

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

# ВІСНИК

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВОГО ІНСТИТУТУ АВТОМАТИКИ,  
КІБЕРНЕТИКИ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ НУВГП**

Збірник наукових праць

Випуск 2

Рівне-2015

У збірнику опубліковано наукові статті студентів і викладачів Навчально-наукового інституту автоматичної, кібернетики та обчислювальної техніки НУВГП.

Редакційна колегія:

**Мартинюк П.М.**, д.т.н., професор, головний редактор (Національний університет водного господарства та природокористування); **Матус С.К.**, к.т.н., доцент, відповідальний секретар (НУВГП); **Бомба А.Я.**, д.т.н., професор (Рівненський державний гуманітарний університет); **Власюк А.П.**, д.т.н., професор (Міжнародний економіко-гуманітарний університет); **Древецький В.В.**, д.т.н., професор НУВГП; **Маланчук Є.З.**, д.т.н., професор НУВГП; **Тадєєв П.О.**, к.ф.-м.н., д.пед.н., професор НУВГП; **Тулашвілі Ю.Й.**, д.пед.н., професор НУВГП; **Турбал Ю.В.**, к.ф.-м.н., професор НУВГП; **Іващук Я.Г.**, к.ф.-м.н., доцент НУВГП; **Круліковський Б.Б.**, к.т.н., доцент НУВГП; **Степанченко О.М.**, к.т.н., доцент НУВГП; **Сафоник А.П.**, к.т.н., доцент НУВГП.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції КВ № 20590-10390Р від 20.12.2013 р.

Матеріали збірника розглянуті і рекомендовані до видання на Вченій раді Національного університету водного господарства та природокористування 30 жовтня 2015 р., протокол № 12.

Адреса редколегії: 33028, м. Рівне, вул. Соборна, 11, НУВГП.  
© Національний університет водного господарства та природокористування, 2015

Остапчук О. П., к.т.н, доцент, Прадищук О. А., студентка 5 курсу ННІ АКОТ (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕНОСУ СОЛЬОВИХ РОЗЧИНІВ ПРИ ФІЛЬТРАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ ВОД У НЕІЗОТЕРМІЧНИХ УМОВАХ

Побудовано математичну модель процесу переносу сольових розчинів при фільтрації підземних вод в неізотермічних умовах. Розроблено обчислювальний алгоритм розв'язання відповідної задачі. Наведено результати чисельних експериментів.

**Ключові слова:** масоперенос, математична модель, чисельний розв'язок, різницева схема, метод прогонки, неізотермічні умови.

При будівництві та експлуатації гідротехнічних і енергетичних об'єктів великого значення набувають проблеми, пов'язані з стійкістю, надійністю і безпекою їх експлуатації. Досить часто основи цих споруд потрапляють в область дії фільтраційних потоків, які зазнають впливу висококонцентрованих розчинів різних хімічних речовин і відходів виробництва. Тому великої уваги в даний час заслуговують питання розробки, дослідження і впровадження методів моделювання для розв'язання задач тепло-масопереносу при фільтрації підземних вод [1; 7].

Розглянемо процес переносу сольових розчинів у горизонтальному протяжному ґрунтовому пласті довжиною  $l$  із одного водного басейну в інший, напори в яких  $H_1$  і  $H_2$  (рис. 1). Коефіцієнт фільтрації ґрунтового масиву  $k$ , а отже швидкість фільтрації  $V$  і коефіцієнт конвективної дифузії  $D$ , як показали, проведені в роботі [2] експерименти, залежать від концентрації сольового розчину ( $k=k(c)$ ,  $v=v(c)$ ,  $D=D(c)$ ).

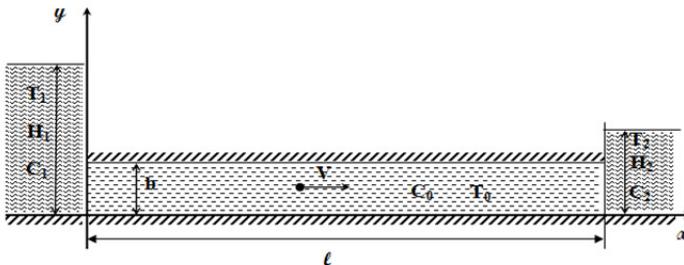


Рис. 1. Фільтрація сольового розчину до водозабірника

Будемо вважати, що процес переносу сольових розчинів у ґрунтовому пласті відбувається в неізотермічних умовах, а ґрунтове середовище є недеформівним. Крім того, вважатимемо, що  $l \gg b$  і процес масопереносу можна розглядати в рамках одновимірної моделі.

Необхідно виконати прогноз розподілу концентрації  $c(x,t)$  в ґрунтовому масиві з часом  $t$  під впливом температурного поля  $T(x,t)$ .

**Математичну модель одновимірної задачі** масопереносу сольових розчинів при фільтрації підземних вод до водозабірника з урахуванням залежності параметрів фільтрації і масопереносу від концентрації сольового розчину, неізотермічних умов та впливу осмотичних явищ на процес переносу можна описати такою крайовою задачею [3; 5; 6]:

$$\frac{\partial(D(c) \frac{\partial c}{\partial x})}{\partial x} - \left( V(c) \frac{\partial c}{\partial x} \right) - \gamma(c - C_*) + D_t \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \sigma \frac{\partial c}{\partial t}, \quad (1)$$

$$\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - V(c) C_p \frac{\partial T}{\partial x} = C_n \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (2)$$

$$V(c, T) = -k(c, T) \frac{\partial h}{\partial x} + v(c) \frac{\partial c}{\partial x} + \mu \frac{\partial T}{\partial x}, \quad \frac{\partial V}{\partial x} = 0, \quad (3)$$

$$h(0) = H_1, \quad h(l) = H_2; \quad (4)$$

$$c(x, 0) = \tilde{C}_0(x), \quad 0 \leq x \leq l, \quad (5)$$

$$c(0, t) = \tilde{C}_1(t), \quad 0 < t \leq t_1, \quad (6)$$

$$c(l, t) = \tilde{C}_2(t), \quad 0 < t \leq t_1, \quad (7)$$

$$T(x, 0) = \tilde{T}_0(x), \quad 0 \leq x \leq l, \quad (8)$$

$$T(0, t) = \tilde{T}_1(t), \quad 0 < t \leq t_1, \quad (9)$$

$$T(l, t) = \tilde{T}_2(t), \quad 0 < t \leq t_1, \quad (10)$$

де  $c(x,t)$  – концентрація розчинених речовин;  $D(c)$  – коефіцієнт конвективної дифузії;  $V(c)$  – швидкість фільтрації сольового розчину;  $\gamma$  – коефіцієнт масообміну;  $C_*$  – концентрація граничного насичення;  $D_t$  – коефіцієнт термодифузії;  $\sigma$  – пористість ґрунту;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності;  $C_p$  – об’ємна теплоємність фільтруючого розчину;  $C_n$  – об’ємна теплоємність мінерального скелету ґрунту;  $k(c,T)$  – коефіцієнт фільтрації;  $v$  – коефіцієнт осмосу;  $h$  – п’езометричний напір;  $\mu$  – коефіцієнт термічного осмосу.

У крайовій задачі (1)-(10) сумісно розглядається три фізичні процеси:

- 1) процес фільтрації сольового розчину (3), (4);
- 2) процес теплопереносу (2), (8)-(10);
- 3) процес масопереносу з урахуванням неізотермічних умов (1), (5)-(7).

**Чисельний розв'язок** крайової задачі (1)-(10) знайдено методом скінченних різниць.

Спочатку розв'яжемо задачу фільтрації. У випадку фільтрації чистої води у ґрунтовому середовищі ( $k=const$ ) швидкість фільтрації визначається за формулою

$$V = k \frac{H_1 - H_2}{l}.$$

Якщо ж розглядати процес масопереносу при фільтрації сольового розчину у ґрунтовому масиві, то коефіцієнт фільтрації залежить від концентрації фільтраційного розчину та температури [2; 3].

Значення коефіцієнта фільтрації обчислюємо за формулою

$$k(c, T) = \frac{1}{k_0} k(c) k(T),$$

де  $k_0$  – коефіцієнт фільтрації для чистої води при температурі 20° С.

В результаті дискретизації (3) отримаємо

$$V_i^{(k)} = -k(C_i^{(k)}, T_i^{(k)}) \frac{h_{i+1}^{(k)} - h_{i-1}^{(k)}}{2h_1} + v_i^{(k)} \frac{C_{i+1}^{(k)} - C_{i-1}^{(k)}}{2h_1} + \mu \frac{T_{i+1}^{(k)} - T_{i-1}^{(k)}}{2h_1}, \quad i = \overline{0, n-1}.$$

При цьому залежність коефіцієнта фільтрації від сольового розчину для глинистих ґрунтів взята з роботи [2]

$$k(c_1) = a_5 \cdot c_1^5 + a_4 \cdot c_1^4 + a_3 \cdot c_1^3 + a_2 \cdot c_1^2 + a_1 \cdot c_1 + a_0,$$

де  $a_5 = 5.9404 \cdot 10^{-1}$ ,  $a_4 = -1.6703$ ,  $a_3 = 1.7051$ ,

$$a_2 = -7.4311 \cdot 10^{-1}, \quad a_1 = 1.0563 \cdot 10^{-1}, \quad a_0 = 1.0054 \cdot 10^{-2},$$

$c \in [0; l]$  – безрозмірна величина.

Залежність коефіцієнта фільтрації від температури отримана за результатами експериментальних досліджень [5]

$$k(T) = b_5 \cdot T^5 + b_4 \cdot T^4 + b_3 \cdot T^3 + b_2 \cdot T^2 + b_1 \cdot T + b_0,$$

де  $b_5 = 1.4154 \cdot 10^{-2}$ ,  $b_4 = -2.6097 \cdot 10^{-2}$ ,  $b_3 = 1.0819 \cdot 10^{-2}$ ,

$$b_2 = 1.2844 \cdot 10^{-4}, \quad b_1 = 1.0404 \cdot 10^{-2}, \quad b_0 = 3.0925 \cdot 10^{-3},$$

$T \in [0; l]$  – безрозмірна величина.

Розв'яжемо задачу теплопереносу (2), (8)-(10). Для розв'язання даної крайової задачі побудуємо монотонну різницеву схему. Для цього рівняння (2) представимо у вигляді

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{V(c)C_p}{\lambda} \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{C_n}{\lambda} \frac{\partial T}{\partial t}. \quad (11)$$

Замінивши похідні їх скінченими різницями і підставивши їх у (11), будемо мати наступну монотонну різницеву схему [8]:

$$\mu_1 \frac{T_{i-1}^{k+1} - 2T_i^{k+1} + T_{i+1}^{k+1}}{h^2} + r_+^1 \frac{T_{i+1}^{k+1} - T_i^{k+1}}{h} + r_-^1 \frac{T_i^{k+1} - T_{i-1}^{k+1}}{h} = N_t \frac{T_i^{k+1} - T_i^k}{\tau}, \quad (12)$$

$$T_i^0 = \tilde{T}_0(x_i), \quad x_i = i \cdot h, \quad i = \overline{0, n},$$

$$T_0^k = \tilde{T}_1(t_k), \quad T_n^k = \tilde{T}_2(t_k), \quad t_k = k \cdot \tau, \quad k = \overline{0, k_1},$$

де

$$\mu_1 = \frac{1}{1 + 0.5 h |r^1|}, \quad r^1 = r_+^1 + r_-^1,$$

$$r_+^1 = 0.5(r^1 + |r^1|) \geq 0, \quad r_-^1 = 0.5(r^1 - |r^1|) \leq 0, \quad r_+^1 = 0,$$

$$r_-^1 = \frac{-V_i C_p}{\lambda}, \quad N_t = \frac{C_n}{\lambda}.$$

Запишемо (12) в прогнотичному вигляді

$$\begin{cases} a_1 T_{i-1}^{k+1} - c_1 T_i^{k+1} + b_1 T_{i+1}^{k+1} = -f_1, \\ T_0^{k+1} = k_1 T_1^{k+1} + \mu_1, \\ T_n^{k+1} = k_2 T_{n-1}^{k+1} + \mu_2, \end{cases} \quad (13)$$

де

$$a_1 = \frac{\mu_1}{h^2} - \frac{r_-^1}{h}, \quad b_1 = \frac{\mu_1}{h^2} + \frac{r_+^1}{h}, \quad c_1 = \frac{2\mu_1}{h^2} + \frac{r_+^1}{h} - \frac{r_-^1}{h} + \frac{N_t}{\tau},$$

$$f_1 = \frac{N_t}{\tau} T_i^k, \quad k_1 = 0, \mu_1 = \tilde{T}_1, \quad k_2 = 0, \mu_2 = \tilde{T}_2.$$

Розв'язок (13) знайдено методом оберненої прогонки

$$T_i^{k+1} = \alpha_{i+1}^1 T_{i+1}^{k+1} + \beta_{i+1}^1,$$

де

$$\alpha_{i+1} = \frac{b_1}{c_1 - \alpha_i a_1}, \beta_{i+1} = \frac{a_1 \beta_i + f_1}{c_1 - \alpha_i a_1},$$

$$\alpha_1 = 0, \quad \beta_1 = \mu_1 = \tilde{T}_2.$$

Побудуємо монотонну різницеву схему для отримання чисельного розв'язку задачі (1), (5)-(7).

Представимо рівняння (1) у вигляді

$$D(c) \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial D(c)}{\partial x} \frac{\partial c}{\partial x} - c \frac{\partial V(c)}{\partial x} - V(c) \frac{\partial c}{\partial x} - \gamma(c - C_*) + D_t \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \sigma \frac{\partial c}{\partial t}. \quad (14)$$

Оскільки  $D(c) = D_\mu + \lambda_1 |V(c)|$ , то враховуючи друге рівняння в (3) матимемо

$$D(c) \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + V(c) \frac{\partial c}{\partial x} - \gamma(c - C_*) + D_t \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \sigma \frac{\partial c}{\partial t} \quad (15)$$

або

$$\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - \frac{V(c)}{D(c)} \frac{\partial c}{\partial x} - \frac{\gamma}{D(c)} (c - C_*) + \frac{D_t}{D(c)} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\sigma}{D(c)} \frac{\partial c}{\partial t}. \quad (16)$$

Монотонна різницєва схема для (16) матиме наступний вигляд [8]:

$$\begin{aligned} \mu_2 \frac{C_{i-1}^{k+1} - 2C_i^{k+1} + C_{i+1}^{k+1}}{h^2} - \frac{\gamma}{D_i^k} (C_i^{k+1} - C_*) + \frac{D_t}{D_i^k} \frac{T_{i-1}^{k+1} - 2T_i^{k+1} + T_{i+1}^{k+1}}{h^2} + r_+ \frac{C_{i+1}^{k+1} - C_i^{k+1}}{h} + \\ + r_- \frac{C_i^{k+1} - C_{i-1}^{k+1}}{h} = \frac{\sigma}{D_i^k} \frac{C_i^{k+1} - C_i^k}{\tau}, \end{aligned} \quad (17)$$

$$C_i^0 = \tilde{C}_0(x_i), \quad x_i = i \cdot h, \quad i = \overline{0, n},$$

$$C_0^k = \tilde{C}_1(t_k), \quad C_n^k = \tilde{C}_2(t_k), \quad t_k = k \cdot \tau, \quad k = \overline{0, k_1},$$

де

$$\mu_2 = \frac{1}{1 + 0.5h|r|} = \frac{1}{1 + \frac{hV_i^k}{2D_i^k}}, \quad r = r_+ + r_-, \quad r_+ \equiv 0, \quad r_- \equiv r = -\frac{V_i^k}{D_i^k} < 0.$$

Запишемо різницеву схему (17) у прогоничному вигляді:

$$\begin{cases} a_2 C_{i-1}^{k+1} - c_2 C_i^{k+1} + b_2 C_{i+1}^{k+1} = -f_2, \\ C_0^{k+1} = k_3 C_1^{k+1} + \mu_3, \\ C_n^{k+1} = k_4 C_{n-1}^{k+1} + \mu_4, \end{cases} \quad (18)$$

де

$$a_2 = \frac{\mu}{h^2} - \frac{r_-}{h}, \quad b_2 = \frac{\mu}{h^2} + \frac{r_+}{h}, \quad c_2 = \frac{2\mu}{h^2} + \frac{r_+}{h} - \frac{r_-}{h} + \frac{\gamma}{D_i^k} + \frac{\sigma}{D_i^k \tau},$$

$$f_2 = \frac{\gamma}{D_i^k} C_* + \frac{\sigma}{D_i^k \tau} C_i^k + \frac{D_i}{D_i^k} \left( \frac{T_{i-1}^{k+1} - 2T_i^{k+1} + T_{i+1}^{k+1}}{h^2} \right),$$

$$k_3 \equiv 0, \quad \mu_3 \equiv \tilde{C}_1, \quad k_4 \equiv 0, \quad \mu_4 \equiv \tilde{C}_2.$$

Розв'язок (18) знайдено у вигляді

$$C_i^{k+1} = \alpha_{i+1} C_{i+1}^{k+1} + \beta_{i+1},$$

де

$$\alpha_{i+1} = \frac{b_i}{c_i - \alpha_i a_1}, \quad \beta_{i+1} = \frac{a_i \beta_i + f_2}{c_i - \alpha_i a_1},$$

$$\alpha_1 \equiv k_3 \equiv 0, \quad \beta_1 \equiv \mu_3 \equiv \tilde{C}_1.$$

Таким чином, задача переносу сольових розчинів при фільтрації підземних вод в неізотермічних умовах алгоритмічно розв'язана повністю.

**На основі описаного обчислювального алгоритму** розроблено програмний комплекс "Математичне моделювання", який реалізований засобами об'єктно-орієнтованої мови програмування C# в середовищі Microsoft Visual Studio 2010.

В якості конкретного прикладу досліджено зміну концентрації сольових розчинів в неізотермічних умовах через 360 діб з такими вхідними даними (рис. 2):

$$\gamma = 0,0065 \text{ доба}^{-1}, \quad D = 0,002 / \text{м}^2 \cdot \text{добу}, \quad \sigma = 0,5, \quad H_1 = 1,5 \text{ м}, \quad H_2 = 0,5 \text{ м},$$

$$k = 0,001 \text{ м} / \text{добу}, \quad \lambda = 1,08 \cdot 10^5 \text{ м}, \quad \nu = 2,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^5 / \text{кг} \cdot \text{доба}, \quad \tilde{T}_1(t) = 4^\circ \text{C},$$

$$\tilde{T}_2(t) = 25^\circ \text{C}, \quad \tilde{T}_0(t) = ((\tilde{T}_2(t) - \tilde{T}_1(t)) * x / L) + T_1(t),$$

$$\mu = 2,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{град} \cdot \text{доба}, \quad \tilde{C}_0(x) = 50 \text{ г} / \text{л}, \quad \tilde{C}_1(t) = 350 \text{ г} / \text{л},$$

$$\tilde{C}_2(t) = 10 \text{ г} / \text{л}, \quad C_* = 350 \text{ г} / \text{л}, \quad D_i = 0,001 \text{ м}^2 / \text{добу}, \quad C_p = 4200 \text{ г} / \text{л},$$

$$C_n = 2,137 \cdot 10^6 \text{ г} / \text{л}.$$

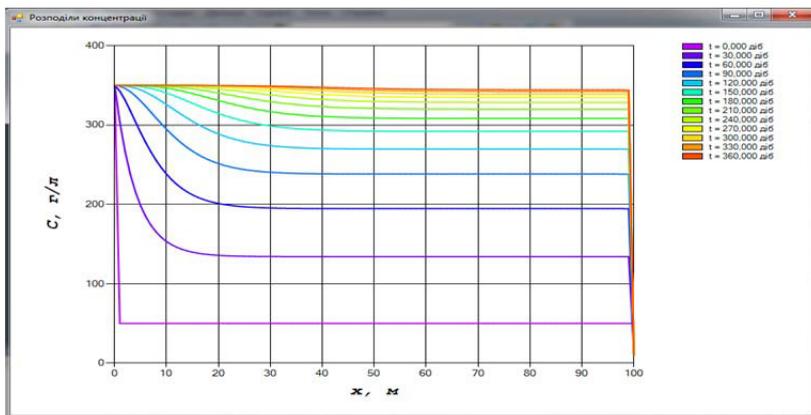


Рис. 2. Графік розподілу концентрації сольових розчинів по області фільтрації з часом

**В результаті проведення чисельних експериментів** та аналізу вище наведених графічних зображень можна зробити наступні висновки:

- швидкість фільтрації при  $k=k(c, T)$  зростає і прямує до насичення в часі, а для сталого коефіцієнта  $k=const$  швидкість фільтрації також стала  $V=const$ ;
- фронт концентрації сольових розчинів при  $k=k(c, T)$  з часом значно випереджує фронт концентрації при  $k=const$ ;
- при збільшенні пористості ґрунту концентрація сольових розчинів інтенсивніше перерозподіляється по області фільтрації;
- розподіл концентрації сольових розчинів значною мірою залежить від коефіцієнта масообміну: при збільшенні  $\gamma$ , концентрація сольового розчину зростає;
- в неізотермічних умовах процес масопереносу проходить інтенсивніше порівняно з ізотермічними умовами.

Таким чином, при математичному моделюванні процесу тепло-масопереносу розчинених речовин потрібно враховувати залежність параметрів фільтраційного потоку від його фізико-хімічних властивостей та властивостей пористого середовища, оскільки це суттєво впливає на процес масопереносу в неізотермічних умовах.

1. Веригин Н. Н. Диффузия и масообмен при фильтрации жидкостей в пористых средах / Н. Н. Веригин, Б. С. Шержуков // Развитие исследований по теории фильтрации в СССР (1917 – 1967). – М. : Наука, 1969. – С. 237–313. 2. Власюк А. П. Експериментальні дослідження деяких параметрів фільтрації сольових розчинів в піщаних ґрунтах / А. П. Власюк, М. Т. Кузло // Меліорація і водне господарство. – К. : 2000. – Вип. 87. – С. 43–46. 3. Власюк А. П. Математичне моделювання консолідації ґрунтів при фільтрації сольових розчинів в неізотермічних умовах / А. П. Власюк, П. М. Мартинюк. – Рівне : НУВГП, 2008. – 416 с. 4. Власюк А. П. Чисельне

дослідження однієї задачі масопереносу сольових розчинів у ґрунтових масивах / А. П. Власюк, О. П. Остапчук // Тез. доп. Міжн. наук.-техн. конф. „Проблеми математичного моделювання сучасних технологій”. – Хмельницький, 2002. – С. 24.  
5. Власюк А. П. Чисельне дослідження одновимірної задачі масопереносу сольових розчинів у ґрунтових масивах / А. П. Власюк, О. П. Остапчук // Вісник Київського університету. Сер. фіз.-мат. наук – К., 2004. – Вип. 4. – С. 228–237.  
6. Власюк А. П. Числове моделювання одновимірної задачі переносу сольових розчинів при фільтрації до водозабірника в неізотермічних умовах / А. П. Власюк, О. П. Остапчук // Вісник НУВГП. Сер. техн. науки.– Рівне, 2006. – Вип. 4 (36). Ч. 2 – С. 39–48.  
7. Ляшко И. И. Численное решение задач тепло- и массопереноса в пористых средах / И. И. Ляшко, Л. И. Демченко, Г. Е. Мистецкий. – К.: Наукова думка, 1991. – 264 с.  
8. Самарский А. А. Теория разностных схем / А. А. Самарский. – [3-е изд.] – М.: Наука, 1989. – 616 с.

---

**Ostapchuk O. P., Candidate of Engineering, Associate Professor,**  
**Pradyshchuk O. A., 5<sup>th</sup> year Senior Student** (The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

### **THE MATHEMATICAL MODEL OF SALT SOLUTIONS TRANSFER UNDER GROUNDWATER FILTRATION IN NONISOTHERMAL CONDITIONS**

**The mathematical model of salt solutions transfer under groundwater filtration in nonisothermal conditions has been created. A computational algorithm for corresponding problem solving has been developed. The results of numerous experiments are shown.**

**Keywords:** mass transfer, mathematical model, numerical solution, difference scheme, tridiagonal matrix algorithm, nonisotherermal conditions.

