omega \quad (5)$$

де ω – вихор; ψ – функція току; $\bar{V}(u, v)$ – швидкість водного потоку.

Для цих моделюючих рівнянь використовуються граничні умови [4]:

1. Нижня тверда поверхня $\psi = \text{const}$.

2. Верхня межа $\psi = \text{const}$.

3. На вхідній межі вихору $\psi|_{\text{вхід}} = \psi(y)$, $\omega|_{\text{вхід}} = 0$.

4. На твердій межі $\frac{\partial \omega}{\partial n} = 0$.

5. На межі виходу потоку – м'яка умова [4].

Початкова умова: $\omega|_{t=0} = 0$ для $t = 0$.

Розглянемо побудову чисельної моделі. Для чисельного інтегрування рівняння (3) здійснюється його розщеплення:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial u \omega}{\partial x} = 0, \quad (6)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial v \omega}{\partial y} = 0. \quad (7)$$

Для рівняння (6) використовуються два різницевих рівняння:

$$\frac{\omega_{i,j}^{n+1/2} + \omega_{i,j}^n}{\Delta t} + \frac{u_{i+1,j}^+ \omega_{i,j}^{n+1/2} - u_{i,j}^+ \omega_{i-1,j}^{n+1/2}}{\Delta x} = 0,$$

$$\frac{\omega_{ij}^{n+1} - \omega_{ij}^{n+1/2}}{\Delta t} + \frac{u_{i+1,j}^- \omega_{i+1,j}^{n+1} - u_{i,j}^- \omega_{i,j}^{n+1}}{\Delta x} = 0.$$

Невідоме значення вихору визначається з цих залежностей так:

$$\omega_{i,j}^{n+1/2} = \omega_{i,j}^n - \nabla t \frac{u_{i+1,j}^+ \omega_{i,j}^{n+1/2} - u_{i,j}^+ \omega_{i-1,j}^{n+1/2}}{\Delta x},$$

$$\omega_{ij}^{n+1} = \omega_{ij}^{n+1/2} - \nabla t \frac{u_{i+1,j}^- \omega_{i+1,j}^{n+1} - u_{i,j}^- \omega_{i,j}^{n+1}}{\Delta x}.$$

Для рівняння (7) використовується така апроксимація:

$$\frac{\omega_{i,j}^{n+1/2} + \omega_{i,j}^n}{\Delta t} + \frac{v_{i,j+1}^+ \omega_{i,j}^{n+1/2} - v_{i,j-1}^+ \omega_{i,j-1}^{n+1/2}}{\Delta y} = 0,$$

$$\frac{\omega_{ij}^{n+1} - \omega_{ij}^{n+1/2}}{\Delta t} + \frac{v_{i,j+1}^- \omega_{i,j+1}^{n+1} - v_{i,j-1}^- \omega_{i,j}^{n+1}}{\Delta y} = 0.$$

Невідоме значення вихору визначається з цих залежностей так:

$$\omega_{i,j}^{n+1/2} = \omega_{i,j}^n - \nabla t \frac{v_{i,j+1}^+ \omega_{i,j}^{n+1/2} - v_{i,j-1}^+ \omega_{i,j-1}^{n+1/2}}{\Delta y},$$

$$\omega_{ij}^{n+1} = \omega_{ij}^{n+1/2} - \nabla t \frac{v_{i,j+1}^- \omega_{i,j+1}^{n+1} - v_{i,j-1}^- \omega_{i,j}^{n+1}}{\Delta y}.$$

Таким чином, невідомий параметр ω_{ij} , на кожному верхньому часовому кроці, розраховується на базі явної формули.

Значення вихору в кутовій точці розраховується за методикою, що наведена в [4].

Для розв'язку рівняння (5) його записують в такому вигляді:

$$\frac{\partial \psi}{\partial \eta} = \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \omega,$$

де η – фіктивний час.