---

**Остапчук О. П., к.т.н., доцент, Прадыщук О. А., студентка 5 курса** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА СОЛЕВЫХ РАСТВОРОВ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

**Построена математическая модель процесса переноса солевых растворов при фильтрации подземных вод в неізотермічних умовах.**

**Разработан вычислительный алгоритм решения соответствующей задачи. Приведены результаты численных экспериментов.**

**Ключевые слова:** массоперенос, математическая модель, численное решение, разностная схема, метод прогонки, неізотерміческие условия.

Остапчук О. П., к.т.н., доцент, Боровська М. О., студентка 5 курсу ННІ АКОТ (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МІГРАЦІЇ РАДІОНУКЛІДІВ ПРИ ПЛАНОВІЙ ФІЛЬТРАЦІЇ ДО ВОДНОГО БАСЕЙНУ

Розглянуто задачу міграції радіонуклідів при плановій фільтрації підземних вод та побудовано її математичні моделі при  $k=const$  та  $k=k(c)$ . Чисельний розв'язок отримано методом скінченних різниць. Здійснено програмну реалізацію, проведено чисельні експерименти та зроблено їх аналіз.

**Ключові слова:** міграція, радіонукліди, масоперенос, математична модель, чисельний розв'язок, різницева схема, метод прогонки.

Великої уваги заслуговують питання розробки, дослідження та впровадження методів математичного моделювання для розв'язання задач, що моделюють процеси адсорбції радіонуклідів та інших хімічних забрудників у ґрунтових середовищах з метою прийняття оптимальних технічних рішень. Подібні розрахунки виникають в задачах міграції забруднень, при прогнозі гідрохімічного режиму ґрунтів та при оцінці родючого шару ґрунту. Тому на даний момент багато науковців звертаються до питань забруднення ґрунтових масивів радіонуклідами, розробляють схеми та моделі їх утилізації [1].

Теорією процесів масопереносу у двошарових фільтрах займався Демчик І. І., що встановив точні закономірності масопереносу в двошарових фільтрах, які функціонують за законами, прототипами яких є лінійна модель та модель Шехтмана. Дослідженнями Bittel R. встановлено, що гранулометричний склад ґрунту впливає на міцність закріплення мікрокількостей радіонуклідів. Радіонукліди, поглинуті важкими ґрунтами, особливо стронцій і цезій, закріплюються сильніше, ніж легкими. Із зменшенням розміру фракції ґрунту міцність закріплення ними стронцію і цезію підвищується. Найбільш міцно закріплюються радіонукліди мулистою фракцією. Форми знаходження і фізико-математичне моделювання вертикальної міграції радіонуклідів вивчали Лянцев М. П., П'янило І. І., Чапля В. О., з використанням моделі гетеродифузії для вивчення і прогнозування поведінки радіонуклідів.

Необхідність дослідження полягає в можливості визначення закономірностей поведінки радіонуклідів та шкідливих речовин в ґрунті та рослинах, в прогнозуванні їх поширення при певних ситуаціях (наприклад,

викид радіонуклідів на АЕС) і попередження шкідливого впливу на навколишнє середовище.

**Розглянемо задачу міграції радіонуклідів** (наприклад,  $^{90}\text{Sr}$  (стронцій-90) або  $^{137}\text{Cs}$  (цезій-137)) при одновимірній фільтрації підземних вод до водного басейну (рис. 1).

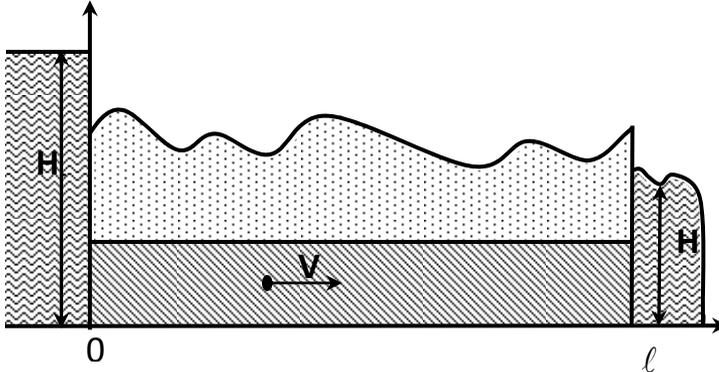


Рис. 1. Міграція радіонуклідів в горизонтальному шарі ґрунту

Відомі п'єзометричні напори на лівій і правій  $H_1$  та  $H_2$  ( $H_1 > H_2$ ). Також відомий розподіл концентрацій радіонуклідів (мігранту) в початковий момент часу  $t=0$ :  $\widetilde{C}_1^0(x)$  (для частинок, що знаходяться в конвективній рухомому поровому розчині) та  $\widetilde{C}_2^0(x)$  (для частинок, що знаходяться у воді, що зв'язана зі скелетом ґрунту). Зліва  $\widetilde{C}_1^1(t)$  та  $\widetilde{C}_2^1(t)$ , а справа концентрації  $\widetilde{C}_1^2(t)$ ,  $\widetilde{C}_2^2(t)$  або умова швидкого поглинання радіонуклідів фільтром

$$\frac{\partial c_1(l, t)}{\partial x} = \frac{\partial c_2(l, t)}{\partial x} = 0.$$

Потрібно дослідити розподіл концентрації  $c_1(x, t)$ ,  $c_2(x, t)$  радіонуклідів по області фільтрації з часом, що дасть можливість зробити прогноз щодо ступеня очищення ґрунтів та їх подальшого використання.

Математична модель наведеної вище задачі в загальноприйнятих позначеннях буде мати такий вигляд [2; 3-5; 8]:

$$D_1(c_1) \frac{\partial^2 c_1}{\partial x^2} - V(c_1) \frac{\partial c_1}{\partial x} - \gamma_1 c_1 + \gamma_2 c_2 = \sigma \frac{\partial c_1}{\partial t}, \quad (1)$$

$$D_2(c_2) \frac{\partial^2 c_2}{\partial x^2} + \gamma_1 c_1 - \gamma_2 c_2 = \sigma \frac{\partial c_2}{\partial t}, \quad (2)$$

$$V(c_1) = -k(c_1) \frac{dh}{dx}, \quad \frac{\partial V}{\partial x} = 0, \quad (3)$$

$$c_1(x, 0) = \widetilde{C}_1^0(x), c_2(x, 0) = \widetilde{C}_2^0(x), \quad x \in (0, l), \quad (4)$$

$$h|_{x=0} = H_1, h|_{x=l} = H_2, \quad (5)$$

$$c_1(0, t) = \widetilde{C}_1^1(t), \quad c_2(0, t) = \widetilde{C}_2^1(t), \quad 0 < t < t_1, \quad (6)$$

$$l_2 c_1(l, t) = \begin{cases} \widetilde{C}_1^2(t), \\ \frac{\partial c_1(l, t)}{\partial x} = 0, \end{cases} \quad l_2 c_2(l, t) = \begin{cases} \widetilde{C}_2^2(t), \\ \frac{\partial c_2(l, t)}{\partial x} = 0, \end{cases} \quad (7)$$

де  $c_1(x, t)$ ,  $D_1(c_1)$  – відповідно концентрація та коефіцієнт конвективної дифузії радіонуклідів, що знаходяться в фільтраційному потоці (конвективно рухомому поровому розчині);  $c_2(x, t)$ ,  $D_2(c_2)$  – відповідно концентрація та коефіцієнт молекулярної дифузії радіонуклідів, що знаходяться у воді, яка зв'язана зі скелетом ґрунту;  $V(c_1)$  – швидкість фільтраційного потоку мігранта;  $\gamma_1, \gamma_2$  – коефіцієнт масообміну;  $\sigma$  – пористість ґрунту;  $l_2$  – диференціальний оператор, що задає одну з граничних умов на фільтрі поглинання радіонуклідів;  $k$  – коефіцієнт фільтрації води з мігрантами ( $k=const$ );  $h = \frac{p}{\rho g} - x$  – п'езометричний напір, де  $p$  – тиск рідини,  $\rho$  – густина рідини,  $g$  – прискорення вільного падіння,  $x$  – вертикальна координата напрямлена вертикально вниз;  $t$  – час.

В крайовій задачі (1)–(7) рівняння (1) описує процес масопереносу радіонуклідів, що знаходяться в фільтраційному потоці, рівняння (2) описує процес масопереносу радіонуклідів, що знаходяться у воді, яка зв'язана зі скелетом ґрунту і рівняння (3) – це рівняння швидкості фільтрації, яке описується законом Дарсі.

**Обчислювальний алгоритм розв'язку** задачі полягає в наступному. Вихідній крайовій задачі (1)–(7) поставлено у відповідність сукупність двох крайових задач

$$\left\{ \begin{array}{l} D_1(c_1) \frac{\partial^2 c_1}{\partial x^2} - V(c_1) \frac{\partial c_1}{\partial x} - \gamma_1 c_1 + \gamma_2 c_2 = \sigma \frac{\partial c_1}{\partial t}, \\ c_1(x, 0) = \widetilde{C}_1^0(x), \quad c_2(x, 0) = \widetilde{C}_2^0(x), \\ c_1(0, t) = \widetilde{C}_1^1(t), \\ l_2 c_1(l, t) = \begin{cases} \widetilde{C}_1^2(t), \\ \frac{\partial c_1(l, t)}{\partial x} = 0; \end{cases} \end{array} \right. \quad (8)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} D_2(c_2) \frac{\partial^2 c_2}{\partial x^2} + \gamma_1 c_1 - \gamma_2 c_2 = \sigma \frac{\partial c_2}{\partial t}, \\ c_1(x, 0) = \widetilde{C}_1^0(x), \quad c_2(x, 0) = \widetilde{C}_2^0(x), \\ c_2(0, t) = \widetilde{C}_2^1(t), \\ l_2 c_2(l, t) = \begin{cases} \widetilde{C}_2^2(t), \\ \frac{\partial c_2(l, t)}{\partial x} = 0. \end{cases} \end{array} \right. \quad (9)$$

Розв'язок крайових задач (8), (9) та задачі фільтрації (3), (5) знайдено методом скінченних різниць. Швидкість фільтрації знайдено за такою формулою:

$$V_i^{(k)} = -k(C_{1,i}^{(k)}) \frac{h_{i+1}^{(k)} - h_{i-1}^{(k)}}{2h_1}, \quad i = \overline{0, n-1}.$$

Для розв'язання крайової задачі (8) використано монотонну різницеву схему

$$\begin{aligned} \mu_i \frac{C_{1,i-1}^{k+1} - 2C_{1,i}^{k+1} + C_{1,i+1}^{k+1}}{h^2} + r_+ \frac{C_{1,i+1}^{k+1} - C_{1,i}^{k+1}}{h} + r_- \frac{C_{1,i}^{k+1} - C_{1,i-1}^{k+1}}{h} - \\ - \frac{\gamma_1}{D_1(c_1)} C_{1,i}^{k+1} + \frac{\gamma_2}{D_1(c_1)} C_{2,i}^k = \sigma' \frac{C_{1,i}^{k+1} - C_{1,i}^k}{\tau}, \quad (10) \\ C_{1,i}^0 = \widetilde{C}_{1,i}^0, \quad C_{1,0}^{k+1} = \widetilde{C}_1^{1,k+1}, \quad C_{1,n}^{k+1} = \chi_1 C_{1,n-1}^{k+1} + \bar{\mu}, \end{aligned}$$

де

$$\begin{aligned} \mu_i = \frac{1}{1+0,5h_1|r|} = \frac{1}{1+\frac{h_1 V_i(c_1)}{2D_1(c_1)}}, \quad r = r_+ + r_-, \quad \sigma' = \frac{\sigma}{D_1(c_1)}, \\ r_+ = 0,5 \left( -\frac{V_i(c_1)}{D_1(c_1)} + \frac{V_i(c_1)}{D_1(c_1)} \right) \equiv 0, \quad r_- = 0,5 \left( -\frac{V_i(c_1)}{D_1(c_1)} - \frac{V_i(c_1)}{D_1(c_1)} \right) = -\frac{V_i(c_1)}{D_1(c_1)}. \end{aligned}$$

Причому:  $\chi_1 = 1$ ,  $\bar{\mu}_1 = 0$  – при заданні граничних умов I-го роду,  $\chi_1 = 0$ ,  $\bar{\mu}_1 = \widetilde{C}_1^{2,k+1}$  – при заданні граничних умов II-го роду.

Запишемо різницеву схему (10) в прогоночному вигляді

$$a_{1,i} C_{1,i-1}^{k+1} - \bar{c}_{1,i} C_{1,i}^{k+1} + b_{1,i} C_{1,i+1}^{k+1} = -f_{1,i}^k, \quad (11)$$

де

$$\begin{aligned} a_{1,i} = \frac{\mu_i}{h^2} - \frac{r_-}{h}, \quad b_{1,i} = \frac{\mu_i}{h^2} + \frac{r_+}{h}, \\ \bar{c}_{1,i} = \frac{2\mu_i}{h^2} + \frac{r_+}{h} - \frac{r_-}{h} + \frac{\gamma_1}{D_1(c_1)} + \frac{\sigma}{D_1(c_1)\tau} \end{aligned}$$

$$f_{1,i}^k = \frac{\sigma}{D_1(c_1)\tau} C_{1,i}^k + \frac{\gamma_2}{D_1(c_1)} C_{2,i}^k.$$

Чисельний розв'язок (11) знайдено методом прогонки [6; 7; 9]

$$C_{1,i}^{k+1} = \alpha_{i+1}^1 C_{1,i+1}^{k+1} + \beta_{i+1}^1, \quad (12)$$

де

$$\alpha_{i+1}^1 = \frac{b_{1,i}}{\bar{c}_{1,i} - \alpha_i^1 a_{1,i}}, \quad \beta_{i+1}^1 = \frac{a_{1,i} \beta_i^1 + f_{1,i}^k}{\bar{c}_{1,i} - \alpha_i^1 a_{1,i}},$$

$$\alpha_1^1 = 0, \beta_1^1 = \tilde{C}_1^{1,k+1}.$$

Крайову задачу (9) розв'язано з використанням неявної різницевої схеми

$$D_2(c_2) \frac{C_{2,i-1}^{k+1} - 2C_{2,i}^{k+1} + C_{2,i+1}^{k+1}}{h^2} + \gamma_1 C_{1,i}^{k+1} - \gamma_2 C_{2,i}^{k+1} = \sigma \frac{C_{2,i}^{k+1} - C_{2,i}^k}{\tau}, \quad (13)$$

$$C_{2,i}^0 = \tilde{C}_{2,i}^0, C_{2,0}^{k+1} = \tilde{C}_2^{1,k+1}, C_{2,n}^{k+1} = \chi_2 \tilde{C}_{2,n-1}^{k+1} + \bar{\mu}_2,$$

де  $\chi_2 = 0$ ,  $\mu_2 = \tilde{C}_2^{2,k+1}$  – при заданні граничних умов I-го роду,  $\chi_2 = 1$ ,  $\bar{\mu}_2 = 0$  – при заданні граничних умов II-го роду.

Прогоночний вигляд різницевої схеми (13) наступний:

$$a_{2,i} C_{2,i-1}^{k+1} - \bar{c}_{2,i} C_{2,i}^{k+1} + b_{2,i} C_{2,i+1}^{k+1} = -f_{2,i}^k, \quad (14)$$

де

$$a_{2,i} = \frac{1}{h^2}, \quad b_{2,i} = \frac{1}{h^2}, \quad \bar{c}_{2,i} = \frac{2}{h^2} + \frac{\gamma_2}{D_2(c_2)} + \frac{\sigma}{D_2(c_2)\tau},$$

$$f_{2,i}^k = \frac{\sigma}{D_2(c_2)\tau} C_{2,i}^k + \frac{\gamma_1}{D_2(c_2)} C_{1,i}^{k+1}.$$

Чисельний розв'язок (14) знайдено методом прогонки [6; 7; 9]

$$C_{2,i}^{k+1} = \alpha_{i+1}^2 C_{2,i+1}^{k+1} + \beta_{i+1}^2, \quad (15)$$

де

$$\alpha_{i+1}^2 = \frac{b_{2,i}}{\bar{c}_{2,i} - \alpha_i^2 a_{2,i}}, \quad \beta_{i+1}^2 = \frac{a_{2,i} \beta_i^2 + f_{2,i}^k}{\bar{c}_{2,i} - \alpha_i^2 a_{2,i}},$$

$$\alpha_1^2 = 0, \beta_1^2 = \tilde{C}_2^{1,k+1}.$$

Таким чином, задача міграції радіонуклідів при плановій фільтрації підземних вод до водного басейну алгоритмічно розв'язана повністю.

На основі розробленої в середовищі Microsoft Visual Studio на мові C# програмної реалізації задачі проведено значну кількість чисельних експериментів, що в свою чергу дало можливість провести аналіз отриманих результатів для різних вхідних даних задачі та детально дослідити процес міграції радіонуклідів при плановій фільтрації підземних вод до водного басейну (рис. 2) при заданні таких вхідних параметрів:

$$\tau=30 \text{ діб}, \sigma=0,5, \gamma_1=\gamma_2=0,065 \text{ доба}^{-1}, k=0,8 \text{ м/добу}, H_1=1,5 \text{ м}, H_2=0,5 \text{ м}, \\ D_1=0,02 \text{ м}^2/\text{добу}, D_2=0,01 \text{ м}^2/\text{добу}, \tilde{C}_1^0=\tilde{C}_2^0=0 \text{ з/л}, \tilde{C}_1^1=50 \text{ з/л}, \tilde{C}_2^1=10 \text{ з/л},$$

$$\tilde{C}_1^2 = \begin{cases} 0, \\ 26 * t^2 * e^{-0.3t}, \\ \frac{\partial C_1}{\partial x} = 0; \end{cases}, \tilde{C}_2^2 = \begin{cases} 0, \\ t^3 * e^{-0.3t}, \\ \frac{\partial C_2}{\partial x} = 0. \end{cases}$$

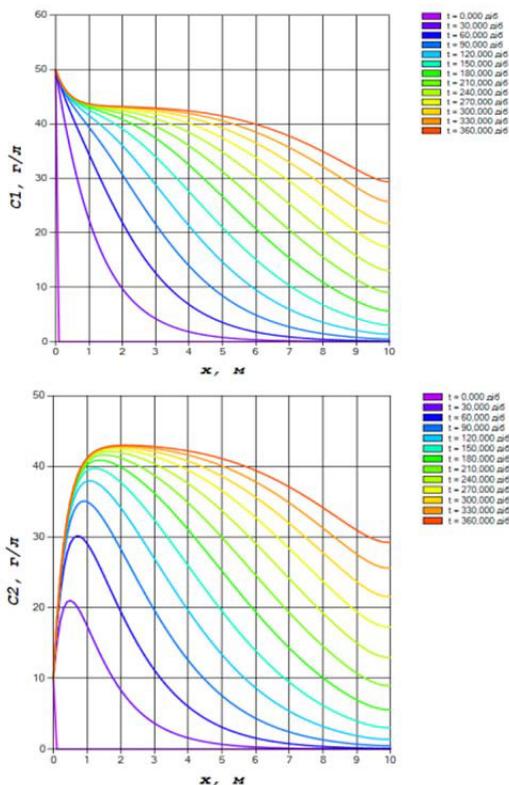


Рис. 2. Графіки розподілів концентрацій радіонуклідів  $C_1$  та  $C_2$  у випадку задання граничних умов другого роду

**В результаті аналізу проведених чисельних експериментів** при заданні різних значеннях вхідних даних та згідно з графічними зображеннями можна зробити такі висновки:

- при збільшенні пористості ґрунту концентрації радіонуклідів  $c_1$  та  $c_2$  інтенсивніше перерозподіляються по області фільтрації;
- при зменшенні коефіцієнтів дифузії інтенсивність міграції забрудників зменшуються;
- значення концентрацій радіонуклідів  $c_1$  та  $c_2$  прямо-пропорційно залежать від коефіцієнтів масообміну;
- при  $k=k(c)$  фронт концентрації радіонуклідів з часом значно випереджає фронт концентрації при  $k=const$ .

На основі узагальнення та аналізу чисельних експериментів при різних значеннях вхідних параметрів було вивчено процес міграції радіонуклідів та проведена оцінка зміни концентрації.

**Наукова значимість роботи** полягає у визначенні закономірностей поведінки радіонуклідів та шкідливих речовин в ґрунті та рослинах. Практична реалізація розроблених технологій знаходиться в таких областях застосування:

- очистка територій, забруднених радіонуклідами;
- забезпечення нормальної життєдіяльності та відновлення всіх видів сільськогосподарських робіт на реабілітованих територіях;
- створення нових відновлюючих джерел енергоносіїв на основі утилізації радіоактивної біомаси.

1. Бурак Я. Й. Вихідні положення математичної моделі гетеродифузного переносу радіонуклідів у приповерхневих шарах Землі / Я. Й. Бурак, Є. Я. Чапля // Доп. НАН України. – 1993. – № 10. – С. 59–63. 2. Веригин Н. Н. Диффузия и массообмен при фильтрации жидкостей в пористых средах. / Н. Н. Веригин, Б. С. Шержуков // Развитие исследований по теории фильтрации в СССР (1917 – 1967). – М. : Наука, 1969. – С. 237–313. 3. Власюк А. П. Математичне моделювання задачі про утилізацію радіонуклідів в шарі ґрунту / А. П. Власюк, О. П. Остапчук // Тези доп. XI Міжн. конф. ім. академіка М. Кравчука. – К., 2006. – 57 с. 4. Власюк А. П. Числове моделювання міграції радіонуклідів при плановій фільтрації підземних вод / А. П. Власюк, О. П. Остапчук // Тези доп. Міжн. конф. «Прогнозування та прийняття рішень в умовах невизначеності». – Чернівці, 2007. – С. 72–74. 5. Власюк А. П. Числове моделювання однієї задачі про утилізацію радіонуклідів / А. П. Власюк, О. П. Остапчук // Тези доп. Міжн. конф. «Прогнозування та прийняття рішень в умовах невизначеності». – Бердянськ, 2005. – С. 111–113. 6. Калиткин Н. Н. Численные методы / Н. Н. Калиткин. – М. : Наука, 1978. – 512 с. 7. Марчук Г. И. Введение в проекционно-сеточные методы / Г. И. Марчук, В. И. Агошков. – М. : Наука, 1981. – 416 с. 8. Остапчук О. П. Чисельне моделювання процесу очищення горизонтального шару ґрунту від радіонуклідів при їх вертикальній міграції / О. П. Остапчук // Математичне та комп'ютерне моделювання. Сер.: технічні науки. – Кам'янець-Подільський, 2010. – Вип. 4. – С. 162–172. 9. Самарский А. А. Численные методы математической физики / А. А. Самарский, А. В. Гулин. – М. : Наука, 2003. – 316 с.

**Ostapchuk O. P., Candidate of Engineering, Associate Professor,  
Borovska M. O., 5<sup>th</sup> year Senior Student** (The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

## **THE MATHEMATICAL MODEL OF RADIONUCLIDES MIGRATION UNDER GROUNDWATER FILTRATION TO WATERPOOL**

The problem of radionuclides migration under planned groundwater filtration was considered and its mathematical models with  $k = const$  and  $k = k(c)$  were built. The numerical solution is obtained by finite differences. Software implementation, experiments and analyses were done.

**Keywords:** migration, radionuclides, mass transfer, mathematical models, numerical solution, difference scheme, tridiagonal matrix algorithm.

---

**Остапчук О. П., к.т.н., доцент, Боровская М. О., студентка 5 курса**  
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ ПРИ ПЛАНОВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ДО ВОДНОГО БАССЕЙНА**

Рассмотрено задачу миграции радионуклидов при плановой фильтрации подземных вод и построено ее математические модели при  $k = const$  и  $k = k(c)$ . Численное решение получено методом конечных разниц, осуществлено программная реализация, проведены численные эксперименты и сделано их анализ.

**Ключевые слова:** миграция, радионуклиды, массоперенос, математическая модель, численное решение, разностная схема, метод прогонки.

Цветкова Т. П., старший викладач, Олійник С. О., магістр ННІ АКОТ,  
(Національний університет водного господарства та природокористування,  
м. Рівне)

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МАСОПЕРЕНОСЕННЯ СОЛЕЙ ПРИ НЕСТАЦІОНАРНІЙ ФІЛЬТРАЦІЇ ТА ВОЛОГОПЕРЕНОСЕННІ У НАСИЧЕНО-НЕНАСИЧЕНОМУ ҐРУНТОВОМУ МАСИВІ

Проведено математичне моделювання процесу масоперенесення з врахуванням нестационарній фільтрації та вологоперенесення в насичено-ненасиченому ґрунті. Чисельний розв’язок відповідної крайової задачі знайдено методом скінчених різниць. В результаті програмної реалізації задачі проведені чисельні експерименти та здійснено їх аналіз.

**Ключові слова:** масоперенесення, вологоперенесення, нестационарна фільтрація, неповне і повне насичення, концентрація, напір.

Важливим етапом кругообігу вологи в природі є фільтрація води в ґрунті. Це важливий процес в управлінні водними ресурсами, особливо для сільського господарства. Процеси масоперенесення солей при нестационарній фільтрації описують процеси поширення забруднень, засолення родючих ґрунтів. Задачі вологоперенесення описують динаміку руху вологи в ґрунтових середовищах. Встановлення напорів вологи в ґрунтах є центральною проблемою для встановлення кількості водних ресурсів в засушливих регіонах для проектування дренажних та зрошувальних систем.

Метою даної роботи є проведення досліджень над процесами масоперенесення солей з врахуванням процесів вологоперенесення та нестационарної фільтрації підземних вод.

Досліджується масоперенесення сольових розчинів при нестационарній фільтрації підземних вод та вологоперенесенні у насичено-ненасиченому ґрунті (рис. 1).

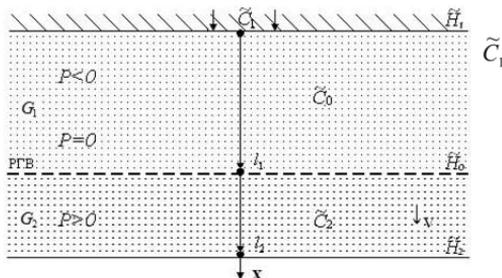


Рис. 1. Масоперенесення солей в областях повного і неповного насичення

Розглянемо шар ґрунту великої протяжності з глибиною  $l_2$ . За рахунок атмосферних опадів і поливів концентрація солей на поверхні ґрунтового масиву становить  $\tilde{C}_1$ . На глибині  $l_1$  від поверхні землі утворилася вільна поверхня рівня ґрунтових вод (РГВ) (нерухома) – область неповного насичення ( $P < 0$ )  $G_1$ . В даній області відома концентрація солей –  $\tilde{C}_0$ . На глибині  $l_2$  від РГВ до фронту промочування (нерухомого) сформувався область повного насичення ( $P > 0$ ) з концентрацією солей  $\tilde{C}_2$  в даній області водонасичення.

**Математична модель даної задачі** в області неповного насичення  $G_1$  описується такою крайовою задачею [1; 3; 4; 6]:

$$\frac{\partial \left( D_1(c_1) \frac{\partial c_1}{\partial x} \right)}{\partial x} - v_1 \frac{\partial c_1}{\partial x} - \gamma_1(c_1 - C_1^*) = \sigma_1 \frac{\partial c_1}{\partial t}, \quad (1)$$

$$\mu(h_1) \frac{\partial h_1}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k_1(c_1, h_1) \frac{\partial h_2}{\partial x} \right) - v_1 \frac{\partial c_1}{\partial x}, \quad (2)$$

$$v_1 = -k_1(c_1, h_1) \frac{\partial h_1}{\partial x} + v_1 \frac{\partial c_1}{\partial x}. \quad (3)$$

Початкові умови до рівняння (2) для напорів води  $h_1(x, t)$  мають вигляд:

$$h_1(x, 0) = \tilde{H}_0^1(x), \quad h_1(0, t) = \tilde{H}_1^1(x). \quad (4)$$

До рівняння масоперенесення солей (1) додаються початкові умови для концентрації солей  $c_1(x, t)$ :

$$c_1(x, 0) = \tilde{C}_0(x), \quad c_1(0, t) = \tilde{C}_1(t). \quad (5)$$

Математична модель даної задачі в області повного насичення  $G_2$  описується наступними диференціальними рівняннями:

$$\frac{\partial \left( D_2(c_2) \frac{\partial c_2}{\partial x} \right)}{\partial x} - v_2 \frac{\partial c_2}{\partial x} - \gamma_2(c_2 - C_2^*) = \sigma_2 \frac{\partial c_2}{\partial t}, \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_2(c_2) \frac{\partial h_2}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left( v_2(c_2) \frac{\partial c_2}{\partial x} \right) = a \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (7)$$

$$v_2 = -k_2(c_2, h_2) \frac{\partial h_2}{\partial x} + v_2 \frac{\partial c_2}{\partial x}. \quad (8)$$

До рівняння (7) додаються крайові умови для напорів рідини  $h_2(x, t)$ :

$$h_2(x,0) = \tilde{H}_0^2(x), \quad h_2(0,t) = H_1^2(x), \quad h_2(l_2,t) = \tilde{H}_2^2(x). \quad (9)$$

Крайові умови для концентрації солей  $c_2(x,t)$  мають вигляд

$$c_2(x,0) = \tilde{C}_0^1(x), \quad c_2(0,t) = \tilde{C}_1^1(t), \quad c_2(l_2,t) = \tilde{C}_2^1(t). \quad (10)$$

Крім того, на межі областей повного та неповного насичення (РГВ) додаються умови спряження ідеального контакту для напорів та концентрації солей відповідно, тобто, різниці між полями шуканих функцій та їх потоками дорівнюють нулю.

$$h_1(l_1,t) = h_2(l_1,t), \quad c_1(l_1,t) = c_2(l_1,t), \quad (11)$$

$$q = \left( c_1 \cdot v_1 - D_1(c_1) \frac{\partial c_1}{\partial x} \right) \Big|_{x=l_1} = \left( c_2 \cdot v_2 - D_2(c_2) \frac{\partial c_2}{\partial x} \right) \Big|_{x=l_1}. \quad (12)$$

В математичних моделях (1)–(5), (6)–(12) використані такі позначення:  $D_1(c_1)$ ,  $D_2(c_2)$  – коефіцієнти конвективної дифузії в областях неповного і повного насичення відповідно,  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  – коефіцієнти масообміну,  $C_1^*$ ,  $C_2^*$  – коефіцієнти граничного насичення сольового розчину,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  – пористість ґрунту,  $k_1(c_1, h_1)$ ,  $k_2(c_2, h_2)$  – коефіцієнти фільтрації,  $v_1$ ,  $v_2$  – швидкості фільтрації сольових розчинів,  $h_1$  – напір вологи,  $h_2$  – п'єзометричний напір,  $\mu(h)$  – вологоємність ґрунтового середовища,  $v_1(c_1)$ ,  $v_2(c_2)$  – осмотичні функції.

Здійснимо побудову обчислювального алгоритму знаходження чисельних розв'язків в областях повного, неповного насичення та на межі областей, крайових задач, описаних мат. моделями (1)–(5), (6)–(10).

### Алгоритм розв'язку задачі в області неповного насичення.

Для знаходження розв'язку задачі вологоперенесення (2)–(5) використаємо неявну *різницеву схему*, яка має вигляд [2, 5]:

$$\mu_i^k \frac{H_{li}^{k+1} - H_{li}^k}{\tau} = \frac{1}{h_1} \left[ a_{li+1}^k \frac{H_{li+1}^{k+1} - H_{li}^{k+1}}{h_1} - a_{li}^k \frac{H_{li}^{k+1} - H_{li-1}^{k+1}}{h_1} \right] - v_1 \frac{C_{li+1}^k - 2C_{li}^k + C_{li-1}^k}{h_1^2},$$

де

$$\mu_i^k = \text{arg} \left( 1 - \frac{2h_2}{H_{i+1}^k - H_{i-1}^k} \right), \quad (13)$$

$$a_{li}^k = 0,5(K(H_{li}^k, C_{li}^k) + K(H_{li-1}^k, C_{li-1}^k)), \quad a_{li+1}^k = 0,5(K(H_{li+1}^k, C_{li+1}^k) + K(H_{li}^k, C_{li}^k)).$$

Розв'язок (13) знайдемо за методом прогонки у вигляді

$$H_{li}^{k+1} = \alpha_{i+1}^1 H_{li+1}^{k+1} + \beta_i^1, \quad (14)$$

$$\alpha_{i+1}^1 = \frac{b_1}{c_1 - \alpha_i^1 a_1}, \beta_{i+1}^1 = \frac{a_1 \alpha_i^1 + f_1}{c_1 - \alpha_i^1 a_1}, i = \overline{1, n-1}, k = \overline{0, m}, \alpha_1 = 0, \beta_1 = H_{li}^{k-1}.$$

Чисельний розв'язок задачі масоперенесення солей (1), (3), (5) в даній області водонасичення знайдемо за монотонною різницевою схемою, яка для рівняння (1) має вигляд

$$\begin{aligned} \frac{1}{h_1} \left( \mu_{i12} d_{1+1}^k \frac{C_{1+1}^{k+1} - C_{1i}^{k+1}}{h_1} - \mu_{i11} d_{1i}^k \frac{C_{1i}^{k+1} - C_{1i-1}^{k+1}}{h_1} \right) + r_{1+}^k \frac{C_{1+1}^{k+1} - C_{1i}^{k+1}}{h_1} + \\ + r_{1-}^k \frac{C_{1i}^{k+1} - C_{1i-1}^{k+1}}{h_1} - \gamma_1 (C_{1i}^{k+1} - C_1^*) = \sigma_1 \frac{C_{1i}^{k+1} - C_{1i}^k}{\tau}, \end{aligned} \quad (15)$$

Згідно з (15) і методом прогонки загальний розв'язок задачі знайдемо у вигляді

$$C_{1i}^{k+1} = \alpha_{i+1}^2 C_{1+1}^{k+1} + \beta_{1+1}^2, \quad (16)$$

$$\alpha_{i+1}^2 = \frac{b_2}{c_2 - \alpha_i^2 a_2}, \quad \beta_{i+1}^2 = \frac{a_2 \beta_i + f_2}{c_2 - \alpha_i^2 a_2}, \quad \alpha_1 = 0, \quad \beta_1 = \tilde{C}_1^l(t).$$

#### Алгоритм розв'язку задачі в області повного насичення.

Чисельний розв'язок задачі нестационарної фільтрації знайдемо з використанням неявної різницевої схеми, яка має такий вигляд [4, 5] :

$$\begin{aligned} \frac{1}{h_2^2} \left[ b_{i+1}^j (H_{2,i+1}^{j+1} - H_{2,i}^{j+1}) - b_i^j (H_{2,i}^{j+1} - H_{2,i-1}^{j+1}) - u_i (C_{2,i+1}^j - 2C_{2,i}^j + C_{2,i-1}^j) \right] = a \frac{H_{2i}^{k+1} - H_{2i}^k}{\tau} \\ b_i^j = \frac{1}{2} (K(H_i^j, C_i^j) + K(H_{i-1}^j, C_{i-1}^j)), \quad b_{i+1}^j = \frac{1}{2} (K(H_{i+1}^j, C_{i+1}^j) + K(H_i^j, C_i^j)). \end{aligned} \quad (17)$$

За методом прогонки розв'язок (17) знайдемо у вигляді:

$$H_{2i}^{k+1} = \alpha_{i+1}^3 H_{2+1}^{k+1} + \beta_i^3, \quad (18)$$

$$\text{де } \alpha_{i+1}^3 = \frac{b_3}{c_3 - \alpha_i^3 a_3}, \beta_{i+1}^3 = \frac{a_3 \alpha_i^3 + f_3}{c_3 - \alpha_i^3 a_3}, \alpha_3 = 0, \beta_3 = H_{2i}^{k-1}, i = \overline{1, n-1}, k = \overline{0, m}.$$

Для знаходження розв'язку задачі масоперенесення солей застосуємо монотонну різницеву схему вигляду

$$\begin{aligned} \frac{1}{h_2} \left( \mu_{i21} d_{2+1}^k \frac{C_{2+1}^{k+1} - C_{2i}^{k+1}}{h_2} - \mu_{i22} d_{2i}^k \frac{C_{2i}^{k+1} - C_{2i-1}^{k+1}}{h_2} \right) + r_{2+}^k \frac{C_{2+1}^{k+1} - C_{2i}^{k+1}}{h_2} + \\ + r_{2-}^k \frac{C_{2i}^{k+1} - C_{2i-1}^{k+1}}{h_2} - \gamma_2 (C_{2i}^{k+1} - C_2^*) = \sigma_2 \frac{C_{2i}^{k+1} - C_{2i}^k}{\tau}. \end{aligned} \quad (19)$$

Розв'язок (19) за методом прогонки є таким:

$$C_{2i}^{k+1} = \alpha_{i+1}^4 C_{2i+1}^{k+1} + \beta_{2i+1}^4, \quad (20)$$

$$\text{де } \alpha_{i+1}^4 = \frac{b_4}{c_4 - \alpha_i^4 a_4}, \quad \beta_{i+1}^4 = \frac{a_4 \beta_i + f_4}{c_4 - \alpha_i^4 a_4}, \quad \alpha_4 = 0, \beta_4 = \tilde{C}_2(t), \quad i = \overline{1, n-1}, \quad k = \overline{0, m}.$$

Згідно з умовами спряження (11), (12), що задані на межі областей водонасичення  $G_1$  та  $G_2$ , розв'язок задачі масоперенесення солей на РГВ за методом прогонки знайдемо згідно з [4].

Обчислення швидкостей фільтрації сольових розчинів (3), (8) у випадку звичайного осмосу ( $v_2 = const$ ) здійснимо за такою різницевою схемою:

$$V_{2i}^{k+1} = -k_{2i}^k \left( \frac{H_{2i+1}^k - H_{2i-1}^k}{2h_2} + v_2 \frac{C_{2i+1}^k - 2C_{2i}^k + C_{2i-1}^k}{h_2^2} \right). \quad (22)$$

У випадку хімічного осмосу ( $v_2 = v_2(c_2)$ ) різницева схема рівняння швидкості фільтрації має вигляд

$$V_{2i}^{k+1} = -k_{2i}^k \left( \frac{H_{2i+1}^k - H_{2i-1}^k}{2h_2} + \frac{1}{h_2} \left( Z_{2i+1}^k \frac{C_{2i+1}^{k+1} - C_{2i}^{k+1}}{h_2} - Z_{2i}^k \frac{C_{2i}^{k+1} + C_{2i-1}^{k+1}}{h_2} \right) \right). \quad (23)$$

$$\text{де } Z_{2i+1}^k = 0,5(v_2(C_{2i+1}^k) + v_2(C_{2i}^k)), \quad Z_{2i}^k = 0,5(v_2(C_{2i}^k) + v_2(C_{2i-1}^k)).$$

Для реалізації обчислювального алгоритму поставленої задачі розроблена програма в середовищі об'єктно-орієнтованого, візуально-подійного програмування Microsoft Visual Studio 2010 на мові C#, при наступних вхідних даних:

$$\begin{aligned} T &= 360 \text{ д\i б}, \quad l_1 = 10 \text{ м}, \quad l_2 = 10 \text{ м}, \quad \sigma_1 = 0,4, \quad \sigma_2 = 0,4, \quad \gamma_1 = 0,0065, \quad \gamma_2 = 0,00065, \\ D_m &= 0,002 \text{ м}^2 / \text{добу}, \quad C^* = 350 \text{ г / літр}, \quad \tilde{C}_0 = 0 \text{ г / літр}, \quad \tilde{C}_1 = 10 \text{ г / літр}, \\ \tilde{C}_2 &= 10 \text{ г / літр}, \quad v = 2,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^5 / \text{кг} \cdot \text{доба}, \quad H_1 = 1,4 \text{ м}, \quad H_2 = 0,1 \text{ м}. \end{aligned}$$

В результаті програмної реалізації обчислювального алгоритму (13)-(23) знайдено чисельні розв'язки задачі масоперенесення солей при нестационарній фільтрації та вологоперенесенні в областях повного та неповного насичення, а також на межі даних областей, що дає можливість розглядати дані області як одне ціле – насичено-ненасичену область.

Чисельний розв'язок задач в насичено-ненасиченій області має таке графічне представлення (рис. 2, 3):

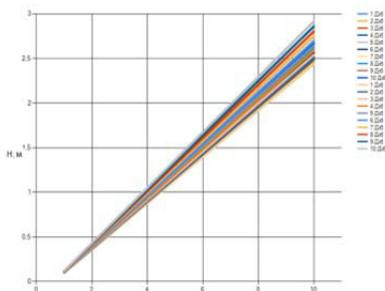


Рис. 2. Графік розподілу напорів

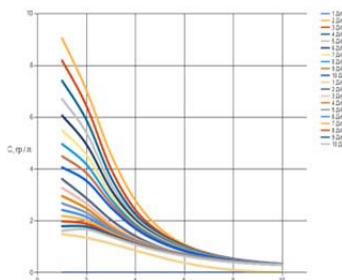


Рис. 3 Розподіл концентрації солей

Розв'язок задач у вигляді рис. 2, 3 знайдено з врахуванням звичайного осмосу. Вплив хімічного осмосу на процес волого- та масоперенесення відображено на рис. 4, 5.

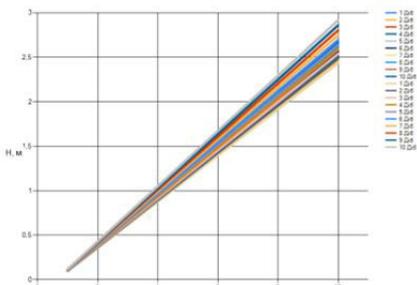


Рис. 4. Розподіл напорів води з врахуванням хімічного осмосу

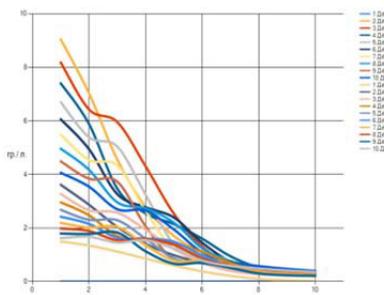


Рис. 5. Розподіл концентрації солей при наявності хімічного осмосу

**На основі програмної реалізації задачі** були проведені числові експерименти, що дало можливість отримати такі результати: розподіл напорів води з врахуванням концентрації солей збільшується з глибиною та зменшується з часом. Стабілізація розподілу напорів спостерігається в області повного насичення; розподіл концентрації солей зменшується з глибиною та часом, набуваючи найменших значень на РГВ, що пояснюється вимиванням сольових розчинів з пористого середовища за рахунок процесу фільтрації. Встановлено, що з врахуванням осмотичних явищ значення розподілу концентрації солей зростають. Осмотичні явища впливають на розподіл концентрації солей пропорційно до вибору коефіцієнта осмосу: зі збільшенням коефіцієнта осмосу концентрація солей зростає.

1. Веригин Н. Н. Диффузия и массообмен при фильтрации жидкостей в пористых средах / Н. Н. Веригин, Б. С. Шержуков // Развитие исследований по теории фильтрации в СССР (1917–1967). – М. : Наука, 1969. – С. 237–313. 2. Власюк А. П. Монотонна різницева схема для нелінійного одновимірного рівняння параболічного типу, що містить першу похідну / А. П. Власюк, О. П. Остапчук, О. М. Степанченко //

Вісник Київського університету. Серія фізико-математичні науки. Вип. № 3, 2005 р. – С. 188–197. 3. Власюк А. П. Математичне моделювання солеперенесення під впливом нестационарної фільтрації та вологоперенесення у насичено-ненасичених ґрунтах / А. П. Власюк, Т. П. Цветкова // Тез. I Міжнародна XX Всеукраїнська наукова конференція «Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики» – м. Львів, 7-9 квітня 2014 р. – С. 56. 4. Цветкова Т. П. Математичне моделювання масопереносу з врахуванням осмосу на вологоперенос в одновимірному випадку / Т. П. Цветкова // Математичне та комп. моделювання. Серія: Техн. науки. Випуск 4. Збірник наукових праць. – К-П. НУ ім. І. Огієнка. – 2010. – С. 227–233.

---

**Tsvetkova T. P., Senior Lecturer, Oliinyk S. O., Master's-degree Student** (The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

### **THE MATHEMATICAL MODELING OF SALTS MASS TRANSFER PROCESS UNDER NON-STATIONARY FILTRATION AND MOISTURE TRANSFER IN SATURATED-NON-SATURATED SOIL**

**The mathematical modeling of salts mass transfer process under non-stationary filtration and moisture transfer in saturated-non-saturated soil was carried out. Numeric solution of corresponding boundary problem was found by the method of finite differences. As the result of the programme implementation a lot of experiments and analysis were carried out.**  
**Keywords:** mass transfer, moisture transfer, non-stationary filtration, complete and incomplete saturation, concentration, head.

---

**Цветкова Т. П., старший преподаватель, Олийник С. О., магистр** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАССОПЕРЕНОСА СОЛЕЙ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ И ВЛАГОПЕРЕНОСЕ В НАСЫЩЕННО-НЕНАСЫЩЕННОМ ПОЧВЕННОМ МАССИВЕ**

**Проведено математическое моделирование процесса массопереноса с учетом нестационарной фильтрации и влагопереноса в насыщенно-ненасыщенном грунте. Численное решение соответствующей краевой задачи найдено методом конечных разностей. В результате программной реализации задачи проведены численные эксперименты и сделан их анализ.**  
**Ключевые слова:** массоперенос, влагоперенос, нестационарная фильтрация, полное и неполное насыщение, концентрация, напор.

Цветкова Т. П., старший викладач, Патрикей Г. П., магістр ННІ АКOT,  
(Національний університет водного господарства та природокористування,  
м. Рівне)

## ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СОЛЕПЕРЕНЕСЕННЯ ПРИ СУМІСНІЙ НЕСТАЦІОНАРНІЙ ФІЛЬТРАЦІЇ ТА ВОЛОГОПЕРЕНЕСЕННІ В НАСИЧЕНО-НЕНАСИЧЕНИХ ҐРУНТАХ В ОДНОВИМІРНОМУ ВИПАДКУ

Проведено математичне моделювання процесу солеперенесення з врахуванням нестационарної фільтрації та вологоперенесення в насичено-ненасиченому ґрунті. Чисельний розв'язок відповідної крайової задачі знайдено методом скінчених різниць. В результаті програмної реалізації задачі проведені чисельні експерименти та здійснено їх аналіз.

**Ключові слова:** солеперенесення, вологоперенесення, нестационарна фільтрація, неповне і повне насичення, концентрація, напір.

При дослідженні режиму ґрунтових вод можна спрогнозувати розвиток небезпечних гідрогеологічних процесів. Тому для детального дослідження процесів солеперенесення враховано процеси нестационарної фільтрації та вологоперенесення, що дає можливість оцінити ступінь поповнення ґрунтових вод за рахунок атмосферних опадів та поверхневих вод, встановити рух поширення забруднень та солевих розчинів.

Метою даної роботи є дослідження протікання процесів солеперенесення з врахуванням процесів нестационарної фільтрації та вологоперенесення в області насичено-ненасиченого ґрунту, проведення рядів чисельних експериментів та їх аналіз.

Досліджується солеперенесення при нестационарній фільтрації підземних вод та вологоперенесенні в насиченому-ненасиченому ґрунтовому масиві (рис. 1).