Далі, використовується така різницева схема розщеплення [3, 4]:

$$\frac{\psi_{i,j}^{n+1/2} - \psi_{i,j}^n}{\Delta t} = \left[\frac{-\psi_{i,j}^{n+1/2} + \psi_{i-1,j}^{n+1/2}}{\Delta x^2} \right] + \left[\frac{-\psi_{i,j}^{n+1/2} + \psi_{i,j-1}^{n+1/2}}{\Delta y^2} \right],$$

$$\frac{\psi_{i,j}^{n+1} - \psi_{i,j}^{n+1/2}}{\Delta t} = \left[\frac{\psi_{i+1,j}^{n+1} - \psi_{i,j}^{n+1}}{\Delta x^2} \right] + \left[\frac{\psi_{i,j+1}^{n+1} - \psi_{i,j}^{n+1}}{\Delta y^2} \right].$$

$$\psi_{i,j}^{n+2} = \psi_{i,j}^{n+1} + \Delta \eta \omega_{i,j}^k,$$

де

$$\omega_{i,j}^k = 0.25 \cdot (\omega_{i,j} + \omega_{i-1,j} + \omega_{i,j-1} + \omega_{i-1,j-1}).$$

З цих залежностей, розрахунок невідомого значення параметра ψ_{ij} здійснюється за явною формулою.

Розрахунок функції току ψ_{ij} припиняється, коли виконується умова:

$$|\psi_{i,j}^{n+2} - \psi_{i,j}^n| \leq \varepsilon,$$

де ε – мале число; n – номер ітерації.

Компоненти вектору швидкості потоку розраховуються на сторонах різницевих комірок так:

$$u_{i,j} = \frac{\psi_{i,j+1} - \psi_{i,j}}{\Delta y},$$

$$v_{i,j} = -\frac{\psi_{i+1,j} - \psi_{i,j}}{\Delta x}.$$

Після розрахунку поля швидкості водного потоку здійснюється рішення моделюючих рівнянь (1), (2).

Чисельне інтегрування рівняння енергії здійснюється на базі явної різницевої схеми [3]:

$$T_{i,j}^{n+1} = T_{i,j}^n + \nabla t \frac{T_{i+1,j}^n - 2T_{i,j}^n + T_{i,j}^n}{\Delta x^2} a_x + \nabla t \frac{T_{i,j+1}^n - 2T_{i,j}^n + T_{i,j-1}^n}{\Delta y^2} a_y.$$

Для чисельного інтегрування рівняння (1) використовується неявна різницева схема розщеплення [4].

Здійснена програмна реалізація побудованої чисельної моделі.

Практичне застосування моделі. Побудована чисельна модель була використана для рішення такої модельної задачі. Розглядається пошкодження підводного трубопроводу (перший сценарій) або двох (другий сценарій), внаслідок чого, в акваторію почала поступати хімічно небезпечна речовина (сірчана кислота). Моделювання здійснювалося при таких даних (рис. 1): довжина розрахункової області 5.35м, глибина водоймища 4.35м; швидкість потоку 0.1м/с; концентрація кислоти в акваторії до аварії $C=0$. На місці витоку з пошкодженого підводного трубопроводу покладається, що концентрація домішки $C=100\%$.

Нижче на рисунках показано зону хімічного забруднення акваторії при аварійному витоку кислоти з пошкоджених підводних трубопроводів.