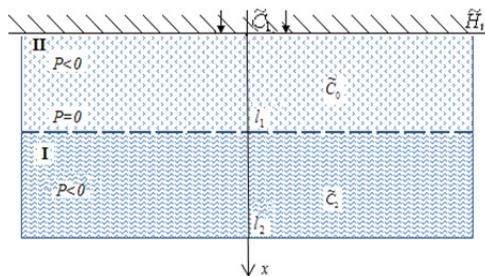


Рис. 1. Солеперенесення в областях повного і неповного насичення

На поверхню ґрунту потрапляють сольові розчини з концентрацією  $\tilde{C}_1$ . На глибині  $l_1$  від поверхні ґрунтового шару утворилася вільна поверхня ґрунтових вод (РГВ), яка вважається нерухомою. Таким чином, сформувалась область неповного насичення з концентрацією  $\tilde{C}_0$ . На глибині  $l_2$  від РГВ розташований нерухомий фронт промочування – область повного насичення з концентрацією  $\tilde{C}_2$ .

Необхідно здійснити дослідження протікання досліджуваних процесів в обох областях водонасичення.

**Математична модель даної задачі** в області повного насичення описується такою крайовою задачею:

$$\frac{\partial \left( D_1 \frac{\partial c_1}{\partial x} \right)}{\partial x} - v_1 \frac{\partial c_1}{\partial x} - \gamma_1 (c_1 - C_1^*) = \sigma_1 \frac{\partial c_1}{\partial t}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (k_1 \frac{\partial h_1}{\partial x}) - v_1 \frac{\partial c_1}{\partial x} = a \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (2)$$

$$v_1 = -k_1 \frac{\partial h_1}{\partial x} + v_1 \frac{\partial c_1}{\partial x} \quad (3)$$

при відповідних крайових умовах для напорів рідини  $h_1(x, t)$

$$h_1(x, 0) = \tilde{H}_0^1(x), \quad h_1(0, t) = \tilde{H}_1^1(x), \quad h_1(l_2, t) = \tilde{H}_2^1(x); \quad (4)$$

та концентрації солей  $C_1(x, t)$ :

$$c_1(x, 0) = \tilde{C}_0^1(x), \quad c_1(0, t) = \tilde{C}_1^1(t), \quad c_1(l_2, t) = \tilde{C}_2^1(t). \quad (5)$$

Математична модель даної задачі в області неповного насичення у загальноприйнятих позначеннях описується такою крайовою задачею:

$$\frac{\partial \left( D_2 \frac{\partial c_2}{\partial x} \right)}{\partial x} - v_2 \frac{\partial c_2}{\partial x} - \gamma_2 (c_2 - C_2^*) = \sigma_2 \frac{\partial c_2}{\partial t}, \quad (6)$$

$$\mu(h) \frac{\partial h_2}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (k_2 \frac{\partial h_2}{\partial x}) - v_2 \frac{\partial c_2}{\partial x}, \quad (7)$$

$$v_2 = -k_2 \frac{\partial h_2}{\partial x} + v_2 \frac{\partial c_2}{\partial x}. \quad (8)$$

Початкові умови до рівняння (7) для напорів вологи  $h_2(x, t)$  мають вигляд

$$h_2(x, 0) = \tilde{H}_0^2(x), \quad h_2(0, t) = \tilde{H}_1^2(x). \quad (9)$$

До рівняння солеперенесення (6) додаються початкові умови для концентрації солей  $C_2(x, t)$  такого вигляду

$$c_2(x, 0) = \tilde{C}_0^2(x), \quad c_2(0, t) = \tilde{C}_1^2(t) \quad (10)$$

На межі РГВ виконуються умови спряження ідеального контакту: різниці між межами шуканих функцій та їх потоками рівні нулю:

– для напору

$$[h] \Big|_{x=l_1} = 0 \quad \text{або} \quad h_1(l_1, t) = h_2(l_1, t); \quad (11)$$

– для концентрації солей

$$c_1(l_1, t) = c_2(l_1, t), \quad [c] \Big|_{x=l_1} = \left[ cv_x - D(c) \frac{\partial c}{\partial x} \right] \Big|_{x=l_1} = 0. \quad (12)$$

В математичних моделях (1)-(5), (6)-(12) використані такі позначення:  $D_1, D_2$  – коефіцієнти конвективної дифузії в областях повного і неповного насичення відповідно,  $\gamma_1, \gamma_2$  – коефіцієнти масообміну,  $C_1^*, C_2^*$  – коефіцієнти граничного насичення сольових розчинів,  $\sigma_1, \sigma_2$  – пористості ґрунтів,  $k_1, k_2$  – коефіцієнти фільтрації,  $v_1, v_2$  – швидкості фільтрації сольових розчинів,  $k_1$  – напір рідини (п'єзометричний напір),  $h_2$  – напір вологи,  $\mu(h)$  – вологоємність ґрунту,  $v_1, v_2$  – коефіцієнти осмосу.

**Здійснимо побудову обчислювального алгоритму** знаходження розв'язку задачі в області повного насичення.

Для знаходження розв'язку задачі нестационарної фільтрації в області повного насичення використаємо неявну різницеву схему, яка для задачі (2), (4) має вигляд

$$\frac{1}{h_1} \left( k_1 \frac{H_{1i+1}^{k+1} - 2H_{1i}^{k+1} + H_{1i-1}^{k+1}}{h_1} \right) - v_1 \frac{C_{1i-1}^{k+1} - C_{1i}^k}{h_1} = a \frac{H_{1i}^{k+1} - H_{1i}^k}{\tau}. \quad (13)$$

Згрупувавши подібні члени (13), отримаємо

$$\left( \frac{k_1}{h_1^2} \right) H_{1i+1}^{k+1} - \left( \frac{2k_1}{h_1^2} + \frac{a}{\tau} \right) H_{1i}^{k+1} + \left( \frac{k_1}{h_1^2} \right) H_{1i-1}^{k+1} = -\frac{a}{\tau} H_{1i}^k - \frac{v_1}{h_1} (C_{1i-1}^{k+1} - C_{1i}^k). \quad (14)$$

Для знаходження розв'язку задачі (14) використаємо метод прогонки. Тоді різницева схема (13), згідно з (14), у прогоночному вигляді буде такою:

$$a_1 H_{1i-1}^{k+1} - c_1 H_{1i}^{k+1} + b_1 H_{1i+1}^{k+1} = -f_1, \quad (15)$$

$$\text{де} \quad a_1 = b_1 = \frac{k_1}{h_1^2}, \quad c_1 = \frac{2k_1}{h_1^2} + \frac{a}{\tau}, \quad f_1 = \frac{a}{\tau} H_{1i}^k - \frac{v_1}{h_1^2} (C_{1i-1}^{k+1} - C_{1i}^k),$$

$$i = \overline{1, n-1}, \quad k = \overline{0, m}.$$

Таким чином, за методом прогонки розв'язок задачі нестационарної фільтрації (15) знайдемо у вигляді

$$H_{1i}^k = \alpha_{i+1} H_{1i+1}^{k+1} + \beta_{i+1}, \quad (16)$$

$$\text{де} \quad \alpha_{i+1} = \frac{b_1}{c_1 - \alpha_i a_1}, \quad \beta_{i+1} = \frac{a_1 \beta_i + f_1}{c_1 - \alpha_i a_1},$$

$$\alpha_1 = 0, \beta_1 = H_1^1(t), \quad i = \overline{1, n-1}, k = \overline{0, m}.$$

Для розв'язування задачі солеперенесення (1), (3), (5) застосуємо монотонну різницеву схему, згідно з якою різницева схема даної задачі має вигляд

$$\frac{1}{h_1} \left( D_1 \frac{C_{li+1}^{k+1} - 2C_{li}^{k+1} - C_{li-1}^{k+1}}{h_1} \right) + r_{li+}^{k+1} \frac{C_{li+1}^{k+1} - C_{li}^{k+1}}{h_1} + r_{li-}^{k+1} \frac{C_{li}^{k+1} - C_{li-1}^{k+1}}{h_1} - \gamma_1 (C_{li}^{k+1} - C_1^*) = \sigma_1 \frac{C_{li}^{k+1} - C_{li}^k}{\tau} \quad (17)$$

$$\text{або} \quad \left( -\frac{D_1}{h_1^2} - \frac{r_{li-}^k}{h_1} \right) C_{li-1}^{k+1} - \left( -\frac{2D_1}{h_1^2} - \frac{r_{li+}^{k+1}}{h_1} - \frac{\sigma_1}{\tau} + \frac{r_{li-}^{k+1}}{h_1} \right) C_{li}^{k+1} + \left( \frac{D_1}{h_1^2} + \frac{r_{li+}^k}{h_1} \right) C_{li+1}^{k+1} = \left( -\frac{\sigma_1}{\tau} \right) C_{li}^k + \gamma_1 (C_{li}^{k+1} - C_{li}^*),$$

де  $C_i^0 = C_0(ih_2)$ ,  $C_0^{k+1} = ((k+1)\tau)$ ,  $C_n^{k+1} = C_1((k+1)\tau)$ ,  
 $r_{li+}^{k+1} = -0,5(V(x_i, C_{li}^k) + |V(x_i, C_{li}^k)|) \geq 0$ ,  $r_{li-}^{k+1} = -0,5(V(x_i, C_{li}^k) + |V(x_i, C_{li}^k)|) \leq 0$ .

За методом прогонки маємо

$$a_2 C_{li-1}^{k+1} - c_2 C_{li}^{k+1} + b_2 C_{li+1}^{k+1} = -f_2, \quad (18)$$

$$\text{де} \quad a_2 = -\frac{D_1}{h_1^2} - \frac{|r_{li-}^k|}{h_1}, \quad c_2 = -\frac{2D_1}{h_1^2} - \frac{r_{li+}^{k+1}}{h_1} - \frac{\sigma_1}{\tau} + \frac{r_{li-}^{k+1}}{h_1},$$

$$f_2 = C_{li}^k \left( \frac{r_{li+}^{k+1}}{h_1} + \frac{\sigma_1}{\tau} - \frac{r_{li-}^{k+1}}{h_1} \right) - \gamma_1 \frac{C_{li}^{k+1} - C_{li}^*}{\tau}, \quad b_2 = \left( \frac{D_1}{h_1^2} + \frac{r_{li+}^k}{h_1} \right).$$

Таким чином, розв'язок різницевої схеми (17), згідно (18), знаходимо у вигляді

$$C_{li}^{k+1} = \alpha_{i+1} C_{li+1}^{k+1} + \beta_{i+1},$$

$$\text{де} \quad \alpha_{i+1} = \frac{b_2}{c_2 - \alpha_i a_2}, \quad \beta_{i+1} = \frac{a_2 \beta_i + f_2}{c_2 - \alpha_i a_2},$$

$$\alpha_1 = 0, \beta_1 = \widehat{C}_1(t), \quad i = \overline{1, n-1}, k = \overline{0, m}.$$

Розглянемо задачу солеперенесення при вологоперенесенні (6)-(10) в області неповного насичення та знайдемо її чисельний розв'язок.

Для знаходження розв'язку задачі вологоперенесення використаємо неявну різницеву схему, яка, згідно з рівняннями (7), (10), має вигляд

$$\mu_i^k \frac{H_{2i}^{k+1} - H_{2i}^k}{\tau} = \frac{1}{h_2} \left( k_2 \frac{H_{2i+1}^{k+1} - 2H_{2i}^{k+1} + H_{2i-1}^{k+1}}{h_2} \right) - v_2 \frac{C_{2i+1}^{k+1} - C_{2i}^k}{h_2}, \quad (19)$$

де 
$$\mu_i^k = \text{apg} \left( 1 - \frac{2h_2}{H_{2i+1}^k - H_{2i-1}^k} \right).$$

Згрупувавши подібні члени в (19), отримаємо

$$\begin{aligned} H_{2i}^{k+1} \left( \frac{\mu_i^k}{\tau} + \frac{2k_2}{h_2^2} \right) - H_{2i-1}^{k+1} \left( \frac{k_2}{h_2^2} \right) + H_{2i+1}^{k+1} \left( \frac{k_2}{h_2^2} \right) = \\ = H_{2i}^k \left( \frac{\mu_i^k}{\tau} \right) - \frac{v_2}{h_2} (C_{2i-1}^{k+1} - C_{2i}^k). \end{aligned} \quad (20)$$

Для знаходження розв'язку задачі (20) використаємо метод прогонки. Тоді різницева схема (19), (20) у прогоночному вигляді буде мати такий вигляд:

$$a_3 H_{2i-1}^{k+1} - c_3 H_{2i}^{k+1} + b_3 H_{2i+1}^{k+1} = -f_3, \quad (21)$$

де прогоночні коефіцієнти, мають вигляд

$$a_3 = b_3 = \frac{k_2}{h_2^2}, \quad c_3 = \frac{\mu_{2i}^k}{\tau} + \frac{2k_2}{h_2^2}, \quad f_3 = \frac{\mu_{2i}^k}{\tau} H_{2i}^k - \frac{v_2}{h_2^2} (C_{2i+1}^{k+1} - C_{2i}^k).$$

Таким чином, за методом прогонки розв'язок задачі (21) знаходимо у вигляді

$$H_{2i}^k = \alpha_{i+1} H_{2i+1}^{k+1} + \beta_{i+1},$$

де 
$$\alpha_{i+1} = \frac{b_3}{c_3 - \alpha_i a_3}, \quad \beta_{i+1} = \frac{a_3 \beta_i + f_3}{c_3 - \alpha_i a_3}, \quad \alpha_1 = 0, \quad \beta_1 = \widehat{H}_2,$$

$$i = \overline{1, n-1}, \quad k = \overline{0, m}$$

Для розв'язування задачі солеперенесення в даній області водонасичення (6), (8), (9) застосуємо монотонну різницеву схему. Тоді різницева схема даної задачі має вигляд

$$\begin{aligned} \frac{1}{h_2} \left( D_2 \frac{C_{2i+1}^{k+1} - 2C_{2i}^{k+1} - C_{2i-1}^{k+1}}{h_2} \right) + r_{2i+}^{k+1} \frac{C_{2i+1}^{k+1} - C_{2i}^{k+1}}{h_2} + r_{2i-}^{k+1} \frac{C_{2i}^{k+1} - C_{2i-1}^{k+1}}{h_2} - \\ - \gamma_2 (C_{2i}^{k+1} - C_{2i}^*) = \sigma_2 \frac{C_{2i}^{k+1} - C_{2i}^k}{\tau}, \end{aligned} \quad (22)$$

де  $C_i^0 = C_0(ih_1)$ ,  $C_0^{k+1} = ((k+1)\tau)$ ,  $C_n^{k+1} = C_2((k+1)\tau)$ ,  
 $r_{2i+}^{k+1} = -0,5(V(x_i, C_{2i}^k) + |V(x_i, C_{2i}^k)|) \geq 0$ ,  $r_{2i-}^{k+1} = -0,5(V(x_i, C_{2i}^k) + |V(x_i, C_{2i}^k)|) \leq 0$ .

Різницева схема (22) за методом прогонки має вигляд

$$a_4 C_{2i-1}^{k+1} - c_4 C_{2i}^{k+1} + b_4 C_{2i+1}^{k+1} = -f_4, \quad (23)$$

де  $a_4 = -\frac{D_2}{h_2^2} + \frac{|r_{2i-}^k|}{h_2}$ ,  $b_4 = -\frac{D_2}{h_2^2} + \frac{|r_{2i+}^k|}{h_2}$ ,  $c_4 = -\frac{2D_2}{h_2^2} + \frac{|r_{2i-}^{k+1}|}{h_2} - \frac{|r_{2i+}^{k+1}|}{h_2} - \frac{\sigma_2}{\tau}$ ,

$$f_4 = -\gamma_2 \frac{C_{2i}^{k+1} - C_2^*}{\tau}, \quad i = \overline{1, n-1}, k = \overline{0, m}.$$

Таким чином, розв'язок задачі солеперенесення, згідно з (23) знаходимо у вигляді

$$\begin{aligned} C_{2i}^{k+1} &= \alpha_{i+1} C_{2i+1}^{k+1} + \beta_{i+1}, \\ \alpha_{i+1} &= \frac{b_4}{c_4 - \alpha_i a_4}, \quad \beta_{i+1} = \frac{a_4 \beta_i + f_4}{c_4 - \alpha_i a_4}, \\ \alpha_1 &= 0, \quad \beta_1 = \tilde{C}_1(t), \quad i = \overline{1, n-1}, k = \overline{0, m}. \end{aligned}$$

Різницева схема рівнянь швидкостей фільтрації (3), (8) має вигляд

$$V_{li}^{k+1} = -k_{li}^k \left( \frac{H_{li+1}^k - H_{li-1}^k}{2h_1} \right) + v_2 \frac{C_{li+1}^k - 2C_{li}^k + C_{li-1}^k}{h_1^2}. \quad (24)$$

Розв'язок задачі солеперенесення на РГВ (12) знайдено з використанням монотонної різницевої схеми та методу прогонки.

Таким чином, алгоритм розв'язування задачі солеперенесення в насичено-ненасиченому ґрунтовому середовищі побудовано повністю.

**Програмну реалізацію поставленої задачі** виконано в середовищі візуально-подійного, об'єктно-орієнтованого програмування Microsoft Visual Studio 2012 на платформі .NET 4.0 при наступних вхідних даних:

$$\begin{aligned} T &= 360 \text{ дб}, \quad l_1 = 10 \text{ м}, \quad l_2 = 5 \text{ м}, \quad \sigma_1 = \sigma_2 = 0,4, \quad \gamma_1 = \gamma_2 = 0,0065, \\ D_m &= 0,2 \text{ м}^2 / \text{добу}, \quad C^* = 350 \text{ г / літр}, \quad \tilde{C}_0 = 0 \text{ г / літр}, \quad \tilde{C}_1 = 10 \text{ г / л}, \quad \tilde{C}_2 = 10 \text{ г / л}, \\ H_1^1 &= 1,4 \text{ м}, \quad H_2^1 = 0,05 \text{ м}, \quad H_1^2 = 1,8 \text{ м}, \quad H_2^2 = 1,4 \text{ м}, \\ v_1 &= v_2 = 2,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^5 / \text{кг} \cdot \text{доба}, \quad D_1 = D_2 = 0,4, \quad k_1 = k_2 = 2,3 \text{ м / доба}. \end{aligned}$$

Результатом розв'язання задачі солеперенесення при нестационарній фільтрації в області повного насичення є знаходження значень розподілів напорів рідини та концентрації солей в межах даної області фільтрації, графічне представлення яких вигляд (рис. 2, 3, 6)

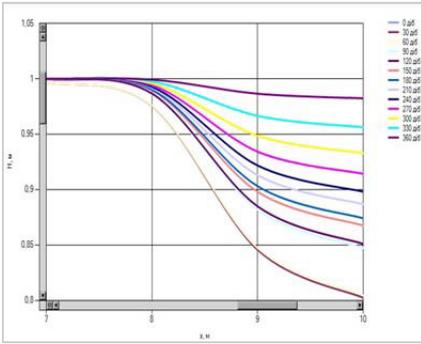


Рис. 2. Графік розподілу п'єзометричних напорів

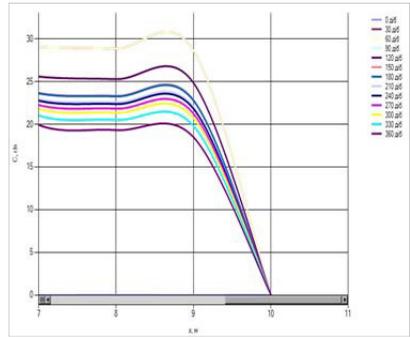


Рис. 3. Графік розподілу концентрації солей

Результатом розв'язання задачі солеперенесення при вологоперенесенні є знаходження значень розподілу напорів води та концентрації солей в межах даної області вологоперенесення.

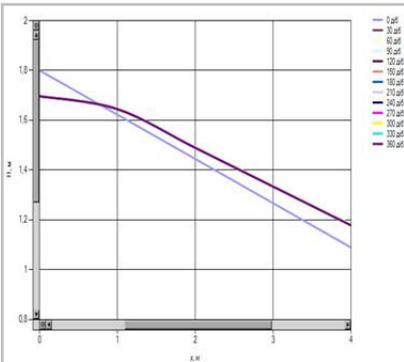


Рис. 4. Графік розподілу напорів води

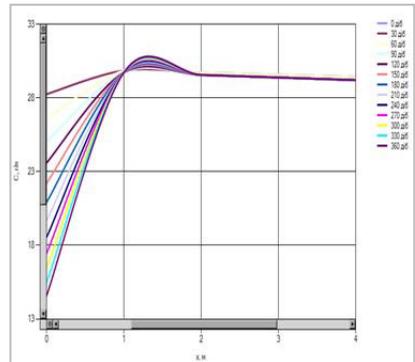


Рис. 5. Графік розподілу концентрації солей

Знайшовши розв'язок задачі солеперенесення окремо в областях неповного та повного насичення ґрунту, знайдено розв'язок даної задачі на вільній поверхні (РГВ).

В результаті програмної реалізації задачі над отриманими результатами проведено ряд чисельних експериментів, на основі їх детального аналізу встановлено такі результати: в області неповного насичення розподіл напорів води зменшується з часом (рис. 4), набуваючи найменших значень на максимальному часовому шарі ( $T=360 \text{ діб}$ ); згідно з (рис. 5) встановлено, що розподіл концентрації сольових розчинів зменшується з глибиною, набуваючи найменших значень в околі вільної поверхні; в області повного насичення графік розподілу п'єзометричних напорів (рис. 2) демонструє поступове їх зменшення з глибиною та часом; розподіл концентрації солей

зменшується з часом та глибиною (рис. 3), набуваючи менших значень порівняно з розподілом концентрації солей в області неповного насичення, що пояснюється інтенсивнішим вимиванням сольових розчинів з пористого середовища завдяки процесу фільтрації.

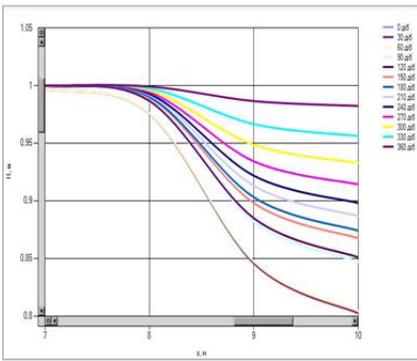


Рис. 6. Графік швидкості фільтрації

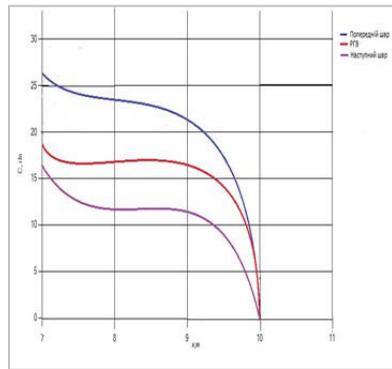


Рис. 7. Розподіл концентрації солей на РГВ

Розв'язок задачі на межі двох областей відображає процес перерозподілу концентрації на РГВ (рис. 7). Загалом розподіл концентрації сольових розчинів в області насичено-ненасиченого ґрунтового середовища з глибиною та часом зменшується, що пояснюється поступовим вимиванням солей з пористого середовища з часом.

Проведення ряду чисельних експериментів при різних даних, дозволило встановити такі результати: при збільшенні коефіцієнтів масообміну та дифузії концентрація солей зростає інтенсивніше з часом в області повного насичення; в області неповного насичення дані коефіцієнти здійснюють незначний вплив на процес розподілу концентрації сольових розчинів; при збільшенні коефіцієнта пористості ґрунту розподіл концентрації солей інтенсивніше перерозподіляється в області фільтрації, зростання даного коефіцієнта призводить до зменшення концентрації солей; з врахуванням осмосу розподіл концентрації зростає; осмотичні явища впливають на розподіл концентрації солей пропорційно до вибору коефіцієнта осмосу.

1. Будаговский А. И. Измерение потоков воды в ненасыщенных средах / А. И. Будаговский, Е. М. Гусев // Водные ресурсы. № 2 – М. : 1982. – С. 17–25.
2. Веригин Н. Н. Диффузия и масообмен при фильтрации жидкостей в пористых средах / Н. Н. Веригин, Б. С. Шержуков // Развитие исследований по теории фильтрации в СССР (1917 – 1967). – М. : Наука, 1969. – С. 237–313.
3. Власюк А. П. Монотонна різницева схема для лінійного одновимірного рівняння параболічного типу, що містить першу похідну / А. П. Власюк, О. П. Остапчук, О. М. Степанченко // Вісник Київського університету. Сер. фіз.- мат. наук. – 2005. – Вип. 2. – С. 188–197.
4. Власюк А. П. Математичне моделювання солеперенесення при сумісній фільтрації

та вологоперенесенні в насичено-ненасичених шаруватих ґрунтах в лінійній постановці / А. П. Власюк, Т. П. Цветкова // Тез. Міжнар. конф. "Прийняття рішень в умовах невизначеності", 13-17 травня 2013 р. Східниця, 2013. – С. 87–89.

5. Власюк А. П. Математичне моделювання солеперенесення під впливом нестационарної фільтрації та вологоперенесення у насичено-ненасичених ґрунтах / А. П. Власюк, Т. П. Цветкова // Тез. I Міжнародна XX Всеукраїнська наукова конференція «Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики» - м. Львів, 7-9 квітня 2014 р. – С. 56.

---

**Tsvietkova T. P., Senior Lecturer, Patrykei H. P., Master's-degree Student**  
(The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

### **THE NUMERICAL MODELING OF SALTS MASS TRANSFER PROCESS UNDER NON-STATIONARY FILTRATION AND MOISTURE TRANSFER IN SATURATED-NON-SATURATED SOIL IN ONE-DIMENSIONAL CASE**

**The numerical modeling salts mass transfer process under non-stationary filtration and moisture transfer in saturated-non-saturated soil was carried out. Numeric solution of corresponding boundary problem was found by the method of finite differences. As the result of the programme implementation a lot of experiments and analysis were carried out.**

**Keywords:** mass transfer, moisture transfer, non-stationary filtration, complete and incomplete saturation, concentration, head.

---

**Цветкова Т. П., старший преподаватель, Патрикеев Г. П., магистр**  
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

### **ЧИСЛОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЛЕПЕРЕНОСА ПРИ СОВМЕСТИМОЙ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ И ВЛАГОПЕРЕНОСЕ В НАСЫЩЕНО-НЕНАСЫЩЕННЫХ ГРУНТАХ В ОДНОМЕРНОМ СЛУЧАЕ**

**Проведено математическое моделирование процесса солепереноса с учетом нестационарной фильтрации и влагопереноса в насыщенно-ненасыщенном грунте. Численное решение соответствующей краевой задачи найдено методом конечных разностей. В результате программной реализации задачи проведены численные эксперименты и сделан их анализ.**

**Ключевые слова:** солеперенос, влагоперенос, нестационарная фильтрация, полное и неполное насыщение, концентрация, напор.

**Жуковський В. В., старший викладач, Михальчук О. А., студент 2 курсу ННІ АКОТ (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)**

## **РЕАЛІЗАЦІЯ МЕХАНІЗМУ ЗАВАНТАЖЕННЯ МЕДІА ФАЙЛІВ У ХМАРНИЙ СЕРВІС MICROSOFT AZURE**

**Розглянуто особливості завантаження зображень в хмарне середовище Azure Storage. Приведено UML-діаграму, структури класів та ключові методи.**

**Ключові слова:** ASP.NET, MVC, Azure Storage, MS SQL, завантаження зображень, хмарна технологія.

**В наш час великої популярності** набули соціальні мережі. З їх допомогою люди отримали можливість спілкуватися, бути в курсі останніх новин, подій в житті цікавої їм людини. Однією з важливих технічних функцій даних веб-сервісів є механізм завантаження та контролю медіа файлів. Такими файлами можуть бути як відео, так і фотоматеріали. Без фотографій передати красу життєвих моментів неможливо, тому всі соціальні мережі надають користувачам можливість обмінюватись зображеннями в першу чергу.

**Метою даної роботи** є розгляд основних задач, проблем і технічних особливостей завантаження зображень для використання в соціальній мережі. Першим етапом був вибір сховища для зображень. Розглядалось три варіанти збереження: в базі даних MS SQL, в файловій системі або Azure Storage. Кожний з них мав свої переваги і недоліки. Почнемо з бази даних MS SQL. В ній рекомендується зберігати зображення розміром до 1 МБ. Такий варіант не є прийнятним, але починаючи з версії 2008 з'явився новий тип FileStream, що призначений для зберігання великих файлів та рекомендується для файлів строго більше 1 МБ. Оскільки розміри зображення охоплюють ці два діапазони, то це теж не підходить. Звичайна файлова система – непоганий варіант, але Microsoft вже створила сервіс Azure Storage. Це файлова система в хмарі, дуже проста у використанні і володіє простою ієрархією. Отже, в якості технологічного стеку було вибрано ASP.NET, MVC, Azure Storage, MS SQL [1-3].

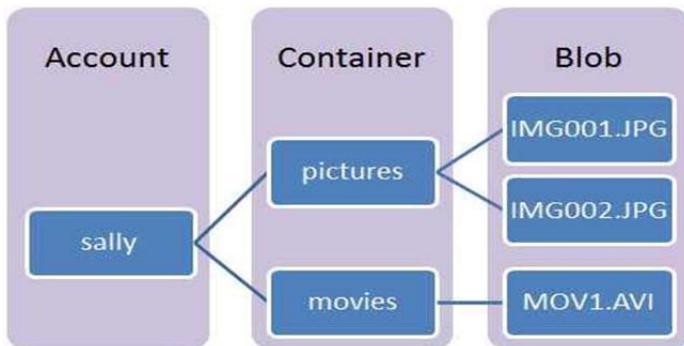


Рис. 1. Концепція служби Blob

Служба Blob містить такі компоненти:

- Сховище (Account): Весь доступ до Azure Storage здійснюється через обліковий запис сховища.
- Контейнер (Container): контейнер забезпечує угруповання набору великих двійкових об'єкт. Всі великі двійкові об'єкти повинні бути в контейнері. Сховище може містити необмежену кількість контейнерів. Контейнер може зберігати необмежену кількість об'єктів.
- Великий двійковий об'єкт (далі Blob): файл будь-якого типу і розміру. Є два типи Blob'a, які можуть бути збережені в Azure Storage: блок і сторінка Blob. Більшість файлів це блок Blob. Один блок Blob може бути до 200 ГБ., інший тип Blob, може бути до 1 ТБ в розмірі, і більш ефективний, коли діапазони байтів у файлі модифікуються часто.

Служба BLOB-об'єктів також використовує концепцію каталогів всередині контейнерів. Таким чином, можна організувати BLOB-об'єкти в структурі, схожою на каталоги.

Для передачі файлу в блоковий BLOB-об'єкт потрібно отримати посилання на контейнер і використовувати її для отримання посилання на блочний BLOB-об'єкт. Отримавши посилання, можна відправити у нього будь-який потік даних за допомогою методу UploadFromStream. Ця операція створює Blob, якщо він не існує, або замінює його, якщо він існує. У наступному прикладі показано, як відправити BLOB-об'єкт в контейнер.

```

// Отримати обліковий запис сховища з рядка підключення.
CloudStorageAccount storageAccount = CloudStorageAccount.Parse(
    CloudConfigurationManager.GetSetting("StorageConnectionString"));

// Створити клієнта BLOB.
CloudBlobClient blobClient = storageAccount.CreateCloudBlobClient();
  
```

```

// Отримати посилання на контейнер.
CloudBlobContainer container =
blobClient.GetContainerReference("mycontainer");

// Створення контейнера, якщо він ще не існує.
container.CreateIfNotExists();

// Отримати посилання на blob під назвою "myblob".
CloudBlockBlob blockBlob = container.GetBlockBlobReference("myblob");

// Створити або перезаписати "myblob" Blob з вмістом з локального файлу.
using (var fileStream = System.IO.File.OpenRead(@"path\myfile"))
{
    blockBlob.UploadFromStream(fileStream);
}

```

Також сервіс підтримує такі дії:

- перерахування BLOB-об'єктів в контейнері (включаючи каталоги);
- видалення BLOB-об'єктів;
- завантаження BLOB-об'єктів;
- асинхронне розташовування BLOB-об'єктів на сторінці.

**Розглянемо модель** класу, який був розроблений для базових потреб при завантаженні зображення.

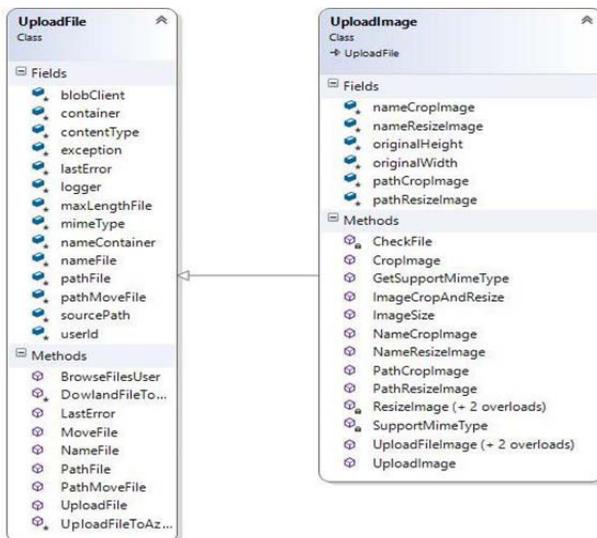


Рис. 2. Діаграма класів і методів

Розглянемо лише основні методи, які використовуються при завантаженні зображень. На рис. 2 зображено клас UploadImage, який унаслідкується від базового UploadFile при ініціалізації класу. При підключенні до Azure Storage задаємо необхідний контейнер.

Конструктор класу UploadFile:

```
// Отримаємо обліковий запис із строки підключення
CloudStorageAccount storageAccount =
CloudStorageAccount.Parse(ConfigurationManager.AppSettings["StorageConn
ectionString"].ToString());
```

```
// Створюємо клієнт служби BLOB-об'єктів
blobClient = storageAccount.CreateCloudBlobClient();
```

```
// Отримаємо посилання на контейнер
container = blobClient.GetContainerReference(containerName);
```

Після підключення до Azure Storage і отримання посилання на контейнер, отримуємо можливість використовувати цей контейнер для завантаження зображень. Використовуючи метод UploadFileToAzure, завантажимо файл на Azure Storage.

```
protected bool UploadFileToAzure(HttpPostedFileBase inputFile, string path)
{
    // Отримуємо посилання на BLOB-об'єкт
    CloudBlockBlob blockBlob = container.GetBlockBlobReference(path);

    // Створюємо BLOB-об'єкт
    var fileStream = inputFile.InputStream;

    // Вказуємо тип файлу
    blockBlob.Properties.ContentType = inputFile.ContentType;

    // Передаємо потік і зберігаємо
    blockBlob.UploadFromStream(fileStream);

    // Зберігаємо локальний шлях до BLOB-об'єкта
    pathFile = blockBlob.Uri.LocalPath;
    return true;
}
```

Після завантаження зображення на Azure Storage і отримання шляху, можемо його використовувати. Клас UploadImage містить і ряд інших методів для керування зображеннями:

- ResizeImage: метод призначений для зміни розміру зображення при цьому зберігаючи його пропорції;
- CropImage: для обрізки зображення за заданими параметрами, використовується для зміни розмірів фото користувача на профіль і на обкладинку;
- SupportMimeType: перевірка файлу на відповідність типу.

Контейнер може містити необмежену кількість файлів, тому було вирішено створити один контейнер і в ньому – необхідні каталоги.

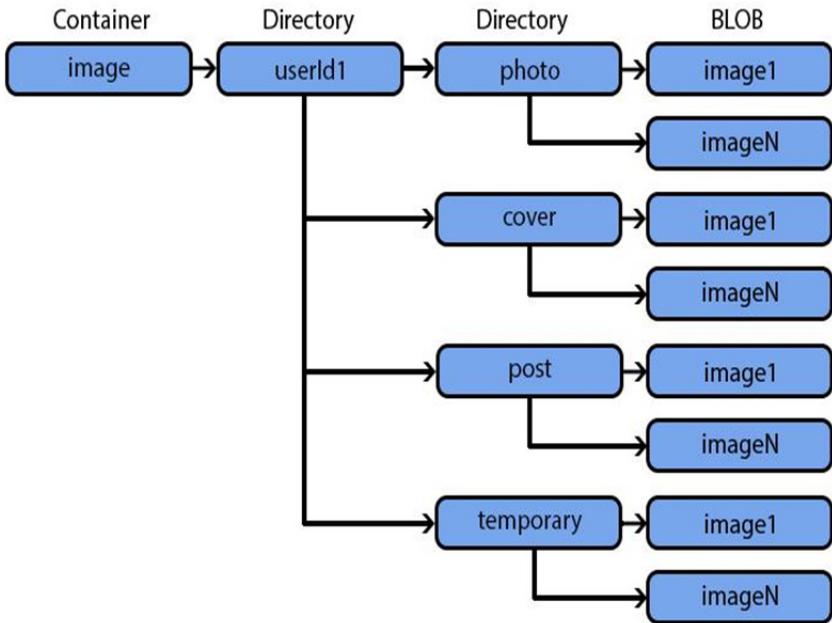


Рис. 3. Ієрархія каталогів для зображень

**В роботі сформовано загальні представлення** про Azure Storage і завантаження файлів. Було розглянуто базові можливості даного сервісу. Розв’язано проблему завантаження зображень і здійснення над ним основних операцій.

1. Azure Storage Blobs Service Working with Directories. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.codeproject.com/Articles/297052/Azure-Storage-Blobs-Service-Working-with-Directori>.

2. How to use Blob Storage from .NET. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://azure.microsoft.com/enus/documentation/articles/storage-dotnet-how-to-use-blobs/>. 3. Фримен А. ASP.NET MVC 5 с примерами на C# 5.0 для профессионалов / А. Фримен, С. Сандерсон. – [5-е изд.], «ВИЛЬЯМС», 2014. – С. 413–415.

---

**Zhukovskyi V. V., Senior Lecturer, Mykhalchuk O. A., 2<sup>nd</sup> year Senior Student** (The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

## **IMAGE UPLOAD IMPLEMENTATION TO MICROSOFT AZURE CLOUD**

**Images upload implementation to Azure cloud Storage were considered. UML-diagram of classes structure and key techniques was done.**

**Keywords:** ASP.NET, MVC, Azure Storage, MS SQL, image upload, cloud technology.

---

**Жуковский В. В., старший преподаватель, Михальчук О. А., студент 2 курса** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

## **РЕАЛИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМА ЗАГРУЗКИ МЕДИА ФАЙЛОВ В ОБЛАЧНЫЙ СЕРВИС MICROSOFT AZURE**

**Рассмотрены особенности загрузки изображений в облачную среду Azure Storage. Приведено UML-диаграмму, структуры классов и ключевые методы.**

**Ключевые слова:** ASP.NET, MVC, Azure Storage, MS SQL, загрузка изображений, облачная технология.

**Жуковський В. В., старший викладач, Цупер А. В., студентка 2 курсу**  
ННІ АКОТ (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## **ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ РЕЄСТРАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ API СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖ**

**Розглянуто особливості реалізації механізму реєстрації за допомогою соціальних мереж з використанням Open API та Graph API. Вибрано соціальні мережі Vkontakte та Facebook.**

**Ключові слова:** авторизація, Open API, Graph API, Facebook, Vkontakte.

**Переважає більшість сайтів** сьогодні разом з основною системою авторизації надають користувачам можливість авторизації через соціальні мережі. Такий підхід дуже зручний для користувача сайту, оскільки йому майже не потрібно заповнювати різні поля. Замість цього достатньо натиснути кнопку соціальної мережі, в якій в нього вже є профіль і за три кліки мишкою стати авторизованим користувачем сайту.

**Мета роботи:** розглянути основні етапи та проблеми реалізації авторизації через соціальні мережі.

Першим етапом був вибір соціальних мереж, які будуть використовуватися для авторизації користувачів на сайті. Найпопулярнішими соціальними мережами є Facebook та Vkontakte, тому було обрано саме їх.

Для того, щоб реалізувати реєстрацію через соціальну мережу, насамперед потрібно мати в ній акаунт. Якщо акаунт вже є, то можна переходити до створення додатку, якщо немає, то потрібно зареєструватися в соціальній мережі. Після цього потрібно перейти в розділ для розробників, де ми можемо зареєструвати додаток. Під час реєстрації додатку обираємо платформу, в нашому випадку це веб-сайт. Коли реєстрація додатку завершена, потрібно вказати адресу сайту та увімкнути додаток, щоб надати доступ до нього різним користувачам. Після реєстрації видається ID та секретний ключ, які використовуються для ініціалізації.

Після отримання ID та секретного ключа можна приступати до реалізації реєстрації.

Даний проект розроблявся на ASP.NET MVC 5, і тому для більшої ефективності реалізації було обрано реєстрацію на клієнтській стороні з використанням Java Script.

Соціальні мережі розробили спеціальні платформи, **наприклад Facebook використовує Graph API** – це основа платформи, засобами якої можна читати і писати інформацію в соціальну мережу. По суті, Graph API являє

собою об'єкти (користувачі, фотографії, події, сторінки) і зв'язки між ними (відносини, загальний вміст і фото-теги) [1]. Для аутентифікації Facebook використовує протокол OAuth 2.0, суть якого в трьох кроках:

- Аутентифікація користувача.
- Авторизація додатку.
- Аутентифікація додатку.

Після проходження цих трьох кроків сайт отримує ключ "user access token", який дозволяє отримати дані користувача, що він погодився надати.

Для інтегрування Facebook було обрано JavaScript SDK, який забезпечує багатий набір функціональних можливостей на стороні клієнта. Це дозволяє додавати Social Plugins, робити API виклики та реалізувати функцію Facebook Login. За замовчуванням розробник може запросити доступ до наступної інформації:

- e-mail користувача;
- прізвище, ім'я, стать та фото профайлу.

Для того, щоб отримати доступ до більшої кількості інформації, потрібно надіслати додаток на модерацию та вказати, як отримані дані будуть використовуватися. Запит буде розглянуто упродовж 7-ми днів.

У Facebook є різні групи уроків по використанню JavaScript SDK: Quickstart та Advanced Guides. Для створення реєстрації буде достатньо Quickstart.

Приклад ініціалізації додатку:

```
<script>
  window.fbAsyncInit = function() {
    FB.init({
      appId      : 'id Вашого додатку',
      xfbml      : true,
      version    : 'v2.1'
    });
  };
  (function(d, s, id){
    var js, fjs = d.getElementsByTagName(s)[0];
    if (d.getElementById(id)) {return;}
    js = d.createElement(s); js.id = id;
    js.src = "//connect.facebook.net/en_US/sdk.js";
    fjs.parentNode.insertBefore(js, fjs);
  })(document, 'script', 'facebook-jssdk');
</script>
```

Після ініціалізації додатку потрібно перевірити, чи користувач зареєстрований і увійшов в свій профіль на Facebook та чи увійшов у додаток. Це можна зробити використовуючи такий код:

```

FB.getLoginStatus(function(response) {
    statusChangeCallback(response);
});

```

Далі можна запросити дозвіл на використання даних користувача. Якщо користувач дає дозвіл – отримуємо інформацію про нього:

```

function testAPI() {
    console.log('Welcome! Fetching your information.... ');
    FB.api('/me', function(response) {
        console.log('Successful login for: ' + response.name);
        document.getElementById('status').innerHTML =
            'Thanks for logging in, ' + response.name + '!';
    });
}

```

**Соціальна мережа Vkontakte розробила авторизацію через Open API** – це альтернативний спосіб авторизації, що використовує клієнтську JavaScript-бібліотеку. Даний спосіб авторизації використовується у разі необхідності виклику методів API не тільки з сервера сайту, але і з браузера користувача [2].

Open API – система для розробників сторонніх сайтів, яка надає можливість легко авторизуватись користувачам Vkontakte на сайті. Крім цього, за згодою користувачів, існує можливість отримати доступ до інформації про їх друзів, фотографії, аудіозаписах, відеороликах та інших даних. Для того, щоб отримати більш повну інформацію про користувача, достатньо вказати необхідні поля під час надсилання запиту на дозвіл використання даних.

Для підключення механізму Open API до сайту, необхідно виконати наступні дії:

1. створити новий або взяти вже створений додаток;
2. задати налаштування Open API: адресу сайту та базовий домен.

**Ініціалізація Open API** може відбуватися двома способами: звичайним (синхронним) і асинхронним. Використано звичайний спосіб, представлений даним кодом:

```

<script src="//vk.com/js/api/openapi.js" type="text/javascript"></script>
<script type="text/javascript">
    VK.init({
        apilid: ВАШ_API_ID
    });
</script>

```

В якості технологічного стеку було обрано C# ASP.NET MVC, Java Script, MS SQL [3]. Згідно патерну Model-View-Controller було створено модель

(model), сторінку (view) для відображення та контролер (controller). В моделі задано поля для збереження отриманої інформації, такої як електронна адреса, дата народження, прізвище, ім'я, пароль та інше. Далі на основі цієї моделі створено контролер та view для відображення та передавання інформації. Також передбачено перевірку даних користувача та створено відповідні сторінки для помилок.

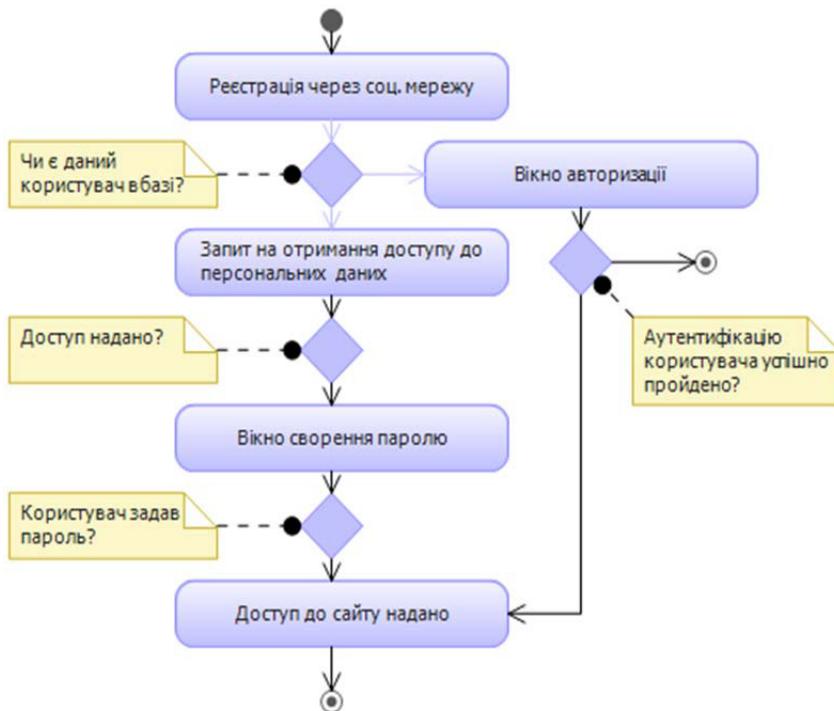


Рис. 1. UML діаграма етапів реєстрації

Оскільки алгоритм реєстрації є досить складним, то для полегшення пояснення його доцільно зобразити у вигляді діаграми UML (див. рис. 1).

Наведемо короткий опис дій під час реєстрації. Незалежно від того, яку соціальну мережу вибрав користувач (Вконтакті чи Фейсбук), необхідно перевірити, чи такий користувач вже зареєстрований. Для цього, під час отримання даних від соціальних мереж, надсилається запит до контролера з електронною адресою користувача та переглядається чи він присутній в базі. Якщо такий користувач є, то пропонуємо йому увійти, показавши вікно авторизації, якщо немає – продовжуємо реєстрацію. Наступним кроком є створення паролю. Для перевірки валідності паролю в моделі прописаний регулярний вираз, задано мінімальну та максимальну довжину паролю та які

символи дозволено використовувати для паролю. Якщо всі введені дані проходять валідність, то користувач вважається успішно зареєстрованим та переходить на сайт.

**В роботі сформовано** загальні положення реєстрації на сайті через соціальні мережі. Розглянуто особливості реалізації даного механізму використовуючи Open API та Graph API. Також наведено UML діаграму з детальним поясненням всіх алгоритмічних кроків. Даний алгоритм було успішно реалізовано в соціальній мережі <http://rivnestudents.com>.