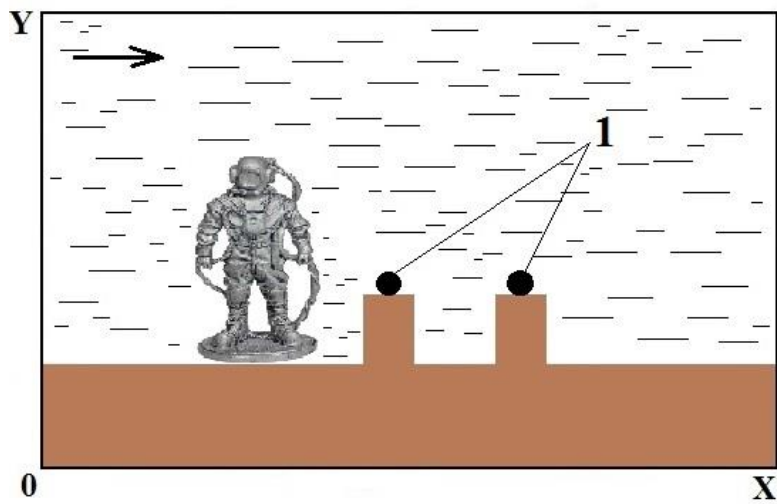


Рис.1. Схема розрахункової області: 1 – підводні трубопроводи

На рисунках наведено значення концентрації кислоти у відсотках від максимального значення, що має місце біля отвору в пошкодженому трубоп-

роводі. Зона забруднення акваторії наведена для певного часу після початку витoku з пошкодженого трубопроводу.

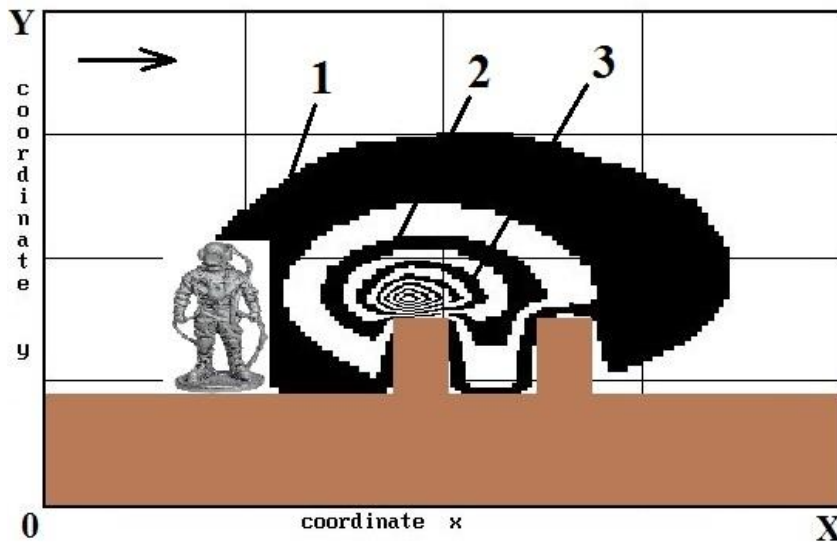


Рис.2. Зона хімічного забруднення акваторії, $t=17.1c$ (перший сценарій):
1 – $C=4\%$; 2 – $C=25\%$; 3 – $C=40\%$

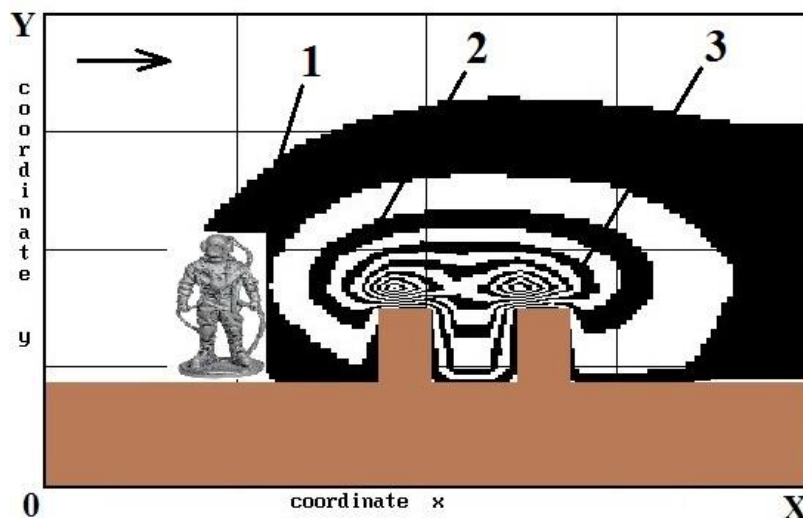


Рис.3. Зона хімічного забруднення акваторії, $t=17.1c$ (другий сценарій):
1 – $C=5\%$; 2 – $C=28\%$; 3 – $C=43\%$