1. Facebook Login for the Web with the JavaScript SDK. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

<https://developers.facebook.com/docs/facebook-login/login-flow-for-web/v2.2#checklogin>.

2. Open API VK. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://vk.com/dev/openapi>. 3. Фримен А. ASP.NET MVC 5 с примерами на C# 5.0 для профессионалов / А. Фримен, С. Сандерсон. – [5-е изд.], «ВИЛЬЯМС», 2014. – С. 413–415.

---

**Zhukovskiy V. V., Senior Lecturer, Tsuper A. V., 2<sup>nd</sup> year Senior Student**  
(The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

## **AUTHORIZATION MECHANISM THROUGH SOCIAL NETWORKS API**

**Authorization mechanism through social networks API (Open API, Graph API) was considered. Vkontakte and Facebook social networks were selected. Keywords: Registration, Open API, Graph API, Vkontakte, Facebook.**

---

**Жуковский В.В., старший преподаватель, Цупер А.В., студентка 2 курса**  
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ API СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ**

**Рассмотрены особенности авторизации через социальные сети используя Open API и Graph API. Для авторизации выбрано социальные сети Vkontakte и Facebook. Ключевые слова: авторизация, Open API, Graph API, Facebook, Vkontakte.**

Водяна С. П., к.ф.-м.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

**ЗАДАЧА ПРО КОНТАКТ ШТАМПА ТА ПРУЖНОГО ТІЛА ПРИ ЗАДАНОМУ НАВАНТАЖЕННІ. ЕКВІВАЛЕНТНІ ВАРІАЦІЙНІ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧІ**

**Задача про контакт абсолютно твердого тіла (штампа) та пружного тіла при заданому навантаженні сформульована як задача про знаходження мінімуму функціонала енергії системи двох тіл на множині кінематично допустимих полів переміщень. Отримані еквівалентні постановки задачі у вигляді варіаційних нерівностей**

**Ключові слова:** штамп, пружне тіло, навантаження

Першою роботою, в якій використовувався варіаційний підхід в задачі про контакт двох тіл, була стаття А. Сіньоріні [1], в якій задача про рівновагу пружного тіла та жорсткої оболонки була зведена до мінімізації функціонала (потенціальної енергії тіл) на множині допустимих переміщень, що задовільняє умові непроникнення.

Варіаційні нерівності в чистому вигляді в задачах механіки вперше з'явилися в роботі Г. Фікери [2]. Отриману в ній варіаційну нерівність він називає односторонньою задачею, на відміну від двосторонніх, які формуються у вигляді рівностей.

Одночасно із дослідженням різних постановок односторонніх задач, розвивались і методи їх практичного розв'язання. Чисельні методи дослідження варіаційних нерівностей описані в монографії [3].

В даній роботі розглянемо питання про еквівалентні варіаційні постановки односторонньої задачі про контакт абсолютно твердого тіла (штампа) та пружного тіла під дією системи сил, прикладених до штампа[4].

Нехай  $\Omega$  – область в  $R^3$ , яку займає пружне тіло, що деформується під дією абсолютно твердого тіла-штампа, до якого прикладена система сил,  $\partial\Omega$  – межа області,  $\vec{u}(\vec{x})$  – вектор переміщення точок пружного тіла. На частині  $\partial_u\Omega$  межі  $\partial\Omega$  тіло закріплене:  $\vec{u}|_{\partial_u\Omega} = 0$ , а на частині  $\partial_\sigma\Omega$  задано вектор напружень  $\vec{t} \equiv \mathfrak{a}^{ik\alpha\beta} \varepsilon_{\alpha\beta} \cos(\vec{n}, \vec{e}_k) \vec{e}_i = \vec{p}$ .

Тут  $\vec{\mathfrak{a}} \equiv \mathfrak{a}^{ik\alpha\beta}(\vec{x})$  – тензор модулів пружності,  $\varepsilon_{ik}(\vec{u})$  – компоненти тензора деформації, які пов'язані з компонентами вектора переміщень

наступним чином:  $\varepsilon_{ik}(\vec{u}) = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_i} \right)$ ,  $i, k = \overline{1,3}$ .

Початкове положення штампта задається рівнянням  $\Psi(\vec{x}) = 0$ , при цьому всередині штампта  $\Psi(\vec{x}) < 0$ , а зовні штампта  $\Psi(\vec{x}) > 0$ . До штампта прикладена система сил, яку вважаємо приведеною до головного вектора  $\vec{R}$  та головного моменту  $\vec{M}$  відносно центра ваги штампта. Шукаємо таке положення штампта, що характеризується вектором переміщення  $\vec{\delta}$  при поступальному русі, та вектором  $\vec{\varphi}$ , що характеризує поворот штампта і при цьому такий деформований стан пружного тіла (визначається вектором  $\vec{u}$ ), щоб система двох тіл була в рівновазі.

Розглядаємо фізично лінійне анізотропне середовище, в якому виконується закон Гука. Введемо простір  $U = [W_2^1(\Omega)]^3 \times R^3 \times R^3$  з нормою

$$\|(\vec{u}, \vec{\delta}, \vec{\varphi})\|_U^2 = \|\vec{u}\|_{[W_2^1(\Omega)]^3}^2 + |\vec{\delta}|_{R^3}^2 + |\vec{\varphi}|_{R^3}^2, \text{ підпростір } H \text{ простору } [W_2^1(\Omega)]^3:$$

$$H = \left\{ \vec{u} \mid \vec{u} \in [W_2^1(\Omega)]^3, \vec{u} = 0 \text{ м.в. на } \partial_u \Omega \right\}.$$

Введемо множини:

$$K_1 = H \times R^3 \times R^3$$

$$K_2 = \left\{ (\vec{u}, \vec{\delta}, \vec{\varphi}) \mid (\vec{u}, \vec{\delta}, \vec{\varphi}) \in U, \Psi(\vec{x} - \vec{\delta} - \vec{x} \times \vec{\varphi} + \vec{u}(\vec{x})) \geq 0 \text{ м.в. в } \Omega \right\}$$

$$K = K_1 \cap K_2.$$

Функціонал повної енергії системи двох тіл має вигляд:

$$I(\vec{u}, \vec{\delta}, \vec{\varphi}) = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \mathfrak{a}^{ik\alpha\beta} \varepsilon_{ik}(\vec{u}) \varepsilon_{\alpha\beta}(\vec{u}) dx - \int_{\partial_\sigma \Omega} \vec{p} u dS - \vec{R} \cdot \vec{\delta} - \vec{M} \cdot \vec{\varphi}, \quad (1)$$

$$\mathfrak{a}^{ik\alpha\beta} \in L_\infty(\Omega), \quad i, k, \alpha, \beta = \overline{1,3}.$$

Згідно з варіаційним принципом Лагранжа шуканий елемент  $(\vec{u}, \vec{\delta}, \vec{\varphi})$  із  $K$ , що відповідає стану рівноваги розглянутої системи двох тіл у випадку контакту, реалізує мінімум функціонала (1) на множині допустимих полів переміщень  $K$ .

Сформулюємо задачу.

Задача 1.

Знайти елемент  $(\vec{u}, \vec{\delta}, \vec{\varphi}) \in K$  такий, що  $(\vec{u}, \vec{\delta}, \vec{\varphi}) \rightarrow \min_K I(\vec{u}, \vec{\delta}, \vec{\varphi})$ .

Зауважимо, що при довільних  $\vec{R}$  і  $\vec{M}$  розв'язок задачі 1 може або взагалі

не існувати, або не буде єдиним.

При  $\vec{M} = 0, \vec{\varphi} = 0, \vec{R} = -|\vec{R}|\vec{e}_3, \vec{\delta} = \delta\vec{e}_3$  та лінеаризованій умові непроникнення отримаємо:

$$I(\vec{u}, \vec{\delta}) = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \mathfrak{a}^{ik\alpha\beta} \varepsilon_{ik}(\vec{u}) \varepsilon_{\alpha\beta}(\vec{u}) d\vec{x} - \int_{\partial_{\sigma}\Omega} \vec{p} \vec{u} dS + |\vec{R}| \cdot \delta,$$

$$K'_1 = H \times R^3,$$

$$K'_2 = \begin{cases} (\vec{u}, \vec{\delta}) \left| (\vec{u}, \vec{\delta}) \in [W_2^1(\Omega)]^3 \times R, \right. \\ \psi(\vec{x}) + \overline{\text{grad}} \psi(x) (\vec{u} - \vec{\delta}) \geq 0 \text{ м.в.в.} \Omega, \end{cases}$$

$$K' = K'_1 \cap K'_2.$$

Сформулюємо частковий випадок задачі 1.

Задача 1'. Знайти  $(\vec{u}, \vec{\delta}) \in K'$ :

$$(\vec{u}, \vec{\delta}) \rightarrow \min_{K'} I(\vec{u}, \vec{\delta}).$$

Питання існування та єдиності розв'язку задачі 1' досліджені в роботі [4]. Зведемо задачу 1' до деякої варіаційної нерівності. Введемо білінійну неперервну на  $H \times H$  симетричну форму  $a(\vec{u}, \vec{v})$  та лінійні форми

$$l_1(\vec{u}), l_2(\vec{\delta}):$$

$$a(\vec{u}, \vec{v}) = \int_{\Omega} \mathfrak{a}^{ik\alpha\beta} \varepsilon_{ik}(\vec{u}) \varepsilon_{\alpha\beta}(\vec{v}) d\vec{x},$$

$$l_1(\vec{u}) = \int_{\partial_{\sigma}\Omega} \vec{p} \vec{u} dS,$$

$$l_2(\vec{\delta}) = |\vec{R}| \delta.$$

Тоді  $I(\vec{u}, \vec{\delta})$  запишеться у вигляді:

$$I(\vec{u}, \vec{\delta}) = \frac{1}{2} a(\vec{u}, \vec{u}) - l_1(\vec{u}) + l_2(\vec{\delta})$$

Тут квадратична форма  $a(\vec{u}, \vec{u})$  описує енергію деформації системи двох тіл, лінійні форми  $l_1(\vec{u}), l_2(\vec{\delta})$  пов'язані з умовами на межі  $\partial_{\sigma}\Omega$  області  $\Omega$  та з поступальними переміщеннями штампа відповідно.

Мають місце твердження:

**Твердження 1.** Множина  $K'$  замкнута та опукла в  $H \times R^3$ .

Опуклість перевіряється безпосередньо, а при доведенні замкнутості опираємося на теорему про сліди [5] та відповідні імплікації.

**Твердження 2.** Квадратична форма  $a(\vec{u}, \vec{u})$  коерцитивна в просторі  $H \times H$ .

Це слідує із властивостей компонент тензора модулів пружності  $\mathfrak{a}^{ik\alpha\beta}(\vec{x})$  та з нерівності Корна [6].

**Твердження 3.** Функціонал  $I(\vec{u}, \vec{\delta})$  коерцитивний на  $K'$ , тобто

$$\lim_{\|(\vec{u}, \vec{\delta})\| \rightarrow \infty, (\vec{u}, \vec{\delta}) \in K'} I(\vec{u}, \vec{\delta}) \rightarrow +\infty$$

Це твердження слідує з відповідної оцінки знизу для  $I(\vec{u}, \vec{\delta})$ :

$$I(\vec{u}, \vec{\delta}) \geq \frac{c_0}{2} \|\vec{u}\|_{[W_2^1(\Omega)]^3}^2 - c_p \|\vec{u}\|_{[W_2^1(\Omega)]^3} + |\vec{R}| \left( c_1 \|\vec{u}\|_{[W_2^1(\Omega)]^3} + c_2 \right).$$

Тут  $c_0 > 0$  – константа Корна,  $c_p = \|\vec{p}\|_{[L_2(\partial_\sigma\Omega)]^3}$ ;  $c_1, c_2$  – константи, пов'язані з оцінкою проєкції  $\vec{\delta}$  на напрямок градієнта  $\vec{\nabla}\psi$  на  $\partial_c\Omega$  ( $c_1 < 0, c_2 > 0$ ).

Звідси та із неперервності по  $\vec{u}$  та по  $\vec{\delta}$  відповідних лінійних форм слідує неперервність функціонала  $I(\vec{u}, \vec{\delta})$  на просторі  $[W_2^1(\Omega)]^3 \times R$ , а значить, і його неперервність знизу.

Із квадратичності  $I(\vec{u}, \vec{\delta})$  по  $\vec{u}$  та лінійності по  $\vec{u}$  і по  $\vec{\delta}$  слідує його опуклість по  $(\vec{u}, \vec{\delta})$  на просторі  $H \times R$ , а також диференційованість  $I(\vec{u}, \vec{\delta})$  по Гаато, існування і неперервність похідної Гаато:

$$\langle I'(\vec{u}, \vec{\delta}), (\vec{v}, \vec{h}) \rangle = a(\vec{u}, \vec{v}) - l_1(\vec{v}) + l_2(\vec{h}).$$

В цих умовах, згідно з відомим твердженням [7], задача 1' еквівалентна таким варіаційним нерівностям:

(I) знайти  $(\vec{u}, \vec{\delta}) \in K'$ ,

$$a(\vec{u}, \vec{v} - \vec{u}) - l_1(\vec{v} - \vec{u}) + l_2(\vec{h} - \vec{\delta}) \geq 0, \quad \forall (\vec{v}, \vec{h}) \in K',$$

або (II)  $a(\vec{v}, \vec{v} - \vec{u}) - l_1(\vec{v} - \vec{u}) + l_2(\vec{h} - \vec{\delta}) \geq 0, (\vec{u}, \vec{\delta}) \in K', \forall (\vec{v}, \vec{h}) \in K'$ .

Дані варіаційні нерівності можна назвати нерівностями з обмеженнями, що поширюються на незакріплену частину межі області, зайнятою середовищем, яке деформується. Ця обставина відрізняє ці нерівності від задач типу Сінборіні та односторонніх задач з перешкодами [8].

Постановка задачі у вигляді варіаційної нерівності дає можливість досліджувати якісні властивості розв'язку задачі, зокрема питання про гладкість.

1. Signorini A. Sopra alcune questioni di Elastostatica.- Atti Soc. Ital. per Progresso della Scienza, 1933. – С. 513–533.
2. Fichera G. Boundary value problems in elasticity with unilateral constraints, v. VI a/2. – Berlin: Springer Verlag, 1972.
3. Гловински Р. Лионс Ж.-Л., Тремольер Р. Численное исследование вариационных неравенств. – М. : Мир, 1979. – 574 с.
4. Водяна С.П. Задача про рівновагу штампу та пружного тіла у випадку контакту. – Вестн. КГУ, Математика, механіка. Вып. 27. – 1985. – С. 20–24.
5. Лионс Ж.-Л., Мадженес Э. Неоднородные граничные задачи и их приложения. – М. : Мир, 1971. – 371 с.
6. Фикера Г. Теоремы существования в теории упругости. – М. : Мир, 1974. – 159 с.
7. Экланд И., Теман Р. Выпуклый анализ и вариационные проблемы. – М. : Мир, 1979. – 399 с.
8. Киндерлерер Д., Стампаккья Г. Введение в вариационные неравенства и их приложения. – М. : Мир, 1984. – 256 с.

---

**Vodyana S. P., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor** (The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

#### **A PROBLEM OF ABSOLUTELY SOLID BODY (STAMP) AND ELASTIC BODY CONTACT AT THE GIVEN LOAD**

A problem of absolutely solid body (stamp) and elastic body contact at the given load was formulated as a problem of minimum energy functional system searching of two bodies on the set of kinematically admissible displacement fields. Equivalent problem settings as variation inequalities have been obtained.

**Keywords:** stamp, elastic body, load.

---

**Водяна С. П., к.ф.-м.н., доцент** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

#### **ЗАДАЧА О КОНТАКТЕ ШТАМПА И УПРУГОГО ТЕЛА ПРИ ЗАДАНОЙ НАГРУЗКЕ. ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ВАРИАЦИОННЫЕ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧ**

Задача о контакте абсолютно твердого тела (штампа) и упругого тела при заданной нагрузке сформулирована как задача о нахождении минимума функционала энергии системы двух тел на множестве кинематических допустимых полей перемещений. Получены эквивалентные постановки задачи в виде вариационных неравенств

**Ключевые слова:** штамп, упругое тело, нагрузка.

Брушковський О. Л., к.т.н., доцент, Дубчак І. В., асистент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## ДО ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛІВ НАПРУЖЕНЬ І ДЕФОРМАЦІЙ У АНІЗОТРОПНИХ ЕЛЕМЕНТАХ СИЛОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ТЕОРЕТИКО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМ МЕТОДОМ

Розглянуто задачу визначення полів напружень і деформацій у анізотропних елементах конструкцій, що знаходяться у плоскому напруженому стані, за експериментально знайденими значеннями цих полів в окремих точках.

**Ключові слова:** напруження, деформація, анізотропні елементи.

У сучасних тонкостінних конструкціях широке застосування знаходять анізотропні, ортотропні та ізотропні елементи. При експериментальному дослідженні напружено-деформованого стану таких конструкцій часто використовується тензометрія. Питання первинної обробки показників тензодатчиків для анізотропних елементів розглянуто у роботах [1]. В даній роботі розглядаються питання визначення полів напружень і деформацій по показникам тензодатчиків для анізотропних, ортотропних та ізотропних об'єктів, що знаходяться у плоскому напруженому стані. Алгоритми визначення цих полів у анізотропних об'єктах, які не враховують розрахункової схеми об'єкту, що досліджується, або враховують лише рівняння рівноваги або лише рівняння нерозривності, залишаються такими ж, як для ізотропних та ортотропних елементів [2, 3, 4, 5].

Запишемо диференціальні рівняння плоскої задачі теорії пружності анізотропного тіла, які будуть використані.

Рівняння рівноваги:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0; \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Рівняння нерозривності:

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y}. \quad (2)$$

Рівняння узагальненого закону Гука [7]:

$$\begin{cases} \varepsilon_x = a_{11} \cdot \sigma_x + a_{12} \cdot \sigma_y + a_{13} \cdot \tau_{xy}; \\ \varepsilon_y = a_{21} \cdot \sigma_x + a_{22} \cdot \sigma_y + a_{23} \cdot \tau_{xy}; \\ \gamma_{xy} = a_{31} \cdot \sigma_x + a_{32} \cdot \sigma_y + a_{33} \cdot \tau_{xy}, \end{cases} \quad (3)$$

де  $a_{ij} = a_{ji}$  ( $i, j=1, 2, 3$ ).

Підставляємо вирази (3) у (2) і вираховуючи (1), одержимо:

$$\begin{aligned} a_{11} \frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial y^2} + a_{12} \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial y^2} - a_{13} \frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial x \partial y} + a_{21} \frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial x^2} + a_{22} \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial x^2} - \\ - a_{23} \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial x \partial y} - a_{31} \frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial x \partial y} - a_{32} \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial x \partial y} + a_{33} \frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial x^2} = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Після диференціювання цього виразу два рази по  $y$  і беручи до уваги, що

$$\frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial y^2}, \quad (5)$$

одержимо:

$$\begin{aligned} a_{22} \frac{\partial^4 \sigma_x}{\partial x^4} - 2a_{23} \frac{\partial^4 \sigma_x}{\partial x^3 \partial y} + (2a_{12} + a_{33}) \frac{\partial^4 \sigma_x}{\partial x^2 \partial y^2} - 2a_{13} \frac{\partial^4 \sigma_x}{\partial x \partial y^3} + \\ + a_{11} \frac{\partial^4 \sigma_x}{\partial x^4} - 2a_{13} \frac{\partial^4 \sigma_x}{\partial x \partial y^3} + a_{11} \frac{\partial^4 \sigma_x}{\partial x^4} = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Введемо у розгляд лінійний диференціальний оператор виду

$$\begin{aligned} L[z] = a_{22} \frac{\partial^4 z}{\partial x^4} - 2a_{23} \frac{\partial^4 z}{\partial x^3 \partial y} + (2a_{12} + a_{33}) \frac{\partial^4 z}{\partial x^2 \partial y^2} - \\ - 2a_{13} \frac{\partial^4 z}{\partial x \partial y^3} + a_{11} \frac{\partial^4 z}{\partial y^4}. \end{aligned} \quad (7)$$

Тоді рівняння (6) можна записати так:

$$L[\sigma_x] = 0. \quad (8)$$

Аналогічно можна показати, що і інші компоненти тензора напружень задовольняють диференціальним рівнянням:

$$L[\sigma_y] = 0; L[\tau_{xy}] = 0. \quad (9)$$

Зважаючи на те, що компоненти тензора деформацій пов'язані з компонентами тензора напружень лінійними залежностями (3), а оператор  $L[z]$  є лінійним, то  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$ ,  $\gamma_{xy}$  також задовольняють диференціальним рівнянням:

$$L[\varepsilon_x] = 0; L[\varepsilon_y] = 0; L[\gamma_{xy}] = 0. \quad (10)$$

Таким чином, у випадку анізотропного тіла компоненти тензорів напружень і деформацій задовольняють диференціальному рівнянню

$$L[z] = 0. \quad (11)$$

У випадку ортотропного тіла [7]

$$a_{11} = \frac{1}{E_1}; a_{22} = \frac{1}{E_2}; a_{13} = a_{31} = a_{23} = a_{32} = 0;$$

$$a_{12} = \frac{-\mu_2}{E_2}; a_{21} = \frac{-\mu_1}{E_1}; a_{33} = \frac{1}{G}$$

і лінійний диференціальний оператор  $L[z]$  приймає вид:

$$L[z] = \frac{1}{E_2} \frac{\partial^4 z}{\partial x^4} + \left( \frac{1}{G} - \frac{\mu_1}{E_1} - \frac{\mu_2}{E_2} \right) \frac{\partial^4 z}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{1}{E_1} \frac{\partial^4 z}{\partial y^4}. \quad (12)$$

Для ізотропного тіла:

$$a_{11} = a_{22} = \frac{1}{E}; a_{13} = a_{31} = a_{23} = a_{32} = 0;$$

$$a_{12} = a_{21} = \frac{-\mu}{E}; a_{33} = \frac{1}{G} = \frac{2(1 + \mu)}{E};$$

$$L[z] = \frac{1}{E} \frac{\partial^4 z}{\partial x^4} + \frac{2}{E} \frac{\partial^4 z}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{1}{E} \frac{\partial^4 z}{\partial y^4}. \quad (13)$$

Якщо представити компоненти тензорів напружень і деформацій у виді многочленів відносно  $x$  та  $y$ , то між коефіцієнтами кожного з них в силу рівнянь (8, 9, 10) існує визначений зв'язок. Наприклад, нехай

$$\varepsilon_x = \sum_{i=0}^n P_i(x, y), \quad (14)$$

де  $P_i(x, y) = \sum_{j=0}^i \alpha_{ij} x^{i-j} y^j$ .

При такій формі представлення апроксимаційної функції всі доданки, що входять до  $P_i(x, y)$ , мають однаковий степінь. Тоді

$$L[\varepsilon_x] = 0; L \left[ \sum_{i=0}^n P_i(x, y) \right] = 0; \sum_{i=0}^n L[P_i(x, y)] = 0.$$

Звідки

$$L[P_i(x, y)] = 0, (i = 0, \dots, n). \quad (15)$$

Це зумовлено особливостями оператора  $L[z]$  і функцій  $P_i(x, y)$ , тому що всі доданки, що входять до  $L[P_i(x, y)]$  мають однаковий степінь, але різний для різних  $i$ . При цьому, якщо  $i < 4$ , то умова (15) задовольняється тотожно і всі коефіцієнти, що входять у ці функції, є незалежними, а при  $i \geq 4$  додатковий зв'язок між коефіцієнтами знаходиться за допомогою умов (15). Така форма представлення апроксимаційної функції є більш доцільною, ніж її представлення у виді:

$$\varepsilon_x = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m a_{ij} x^i y^j, \quad (16)$$

при якому апроксимаційний поліном є неповним, що викликає певні труднощі при знаходженні полів деформацій. Можливо також представлення апроксимаційної функції і в більш загальному виді ніж (14), а саме

$$\varepsilon_x = \sum_{i=0}^n \alpha_i P_i(x, y), (\alpha_i = const). \quad (17)$$

Якщо датчики розмістити по деякому замкнутому контуру в області, що досліджується, то можна визначити поле окремо для кожної компоненти тензорів напружень або деформацій. При цьому крім розеток можуть бути використані і поодинокі датчики, відповідним чином зорієнтовані. Цей спосіб є кращим, ніж визначення полів без врахування розрахункової схеми об'єкта, чи з врахуванням тільки рівнянь рівноваги або рівняння нерозривності, оскільки для вказаних випадків не виконано умови єдиності розв'язку задачі, що розглядається, в зв'язку з чим без відповідних критеріїв, що дозволяють оцінити точність встановлених полів, їх застосовувати не рекомендується. До недоліків вказаних способів визначення полів відноситься і те, що при їх застосуванні потрібна більша кількість датчиків, ніж при визначенні полів з повним врахуванням рівнянь рівноваги і нерозривності. Так при визначенні полів напружень в ортотропній пластинці [4] при тій же кількості тензодатчиків були розглянуті різні способи визначення полів як з повним врахуванням розрахункової схеми об'єкта, так і без її врахування або з врахуванням тільки рівнянь рівноваги або нерозривності. Наприклад у контрольних точках  $\sigma_y \cdot 10^{-7}$  Па приймає значення:  $-0,828$ ;  $-0,429$ ;  $-0,418$ ;  $-0,628$ . Однак досягти тієї ж точності, що й при повному врахуванні розрахункової схеми об'єкта вдається лише шляхом збільшення кількості датчиків вдвічі.

Для сумісного врахування рівнянь нерозривності і рівноваги введемо в розгляд функцію напружень  $F(x, y)$ . Вона задовольняє диференціальному рівнянню [4]:

$$L[F(x, y)] = 0. \quad (18)$$

Якщо функцію  $F(x, y)$  представити у виді:

$$F(x, y) = \sum_{i=0}^n P_i(x, y), \quad (19)$$

то функції  $P_i(x, y)$ , ( $i=0, \dots, n$ ) також задовольняють рівнянням (15).

Напруження  $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$  знаходяться через функцію напружень за відомими формулами:

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 F}{\partial y^2}; \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2}; \quad \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y}. \quad (20)$$

Деформації можна знайти, використовуючи залежності (3). Слід зазначити, що при визначенні напружено-деформованого стану з застосуванням апроксимаційної функції у вигляді узагальненого поліному типу (14) правильність місць розташування датчиків слід перевіряти по визначнику системи, який залежить лише від координат розташування

датчиків, а не від їх показників. В іншому випадку кінцева система може виявитися несумісною або невизначеною.

В роботах [2; 4; 5] розглянуто розв'язання плоскої задачі теорії пружності з визначенням граничних умов по показникам тензодатчиків. В одному з варіантів розв'язку задачі показано, що при такому теоретико-експериментальному методі розв'язання можливе попереднє визначення поля першого інваріанту тензора напружень в області, що досліджується. А це приводить до розпаду крайової задачі плоскої теорії пружності на окремі крайові задачі для кожної компоненти тензора напружень.

Розглянемо розв'язання задачі з попереднім визначенням поля першого інваріанту тензора деформацій. В цьому випадку рівняння фізичного закону (3) для ізотропного тіла приймають вид:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \mu\sigma_y); \quad \varepsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \mu\sigma_x); \quad \gamma_{xy} = \frac{2(1+\mu)}{E}\tau_{xy}. \quad (21)$$

З них випливає, що перший інваріант тензора деформацій

$$\varepsilon^I = \varepsilon_x + \varepsilon_y \quad (22)$$

і перший інваріант тензора напружень

$$\sigma^I = \sigma_x + \sigma_y \quad (23)$$

зв'язані умовою

$$\varepsilon^I = \frac{1-\mu}{E}\sigma^I. \quad (24)$$

А так як перший інваріант тензора напружень задовольняє в деякій області D площини Oxy з границею  $\Gamma$  рівнянню Лапласа:

$$\Delta\sigma^I = 0 \quad (25)$$

де  $\Delta$  – оператор Лапласа :

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2},$$

то і перший інваріант тензора деформацій у вказаній області також задовольняє рівнянню Лапласа:

$$\Delta\varepsilon^I = 0 \quad (26)$$

Якщо експериментально визначити значення першого інваріанту тензора деформацій на границі області, то шляхом розв'язання рівняння (26) можна знайти поле  $\varepsilon^I$  і у внутрішніх точках області. Знаючи поле  $\sigma^I$  в області D шляхом інтегрування рівнянь:

$$\Delta\sigma_x = \frac{-\partial^2\sigma^I}{\partial x^2}; \quad \Delta\sigma_y = \frac{-\partial^2\sigma^I}{\partial y^2}; \quad \Delta\tau_{xy} = \frac{-\partial^2\sigma^I}{\partial x\partial y} \quad (27)$$

в роботі [1] знаходились поля напружень в області  $D_1$  що міститься в області D з границею  $\Gamma_1$ . При цьому граничні умови визначились експериментально. А так як

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_x + \mu\varepsilon_y); \sigma_y = \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_y + \mu\varepsilon_x); \tau_{xy} = \frac{E}{2(1+\mu)} \gamma_{xy}, \quad (28)$$

то рівняння системи (27) приймають вид:

$$\begin{cases} \frac{E}{1-\mu^2} \Delta(\varepsilon_x + \mu\varepsilon_y) = \frac{-\partial^2 \varepsilon^I}{\partial x^2} \cdot \frac{E}{1-\mu}; \\ \frac{E}{1-\mu^2} \Delta(\varepsilon_y + \mu\varepsilon_x) = \frac{-\partial^2 \varepsilon^I}{\partial y^2} \cdot \frac{E}{1-\mu}; \\ \frac{E}{2(1+\mu)} \Delta\gamma_{xy} = \frac{-\partial^2 \varepsilon^I}{\partial x \partial y} \cdot \frac{E}{1-\mu}; \end{cases} \quad (29)$$

або після скорочень:

$$\begin{cases} \frac{1}{1+\mu} \Delta(\varepsilon_x + \mu\varepsilon_y) = \frac{-\partial^2 \varepsilon^I}{\partial x^2}; \\ \frac{1}{1+\mu} \Delta(\varepsilon_y + \mu\varepsilon_x) = \frac{-\partial^2 \varepsilon^I}{\partial y^2}; \\ \Delta\gamma_{xy} = \frac{-2(1+\mu)}{1-\mu} \cdot \frac{\partial^2 \varepsilon^I}{\partial x \partial y}. \end{cases} \quad (30)$$

Звідки

$$\begin{cases} \Delta \varepsilon^I = 0; \\ \Delta \varepsilon_x = \frac{1}{1-\mu} \left( \frac{\partial^2 \varepsilon^I}{\partial y^2} - \mu \frac{\partial^2 \varepsilon^I}{\partial x^2} \right); \\ \Delta \varepsilon_y = \frac{1}{1-\mu} \left( \frac{\partial^2 \varepsilon^I}{\partial x^2} - \mu \frac{\partial^2 \varepsilon^I}{\partial y^2} \right); \\ \Delta \gamma_{xy} = \frac{-2(1+\mu)}{1-\mu} \cdot \frac{\partial^2 \varepsilon^I}{\partial x \partial y}. \end{cases} \quad (31)$$

При експериментальному визначенні  $\varepsilon^I$  на границі області  $D$  і  $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}$  на границі області  $D_1$ , такої що  $D_1$  входить в область  $D$ , вказана система розпадається на окремі крайові задачі для  $\varepsilon^I$  і кожної компоненти тензора деформацій. Для визначення полів деформацій по показникам тензодатчиків можна застосувати і алгоритми розв'язку плоскої задачі теорії пружності, що дозволяють знаходити напружено-деформований стан в об'єктах заданої форми при довільних граничних умовах. Тоді параметри останніх повинні визначатися по показникам тензодатчиків. Наприклад, може бути застосований алгоритм розв'язку для прямокутної полоси або розв'язку для круга.

**Приклад 1.** Було розглянуто визначення значень деформації  $\varepsilon_y$  у внутрішніх вузлах квадратної сітки з шагом  $h=0,1\text{м}$  в області  $D_1 = 0,1\text{м} \leq x \leq 0,9\text{м}; 0,1\text{м} \leq y \leq 0,9\text{м}$  ізотропної пластинки, що знаходиться у плоскому напруженому стані по відомим точним значенням деформацій  $\varepsilon_y$  в граничних вузлах сітки області  $D_1$  і області  $D = 0 \leq x \leq 1\text{м}; 0 \leq y \leq 1\text{м}$  з

використанням рівняння (10). Задача має точне аналітичне рішення, що описується функцією  $\varepsilon_y = 10^{-3}e^{-x} \sin y$ .  
 Результати обчислень наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Значення деформацій  $\varepsilon_y \cdot 10^3$

x	y	Точні значення	Знайдені значення	Абсолютна похибка
0,2	0,2	0,162657	0,162667	0,000010
0,3	0,2	0,147178	0,147201	0,000023
0,4	0,2	0,133172	0,133202	0,000030
0,5	0,2	0,120499	0,120531	0,000032
0,6	0,2	0,109032	0,109059	0,000027
0,7	0,2	0,098656	0,098675	0,000019
0,8	0,2	0,089286	0,089276	0,000008
0,2	0,5	0,392520	0,392586	0,000048
0,3	0,5	0,355167	0,355264	0,000097
0,4	0,5	0,321368	0,321495	0,000127
0,5	0,5	0,290736	0,290919	0,000133
0,6	0,5	0,263114	0,263230	0,000116
0,7	0,5	0,238076	0,238156	0,000080
0,8	0,5	0,215420	0,215456	0,000036

**Приклад 2.** Було розглянуто знаходження полів напружень у ортотропній пластинці з такими фізико-механічними характеристиками:

$$E_1 = 1,372 \cdot 10^{10} \text{ Па}; E_2 = E_1/12; G = 0,118 \cdot 10^{10} \text{ Па}; \mu_1 = 0,46; \mu_2 = \mu_1/12.$$

Значення напружень, що використовувались, відомі у наступних точках: (0;0),(2;0),(1,4;1,4),(0;2),(0;1).

При розв'язанні без врахування розрахункової схеми об'єкту або з врахуванням рівняння нерозривності, компоненти тензора напружень шукалися у виді поліномів другого степеня з двома змінними, де у першому випадку усі коефіцієнти при  $xu$  приймалися рівними нулю, а у другому випадку коефіцієнти при  $xu$  приймалися рівними нулю тільки у виразах для нормальних напружень.

При врахуванні рівнянь рівноваги та при повному врахуванні розрахункової системи досліджуваного об'єкту апроксимувальна функція шукалась у виді (5) при  $n=5$ , де у випадку врахування тільки рівнянь рівноваги коефіцієнти  $a_{43}, a_{51}, a_{56}$  приймалися рівними нулю. Результати розрахунків наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

## Значення напружень у окремих точках

Контрольні точки, м	Вид апроксимації	$\sigma_x \cdot 10^{-7}$ Па	$\tau_{xy} \cdot 10^{-7}$ Па	$\sigma_y \cdot 10^{-7}$ Па
$M_1(1; 0)$	1	0,5782	0,3292	-0,4596
	2	-0,0779	1,4636	0,0612
	3	0,8071	1,7391	-1,0592
	4	-0,0779	4,0690	0,0612
	5	0,9549	0,5876	0,8231
	6	1,0701	0,6093	-0,8415
$M_2(1; 1)$	1	0,1846	0,3504	-0,1452
	2	-0,0779	0,7010	0,0613
	3	0,4970	0,2954	-0,5003
	4	0,0779	2,1898	0,0613
	5	0,3492	0,2016	-0,2603
	6	0,3465	0,1973	-0,2728
$M_3(0,5; 0,5)$	1	0,0923	0,7391	-0,0726
	2	-0,2030	1,1335	0,1596
	3	0,3803	0,6404	-0,5164
	4	-0,2030	2,8084	0,1596
	5	0,4215	0,5651	-0,2698
	6	0,3469	0,5631	-0,2728
$M_4(1; 0,5)$	1	0,3814	0,3398	-0,2999
	2	-0,0779	1,0179	0,0612
	3	0,7034	0,4435	-0,7220
	4	-0,0779	3,0649	0,0612
	5	0,6643	0,3637	-0,4721
	6	0,6083	0,3467	0,4788

Примітка 1, 2 – апроксимація без врахування розрахункової схеми об'єкту (1 – кусочно-лінійна апроксимація, 2 – з використанням інтерполяційного поліному функції двох змінних); 3, 4 – апроксимація з частковим врахуванням розрахункової схеми об'єкту (3 – врахування рівнянь рівноваги; 4 – врахування рівняння нерозривності); 5 – апроксимація з повним врахуванням розрахункової схеми об'єкту; 6 – точне значення напружень у контрольних точках.

Напруження у точках, вибраних для апроксимації, і точні значення їх у контрольних точках визначались за допомогою функції напружень, яка у даній задачі має вид:

$$F(x, y) = e^{-1,1277y} \cdot \sin(x). \quad (32)$$

**Висновок.** При використанні наближених методів для визначення полів напружень і деформацій по їх відомим значенням у окремих точках можливі значні похибки. Найкращий результат при визначення полів напружень і деформацій теоретико-експериментальним методом можна досягти у випадку повного врахування розрахункової схеми досліджуваного об'єкту.

Теоретико-експериментальний метод визначення полів напружень і деформацій у елементах силових конструкцій по їх відомим значенням у окремих точках дозволяє спростити розв'язок загальної крайової задачі до більш простих крайових задач і навіть до можливості знаходження кожної компоненти тензорів напружень і деформацій окремо.

1. Ашкенази Е. К. Анизотропия машиностроительных материалов/ Е. К. Ашкенази. – Л. : Машиностроение. – 1969. – 110 с.
2. Брушковский А. Л. Плоская задача теории упругости с определением граничных условий по показаниям тензодатчиков / А. Л. Брушковский // Изв. Вузов. Машиностроение. – 1985. – № 9. – С. 9–12.
3. Брушковский А. Л. Определение полей деформаций в районе концентраторов по показаниям тензодатчиков для ортотропных элементов. / А. Л. Брушковский, Л. П. Литвиненко // Прикладная механика. – Том 18. – № 1. – 1982. – С. 82–85.
4. Брушковский А. Л. Восстановление полей деформаций в районе концентраторов по показаниям тензодатчиков / А. Л. Брушковский // Изв. Вузов. Авиационная техника. – 1978. – № 4. – С.142–144.
5. Брушковський О. Л. До визначення полів напружень і деформацій у елементах силових конструкцій на основі теоретико-експериментального методу / О. Л. Брушковський, І. В. Дубчак // Вісник навчально-наукового інституту автоматики, кібернетики та обчислюваної техніки НУВГП. – Випуск 1. – 2014. – С. 85–91.

---

**Brushkovskiy A. L., Candidate of Engineering, Associate Professor, Dubchak I. V., Assistant** (The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

#### **DETERMINING TENSION AND STRAINS IN POWER DESIGNS ANISOTROPIC ELEMENTS BY THEORETICAL EXPERIMENTAL METHODS**

**Determining tension and strains in anisotropic structural elements which are in tense state with experimentally found values of these fields in the particular points were done.**

**Keywords:** deformation, stress state, construction.

---

**Брушковский О. Л., к.т.н., доцент, Дубчак И. В., ассистент** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

#### **ДО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ В АНИЗОТРОПНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ СИЛОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТЕОРЕТИЧЕСКИ-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ МЕТОДОМ**

**Рассмотрена задача определения полей напряжений и деформаций в анизотропных элементах конструкции, находящихся в плоском напряженном состоянии, по экспериментально найденным значениям этих полей в отдельных точках.**

**Ключевые слова:** деформация, напряженное состояние, конструкция.

Кушнір О. О., к.ф.-м.н., доцент, Кушнір В. П., к.ф.-м.н., доцент  
(Національний університет водного господарства та природокористування,  
м. Рівне)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИСОКОНАДІЙНОЇ СИСТЕМИ ІЗ ЗАХИСТОМ

Наводяться оцінки характеристик надійності високонадійної системи із захистом у припущенні про показниковий розподіл проміжків альтернуючого процесу.

**Ключові слова:** процес відновлення, альтернуючий процес, система із захистом, теорема Реньї, показниковий розподіл.

В роботі [1] наводяться рівномірні оцінки відхилення від функції показникового розподілу розв'язків інтегрального рівняння типу відновлення

$$\Phi = \theta L + (1 - \theta)\Phi * K, \quad (1)$$

де  $L, K$  – задані функції розподілу невід'ємних випадкових величин,  $\theta$  – число з  $(0, 1)$ ,  $*$  – згортка функцій розподілу:

$$\Phi * K(t) = \int_0^t \Phi(t-x)dK(x).$$

Ці оцінки можна використати при дослідженні характеристик надійності системи із захистом [2, с. 75]. В роботах [3-5] це робилося у загальному вигляді.

**Метою даної роботи** є уточнення оцінок цих характеристик та розгляд інших у випадках додаткових припущень щодо показникового розподілу проміжків альтернуючого процесу.

**Позначимо** параметри показникових розподілів проміжків працездатності та ремонту альтернуючого процесу  $u$  та  $w$  відповідно, функцію розподілу проміжків між відновленнями процесу відновлення –  $F$ , зображення Лапласа їхньої щільності розподілу –  $\hat{f}$ , математичне сподівання –  $m$ , другий початковий момент –  $m_2$ , а також  $E_a(t) = 1 - e^{-at}$ ,  $t \geq 0$ .

**Твердження 1. (Функція розподілу)** Нехай у початковий момент часу відбулося відновлення процесу відновлення, але система перебуває в робочому стані. Тоді зображення Лапласа функції розподілу часу безвідмовної роботи системи із захистом знаходиться за формулою

$$\widehat{\Phi}_0(s) = \frac{u(\hat{f}(s) - \hat{f}(s+u+w))}{s(u+w - w\hat{f}(s) - u\hat{f}(s+u+w))},$$

а зображення Лапласа функції розподілу проміжку часу між відмовами

системи із захистом –

$$\widehat{\Phi}_1(s) = \frac{uf(s) + wf(s + u + w) - (u + w)f(s)f(s + u + w)}{s(u + w - wf(s) - uf(s + u + w))}.$$

**Твердження 2. (Середній час)** Якщо у початковий момент часу відбулося відновлення процесу відновлення, але система перебуває в робочому стані, то середній час безвідмовної роботи системи із захистом знаходиться за формулою  $T = \frac{m(u+w)}{u(1-\hat{f}(u+w))}$ , а середня тривалість проміжку між відмовами системи –  $T_1 = \frac{m(u+w)}{u}$ .

**Твердження 3. (Середня кількість відмов)** Якщо у початковий момент часу відбулася відмова системи із захистом, то середня кількість її відмов на проміжку часу  $[0, t)$  знаходиться за формулою

$$N_1(t) = \frac{u}{u+w} H_F(t) + \frac{w}{u+w} Q(t),$$

а якщо у початковий момент часу відбулося відновлення процесу відновлення, але система перебуває в робочому стані, то за формулою

$$N_0(t) = \frac{u}{u+w} (H_F(t) - Q(t)),$$

де  $H_F(t) = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} F^{*n}(t)$  – функція відновлення;

$$Q(t) = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} Z^{*n}(t), \quad Z(t) = \int_0^t e^{-(u+w)x} dF(x).$$

**Зауваження 1.** Функцію  $H_F(t)$  можна оцінити, наприклад, за нерівністю Дейлі [6]:  $\max\left\{1, \frac{t}{m}\right\} \leq H_F(t) \leq \frac{t}{m} + \frac{m_2}{m^2}$ . Для оцінки  $Q(t)$  маємо очевидні нерівності:  $1 + Z(t) \leq Q(t) \leq \frac{1}{1-Z(t)}$ .

**Твердження 4. (Гарантований час безвідмовної роботи)** Нехай у початковий момент часу відбулося відновлення процесу відновлення, але система перебуває в робочому стані. Гарантований час безвідмовної роботи системи із захистом із надійністю  $\gamma$  не менший від

$$-\frac{wT}{u+w} \ln\left(\gamma + \frac{m_2(T-m)}{mT^2} \left(1 + \frac{u}{w}\right)^2\right)$$

( $T$  – середній час безвідмовної роботи системи із захистом, див. твердж. 2.)

**Твердження 5. (Рівномірна оцінка функції розподілу)** Нехай у початковий момент часу відбулося відновлення процесу відновлення, але система перебуває в робочому стані. Тоді функція розподілу часу безвідмовної роботи системи із захистом в рівномірній метриці відхиляється від показникового розподілу з таким самим математичним сподіванням менше, ніж на

$$\frac{u}{w} + \frac{m_2(T-m)}{mT^2} \left(1 + \frac{u}{w}\right)^2,$$

а функція розподілу проміжку між відмовами відхиляється менше, ніж на

$$\frac{u}{w} + \hat{f}(u+w) + \frac{m_2(T-m)}{mT^2} \left(1 + \frac{u}{w}\right)^2.$$

**Твердження 6. (Оцінка розподілу кількості відмов)** Нехай у початковий момент часу відбулося відновлення процесу відновлення. Для розподілу кількості відмов системи із захистом в інтервалі часу  $(0, t)$  (відмова в момент часу  $t = 0$  не враховується) виконуються наступні нерівності

$$\left| P(\eta = n) - \frac{(t/T)^n}{n!} e^{-t/T} \right| \leq \left(1 + \min\left\{n, \frac{t}{T}\right\}\right) \times \\ \times \left[ \left(1 + \frac{1}{e}\right) \frac{u}{w} + 2 \frac{m_2(T-m)}{mT^2} \left(1 + \frac{u}{w}\right)^2 + \hat{f}(u+w) \right].$$

*Зауваження 2.* Оцінку твердження 6 можна покращити, змінивши параметр розподілу Пуассона

$$\left| P(\eta = n) - \frac{(tq)^n}{n!} e^{-tq} \right| \leq \frac{u}{w} + 2 \frac{m_2(T-m)}{mT^2} \left(1 + \frac{u}{w}\right)^2 + \hat{f}(u+w),$$

де  $q = \frac{r}{m(K)}$ ,  $r = \frac{\theta}{1-\theta}$ ,  $\theta = \frac{m}{T}$ ,

$$m(K) = \frac{1}{1-\theta} \int_0^{+\infty} x \left(1 - \frac{u}{u+w} E_{u+w}(x)\right) dF(x).$$

*Доведення твердження 1.* Позначимо  $V_0(t)$  ймовірність того, що в момент часу  $t$  альтернуючий процес буде в стані відновлення, якщо у початковий момент часу альтернуючий процес був у робочому стані і  $V_1(t)$ , якщо він був у стані відновлення.

Мають місце наступні співвідношення:

$$V_0 = E_u * V_1; \quad V_1 = 1 - E_w + V_1 * E_u * E_w.$$

Операційним методом знаходимо

$$V_1 = 1 - \frac{w}{u+w} E_{u+w}, \quad V_0 = \frac{u}{u+w} E_{u+w}. \quad (2)$$

Для функцій розподілу часу безвідмовної роботи системи із захистом при різних початкових умовах виконуються наступні залежності:

$$\Phi_0(t) = \int_0^t (V_0(x) + (1 - V_0(x))\Phi_0(t-x)) dF(x); \quad (3)$$

$$\Phi_1(t) = \int_0^t (V_1(x) + (1 - V_1(x))\Phi_0(t-x)) dF(x). \quad (4)$$

З (3) та (4), використавши (2), знаходимо перетворення Лапласа функцій

$\Phi_0(t)$  та  $\Phi_1(t)$ .

*Доведення твердження 2* отримуємо з твердження 1, використавши формули  $T = -\widehat{\Phi}_0'(0)$ ,  $T_1 = -\widehat{\Phi}_1'(0)$ .