Аналізуючи дані, що наведені на рисунках, можна бачити, що при витoku з двох пошкоджених підводних трубопроводів довжина зони забруднення акваторії збільшується в напрямку руху водного потоку. Зона забруднення має складну форму, на формування якої впливають ложементи для підводних труб. Аналіз зони забруднення дозволяє визначити зони, що є небезпечними для водолаза на певний час, після початку витoku агресивної речовини.

Відзначимо, що час розрахунку 9 с.

Висновки.

1. Запропонована математична модель для аналізу формування зон теплового та хімічного зараження водоймища при витoku з пошкодженого підводного трубопроводу.

2. Розроблена математична модель дозволяє швидко визначати зони забруднення акваторії, що небезпечні для роботи водолазів.

Список джерел

1. Дорошенко Я. В., Марко Т. І., Тихонов С. І. Сучасні технології обслуговування, ремонту та реконструкції підводних газонафтопроводів. *Науковий вісник ІФНТУНГ*, № 1(36), 2014. – С. 118–130.
2. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Марчук Г. И. – Москва : Наука, 1982. – 320 с.
3. Самарский А. А. Теория разностных схем / А. А. Самарский. – Москва : Наука, 1983. – 616 с.
4. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К. : Наук.думка, 1997. – 368 с.
5. Biliaiev M., Pshinko O., Rusakova T., Biliaieva V., Sladkowski A. Computer Model for Simulation of Pollutant Dispersion Near the Road with Solid Barriers. *Transport Problems, Volume 16, Issue 2, Part 1*, 2021, p.73-86. DOI: 10.21307/tp-2021-024

РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МАЛОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Пурцеладзе И. Б.

*ст. преподаватель кафедры «Инженерия железных дорог»
Ташкентский государственный транспортный университет
Узбекистан г.Ташкент*

Кахаров З. В.

*ст. преподаватель кафедры «Инженерия железных дорог»
Ташкентский государственный транспортный университет
Узбекистан г.Ташкент*

RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES IN THE CONSTRUCTION OF LOW-RISE RESIDENTIAL BUILDINGS

Purtseladze I.

*Senior Lecturer of the Railway Engineering
Tashkent State Transport University
Uzbekistan Tashkent*

Kakharov Z.

*Senior Lecturer of the Railway Engineering
Tashkent State Transport University
Uzbekistan Tashkent*

Аннотация:

В данной статье рассмотрены ресурсосбережение при строительстве жилого дома малой этажности, требования к повышению тепловой защиты зданий и сооружений, основных потребителей энергии. Для экономии энергоресурсов рассмотрена реальное снижение энергопотребления в индивидуальных жилых домах путем увеличения уровня теплозащиты ограждающих конструкций. Приведены результаты затраты на 1 кв. м при строительстве «под ключ» из пенополистирольных панелей, экономия энергоресурсов в сравнении с кирпичным вариантом.

Abstract:

This article discusses resource conservation in the construction of a low-rise residential building, the requirements for increasing the thermal protection of buildings and structures, the main consumers of energy. To save energy resources, a real reduction in energy consumption in individual residential buildings by increasing the level of thermal protection of enclosing structures is considered. Shown are the results of costs per 1 sq. m during turnkey construction from expanded polystyrene panels, energy savings in comparison with the brick version.

Ключевые слова: жилой дом, здания, этажность, древесина, металл, бетон, тепловая защита.

Keywords: dwelling house, buildings, number of storeys, timber, metal, concrete, thermal protection.