*Доведення твердження 3.* Спочатку знаходимо операційним методом зображення Лапласа функції  $N_1(t) = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_1^{*n}(t)$ , а потім  $N_0(t) = \Phi_0 * N_1(t)$ .

**Лема 1.** Нехай  $V(t)$  – невід’ємна монотонна функція,  $F(t)$  – функція розподілу невід’ємної випадкової величини,  $\theta = \int_0^{\infty} V(x)dF(x)$ ,  $L(t) = \frac{1}{\theta} \int_0^t V(x)dF(x)$ .

Тоді, якщо  $V(t)$  – неспадна, то при всіх  $t > 0$   $L(t) \leq F(t)$ , а якщо  $V(t)$  – незростаюча, то  $L(t) \geq F(t)$  при всіх  $t > 0$ .

*Доведення лема 1.* Функція  $F-L$  зростає від 0 до максимуму в точці  $\theta$ , а потім спадає до 0 на нескінченності. Тому вона – невід’ємна.

*Доведення твердження 4.* Оскільки  $V_0(t)$  – зростаюча і, відповідно,  $1-V_0(t)$  – спадна, то, за лемою 1, при всіх  $t > 0$ :  $L(t) \leq F(t) \leq K(t)$ , де  $K(t) = \frac{1}{1-\theta} \int_0^t (1-V_0(x))dF(x)$ ,  $\theta = \int_0^{\infty} V_0(x)dF(x)$ ,  $L(t) = \frac{1}{\theta} \int_0^t V_0(x)dF(x)$ .

Тоді з (3) бачимо, що  $\Phi_0(t)$  є розв’язком рівняння (1), причому виконується умова  $L \leq K$ . Тоді  $\Phi_0(t) \leq \Phi(t)$ , де  $\Phi(t)$  – розв’язок рівняння (1) з  $L = K$ , для якого, згідно з [1, т. 2], виконуються рівномірні оцінки

$$\sup \{|\Phi(t) - E_q(t)|, t > 0\} \leq q \frac{m_2(K)}{m(K)},$$

де  $m(K)$ ,  $m_2(K)$  – перший та другий початкові моменти випадкової величини з функцією розподілу  $K$  відповідно. Отже,

$$\Phi_0(t) \leq \Phi(t) \leq E_q(t) + q \frac{m_2}{m(K)}, \quad (5)$$

бо  $m_2(K) \leq m_2$ , оскільки  $F(t) \leq K(t)$ .

З іншого боку, оскільки  $V_0(t) \leq \frac{u}{u+w}$ , то

$$m(L) \leq \frac{u}{u+w} \frac{m}{\theta}. \quad (6)$$

З очевидної рівності  $(1-\theta)m(K) + \theta m(L) = m$ , використавши (6), отримаємо

$$(1-\theta)m(K) = m - \theta m(L) \geq \frac{wm}{u+w} \Rightarrow q \leq \frac{\theta}{m} \left(1 + \frac{u}{w}\right);$$

$$\frac{qm_2}{m(K)} \leq \theta(1-\theta) \frac{m_2}{m^2} \left(1 + \frac{u}{w}\right)^2.$$

Можна довести, що  $\theta = \frac{m}{T}$ . Тоді  $q \leq \frac{1}{T} \left(1 + \frac{u}{w}\right)$ , (7)

$$\frac{qm_2}{m(K)} \leq \frac{m_2(T-m)}{mT^2} \left(1 + \frac{u}{w}\right)^2, \quad (8)$$

а ймовірність безвідмовної роботи протягом часу  $t$

$$1 - \Phi_0(t) > \exp\left(-\frac{t}{T}\left(1 + \frac{u}{w}\right)\right) - \frac{m_2(T-m)}{mT^2}\left(1 + \frac{u}{w}\right)^2.$$

Якщо прирівняти праву частину цієї нерівності до  $\gamma$ , то можна виразити гарантований час безвідмовної роботи.

Твердження 4 доведене.

**Лема 2.** Якщо  $0 < \alpha < \beta, x > 0$ , то

$$0 < e^{-\alpha x} - e^{-\beta x} \leq \frac{\beta - \alpha}{\alpha} \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^{\frac{\beta}{\beta-\alpha}} < \min\left\{\frac{\beta - \alpha}{\beta}, \frac{\beta - \alpha}{e\alpha}\right\},$$

де  $e$  – основа натуральних логарифмів.

Доведення лема 2. Функція  $e^{-\alpha x} - e^{-\beta x}$  досягає максимуму при  $x = \frac{\ln \beta - \ln \alpha}{\beta - \alpha}$ . Підставивши це значення у функцію, отримаємо

$$\left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^{\frac{\alpha}{\beta-\alpha}} - \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^{\frac{\beta}{\beta-\alpha}} = \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^{\frac{\beta}{\beta-\alpha}} \frac{\beta - \alpha}{\alpha} = \left(1 - \frac{\beta - \alpha}{\beta}\right)^{\frac{\beta}{\beta-\alpha}} \frac{\beta - \alpha}{\alpha} < \frac{\beta - \alpha}{e\alpha},$$

оскільки  $x \ln\left(1 - \frac{1}{x}\right) < -1$ .

Крім того  $\left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^{\frac{\beta}{\beta-\alpha}} \frac{\beta - \alpha}{\alpha} < \frac{\alpha}{\beta} \cdot \frac{\beta - \alpha}{\alpha} = \frac{\beta - \alpha}{\beta}$ .

Доведення твердження 5. З леми 2 та (7) випливає, що при всіх  $t > 0$

$$E_q(t) \leq E_{1/T}(t) + \frac{u}{ew}. \quad (9)$$

З (5), (8), (9) маємо верхню оцінку

$$\Phi_0(t) < 1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right) + \frac{u}{ew} + \frac{m_2(T-m)}{mT^2}\left(1 + \frac{u}{w}\right)^2.$$

Для отримання нижньої оцінки використаємо [1, Зам. 3], згідно з яким

$$\Phi_0(t) \geq E_q(t) - qm(L) - q \frac{m_2(K)}{m(K)}. \quad (10)$$

Виконаємо перетворення

$$qm(L) = \frac{\theta}{1 - \theta} \frac{m(L)}{m(K)} = \frac{\theta m(L)}{m - \theta m(L)} = \frac{m}{m - \theta m(L)} - 1 \leq \frac{u}{w} \quad (11)$$

(використана нерівність (6)).

Крім того, оскільки  $F(t) \leq K(t)$  при всіх  $t > 0$ , то  $m(K) \leq m$ , тому

$$q \geq \frac{\theta}{m} = \frac{1}{T}. \quad (12)$$

Із (10), (8), (11), (12) отримуємо

$$\Phi_0(t) > 1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right) - \frac{u}{w} - \frac{m_2(T-m)}{mT^2}\left(1 + \frac{u}{w}\right)^2.$$

Оскільки  $V_1(x) - V_0(x) = \exp(-(u+w)x)$ , то з (3), (4) отримуємо

$$0 \leq \Phi_1(t) - \Phi_0(t) = \int_0^t \exp(-(u+w)x)(1 - \Phi_0(t-x))dF(x) \leq Z(t) \leq Z(+\infty) = \hat{f}(u+w). \quad (13)$$

Твердження 5 доведено.

*Доведення твердження 6.* Спочатку розглянемо випадок, коли в початковий момент часу відбулася відмова системи із захистом.

Нехай  $\Phi_1(t) \leq E_q(t) + \delta$ . Тоді

$$\Phi_1^{*2}(t) \leq \Phi_1(t) * (E_q(t) + \delta) \leq \Phi_1(t) * E_q(t) + \delta \leq E_q^{*2}(t) + \delta E_q(t) + \delta.$$

Далі методом математичної індукції знаходимо

$$\Phi_1^{*n}(t) \leq E_q^{*n}(t) + \delta \sum_{i=0}^{n-1} E_q^{*i}(t) \leq E_q^{*n}(t) + \delta \min\{qt + 1, n\}. \quad (14)$$

Якщо  $\Phi_1(t) \geq E_q(t) - \gamma$ , то

$$\Phi_1^{*(n+1)}(t) \geq E_q^{*(n+1)}(t) - \gamma \sum_{i=0}^n E_q^{*i}(t). \quad (15)$$

Віднявши (15) від (14), отримуємо

$$\left| P(\eta = n) - \frac{(qt)^n}{n!} e^{-qt} \right| \leq (\delta + \gamma) \min\{qt + 1, n + 1\}.$$

З (5), (8), (10), (11), (13) випливає, що

$$\gamma + \delta \leq \frac{u}{w} + 2 \frac{m_2(T-m)}{mT^2} \left(1 + \frac{u}{w}\right)^2 + \hat{f}(u+w).$$

Якщо ж у початковий момент часу не було відмови системи з захистом, то  $P(\eta = n) = (1 - \Phi_1) * \Phi_0 * \Phi_1^{*(n-1)}(t)$ , а для  $\Phi_0$  можна використати такі ж оцінки, як і для  $\Phi_1$ .

Врахувавши (9), (12), зможемо замінити  $q$  на  $\frac{1}{T}$ . Тоді до правої частини слід додати  $\frac{u}{ew}$ .

Твердження 6 доведено.

1. Карташов Н. В. Нерівності в теореме Реньї / Н. В. Карташов // Теория вероятностей и мат. Статистика – 1991. – 45. – С. 27–33.
2. Корольюк В. С. Стохастичні моделі систем. // Корольюк В. С. – К. : Либідь, 1993. – 136 с.
3. Кушнір О. О. Дослідження високонадійної системи із захистом за допомогою теореми Реньї / О. О. Кушнір // Теорія ймовірностей та математична статистика. – 1998. – 59. – С. 110–116.
4. Кушнір О. О. Кількісна оцінка знизу математичного сподівання часу безвідмовної роботи високонадійної системи із захистом у нестационарному режимі / О. О. Кушнір // Теорія ймовірностей та математична статистика. – 1999. – 61. – С. 91–96.
5. Кушнір О. О. Логарифмічна оцінка знизу математичного сподівання часу

безвідмовної роботи високонадійної системи із захистом у нестационарному режимі / О. О. Кушнір // Теорія ймовірностей та математична статистика. – 2001. – 65. – С. 111–117. 6. Daley D. J. Tight bounds for the renewal function of a random walk / D. J. Daley // Ann. Probab. – 1980. – 8, N 3. – P. 615–621.

---

**Kushnir O. O., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Kushnir V. P., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor** (The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

### **STUDYING OF HIGHLY RELIABLE SYSTEM QUALITIES WITH PROTECTION**

**The evaluation reliability characteristics of highly reliable system with protection assuming exponential distribution of intervals alternating process are given.**

***Keywords:* renewal process, alternating process, the system of protection, Rainier theorem, exponential distribution.**

---

**Кушнір О. О., к.ф.-м.н., доцент, Кушнір В. П., к.ф.-м.н., доцент**  
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВЫСОКОНАДЕЖНОЙ СИСТЕМЫ С ЗАЩИТОЙ**

**Приводятся оценки характеристик надежности высоконадежной системы с защитой в предположении о показательном распределении промежутков альтернирующего процесса.**

***Ключевые слова:* процесс восстановления, альтернирующий процесс, система с защитой, теорема Реньи, показательное распределение.**

Мартинюк П. М., д.т.н., доцент, Чеховська Н. В., студентка 5 курсу ННІ АКОТ (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## ЧИСЕЛЬНЕ РОЗВ'ЯЗАННЯ ОДНОВИМІРНОЇ ЗАДАЧІ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗАНИХ ПРОЦЕСІВ ФІЛЬТРАЦІЙНОЇ КОНСОЛІДАЦІЇ ТА КОНТАКТНОЇ СУФОЗІЇ ҐРУНТІВ

Чисельно досліджено математичну модель одновимірної задачі фільтраційної консолідації з урахуванням механічної суфозії в неоднорідному масиві ґрунту методом скінчених елементів. Наведено результати чисельних експериментів.

**Ключові слова:** фільтраційна консолідація, механічна суфозія, метод скінчених елементів.

Дуже важливе значення в механіці ґрунтів взагалі, особливо для цивільного та промислового будівництва, є питання процесів консолідації ґрунтових масивів. Математичні моделі цих процесів наведено в [2-4; 6; 12].

Останнім часом в усьому світі спостерігається тенденція до зростання збитків від негативної дії суфозійних явищ. Процес механічної суфозії має значний негативний вплив на деформації споруд і призводить до аварійних ситуацій, внаслідок нерівномірних просідань ґрунту [1; 5; 9; 11; 13; 15]. Задача дослідження впливу суфозійних явищ є досить важливою, оскільки пов'язана з безпекою та надійністю експлуатації промислових, гідротехнічних, енергетичних та цивільних споруд.

Однак, у математичних моделях досі не враховано взаємозв'язаних процесів фільтраційної консолідації та механічної суфозії. Мета та наукова новизна цієї статті полягає в дослідженні засобами математичного моделювання сумісних процесів фільтраційної консолідації та контактної механічної суфозії ґрунтів, проведенні аналізу та дослідженні впливу суфозійних явищ на зміну надлишкових напорів у пористому середовищі.

**Постановка та математична модель задачі.** Розглянемо неоднорідний масив ґрунту, який складається з областей  $\Omega_1$  та  $\Omega_2$ , що контактують по рухомій межі  $x = \Gamma_{12}(t)$  (рис. 1). Під впливом фільтраційного потоку суфозійні частинки з області  $\Omega_1$  можуть проникати в пори великозернистого ґрунту області  $\Omega_2$ . Тому межі  $x = \Gamma_{02}(t)$  та  $x = \Gamma_{12}(t)$  змінюють своє положення в результаті двох факторів: по перше, за рахунок розсіювання надлишкових напорів та результуючого ущільнення і, по друге, за рахунок процесів контактної суфозії.

Математична модель одновимірної задачі фільтраційної консолідації з урахуванням контактної суфозії в неоднорідному масиві ґрунту (рис. 1)

описується наступною крайовою задачею:

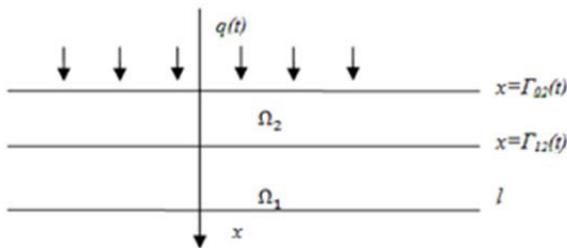


Рис. 1. Схема неоднорідного масиву ґрунту в одновимірному випадку

$$\frac{\partial h(x,t)}{\partial t} = \frac{(1+e^{(0)})}{\gamma\alpha(1-\sum_{i=1}^S m^{(i)})} \times \nabla \cdot \mathbf{K}_h \nabla h(x,t) + \frac{\partial h^*}{\partial t} + \frac{1}{\gamma} \frac{\partial \theta^*}{\partial t}, \quad (1)$$

$$x \in \Omega_1 \cup \Omega_2, t > 0,$$

$$\frac{\sigma^{(i)}(x,t)}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{q}^{(i)}(x,t) = 0, i = \overline{1, S}, x \in \overline{\Omega}_2, \quad (2)$$

$$\mathbf{q}^{(i)}(x,t) = \mathbf{F}(\sigma, \sigma_{max}, \mathbf{u}, \mathbf{u}_{kr}^{(i)}), x \in \overline{\Omega}_2, t \geq 0, i = \overline{1, S}, \quad (3)$$

$$\mathbf{u} = -\mathbf{K}_h \nabla h(x,t), x \in \Omega_1 \cup \Omega_2, t \geq 0, \quad (4)$$

$$(\sigma_{max} - \sum_{i=1}^S \sigma^{(i)}(x,t)) \frac{d\Gamma_{12}(x,t)}{dt} = -\sum_{i=1}^S (\mathbf{q}^{(i)}, \mathbf{n}_{12}), \quad (5)$$

$$(x,t) \in \Gamma_{12}(x,t),$$

$$\frac{d\Gamma_{02}(x,t)}{dt} = \frac{d\Gamma_{12}(x,t)}{dt} + \frac{\gamma\alpha}{(1+e)} \int_{y\Gamma(x)} \varphi(x) \frac{\partial h(x,t)}{\partial t} dy, \quad (6)$$

$$(x,t) \in \Gamma_{02}(x,t),$$

$$h(x,0) = H_0(x), \quad \sigma^{(i)}(x,0) = \sigma_0^{(i)}(x), i = \overline{1, S}, \quad (7)$$

$$\Gamma_{12}(0) = \Gamma_{12}^{(0)}, \quad \Gamma_{02}(0) = \Gamma_{02}^{(0)}, \quad (8)$$

$$h(x,t)|_{x=\Gamma_{02}} = H_1(x,t), \quad (\mathbf{u}, \mathbf{n})|_{x=l} = 0, \quad (9)$$

$$\sigma^{(i)}(x,t)|_{x=\Gamma_{12}} = \sigma_1^{(i)}(x,t), i = \overline{1, S}. \quad (10)$$

Умови спряження мають задаватися на межі контакту  $\Gamma_{12}(t)$ . Припустимо, що на межі  $\Gamma_{12}(t)$  виконується умова ідеального контакту [10]. Тоді, маємо:

$$[h(x,t)]|_{\Gamma_{12}} = 0, \quad [(\mathbf{u}, \mathbf{n})]|_{\Gamma_{12}} = 0, \quad (11)$$

де  $[\cdot]$  – символ стрибка функції.

Відкритим залишається питання про вигляд функціональної залежності

$$\mathbf{q}^{(i)}(x,t) = \mathbf{F}(\sigma, \sigma_{max}, \mathbf{u}, \mathbf{u}_{kr}^{(i)}), i = \overline{1, S}.$$

Наприклад, за дану залежність можна взяти

$q^{(i)}(x, t) = -D_\sigma^{(i)} \nabla \sigma^{(i)} + f(\sigma, \sigma_{max}, \mathbf{u}, \mathbf{u}_{kr}^{(i)}) \sigma^{(i)}(x, t) \mp w_i \nabla z$ , (12) де  $w_i$  – швидкість осідання твердих часток  $i$ -ї фракції в вертикальному напрямку; «-» – вісь  $OZ$  вверх, «+» – вісь  $OZ$  вниз;

$$f(\sigma, \sigma_{max}, \mathbf{u}, \mathbf{u}_{kr}^{(i)}) = \{f_j\}_{j=1}^{\bar{r}},$$

$$f_j = \alpha_{er} (u - u_{kr})_+,$$

де  $g_+ = \begin{cases} g, & g \geq 0; \\ 0, & g < 0; \end{cases}$   $\alpha_{er}$  – коефіцієнт розмиву;  $\mathbf{u}_{kr}$  – скалярна критична швидкість розмиву.

В задачі (1)-(12) використані такі позначення:

$h(x, t)$  – надлишковий напір в масиві ґрунту, який консолидується;  $a$  – коефіцієнт стисливості ґрунту;  $\gamma$  – питома вага порової рідини;  $e^{(0)}$  – функція, яка описує залежність між напруженнями і деформаціями;  $m^{(i)}$  – відносний вміст твердих частинок  $i$ -ї фракції;  $h^*$  – напір в поровій рідині;  $\theta^*$  – сума головних напружень в скелеті ґрунту в умовах повної стабілізації;  $\sigma^{(i)}$  – концентрація суфозійних частинок  $i$ -ї фракції;  $\mathbf{q}_i(\mathbf{X}, t)$  – вектор-функція, яка задає потік суфозійних часток;  $D_\sigma$  – коефіцієнт конвективної дифузії;  $\mathbf{u}(x, t)$  – швидкість фільтрації;  $\mathbf{v}$  – швидкість руху твердих частинок ґрунту;  $n$  – пористість ґрунту;  $\mathbf{K}_h$  – коефіцієнт фільтрації;  $\bar{e}$  – усереднене значення коефіцієнта пористості;  $n_{12}$  – вектор напрямних косинусів зовнішньої нормалі до межі  $\Gamma_{12}(\mathbf{X}, t)$  відносно області  $\Omega_1$ ;  $\sigma_{max}(x, t) = (1 - n_1) \cdot n_2$ , де  $n_i$  – функції пористості «чистого» ґрунту в областях  $\Omega_i$ ,  $i = 1, 2$ .

Оскільки швидкість руху твердих частинок ґрунту значно менша за швидкість фільтрації, то в узагальненому законі Дарсі-Герсеванова (4) знехтувано швидкістю руху твердої фази ґрунту.

**Чисельний розв'язок крайової задачі.** Чисельний розв'язок задачі (1)-(12) знайдемо методом скінчених елементів (МСЕ). Припустимо, що у суфозійних частинок є лише одна фракція. Тобто,  $S=1$  і позначимо відповідну концентрацію через  $\sigma(x, t)$ .

Покриємо області  $\Omega_1$  та  $\Omega_2$  рівномірно скінченними елементами кількістю  $N_1$  та  $N_2$  відповідно. При цьому на рухомій межі контакту  $\Gamma_{12}(t)$  використовується подвійна нумерація вузлів. Загальна кількість вузлів  $N$ . Узагальнений розв'язок крайової задачі (1)-(12) будемо шукати у вигляді комбінації [7]:

$$h(x, t) \approx \tilde{H}(x, t) = \sum_{j=1}^N a_j(t) \cdot \varphi_j(x), \quad (13)$$

$$\sigma(x, t) \approx \tilde{\sigma}(x, t) = \sum_{j=1}^N s_j(t) \cdot \varphi_j(x), \quad (14)$$

де  $\varphi_j(x)$  – базисні функції МСЕ, які визначені на компактних носіях.

Оскільки шукані функції  $a_j(t)$ ,  $s_j(t)$ ,  $j = \overline{1, N}$ , залежать тільки від часу, то згідно з методом Гальоркіна ми отримаємо задачу Коші для системи звичайних лінійних диференціальних рівнянь:

$$\mathbf{M}^{(1)} \cdot \frac{d\mathbf{A}}{dt} + \mathbf{L}^{(1)} \cdot \mathbf{A}(\mathbf{t}) = \mathbf{F}^{(1)}, \quad (15)$$

$$\mathbf{M}^{(1)} \cdot \mathbf{A}(\mathbf{0}) = \mathbf{P}^{(1)}, \quad (16)$$

$$\mathbf{M}^{(2)} \cdot \frac{d\mathbf{S}}{dt} + \mathbf{L}^{(2)} \cdot \mathbf{S}(\mathbf{t}) = \mathbf{F}^{(2)}, \quad (17)$$

$$\mathbf{M}^{(2)} \cdot \mathbf{S}(\mathbf{0}) = \mathbf{P}^{(2)}, \quad (18)$$

де

$$\mathbf{A} = \{a_j\}_{j=1}^N, \quad \mathbf{A}(\mathbf{0}) = \{a(0)\}_{j=1}^N, \quad \mathbf{S} = \{s_j\}_{j=1}^N, \quad \mathbf{S}(\mathbf{0}) = \{s(0)\}_{j=1}^N$$

$$\mathbf{M}^{(1)} = \{m_{ij}^{(1)}\}_{i=1,j=1}^{N,N}, \quad \mathbf{M}^{(2)} = \{m_{ij}^{(2)}\}_{i=1,j=1}^{N,N}, \quad \mathbf{L}^{(1)} = \{l_{ij}^{(1)}\}_{i=1,j=1}^{N,N},$$

$$\mathbf{L}^{(2)} = \{l_{ij}^{(2)}\}_{i=1,j=1}^{N,N}, \quad \mathbf{P}^{(1)} = \{p_{ij}^{(1)}\}_{i=1,j=1}^{N,N}, \quad \mathbf{P}^{(2)} = \{p_{ij}^{(2)}\}_{i=1,j=1}^{N,N},$$

$$\mathbf{F}^{(1)} = \{f_{ij}^{(1)}\}_{i=1,j=1}^{N,N}, \quad \mathbf{F}^{(2)} = \{f_{ij}^{(2)}\}_{i=1,j=1}^{N,N}$$

При використанні поелементного ансамблювання [7] для матриць  $\mathbf{M}^{(1)}, \mathbf{L}^{(1)}, \mathbf{M}^{(2)}, \mathbf{L}^{(2)}$  та векторів-стовпців  $\mathbf{F}^{(1)}, \mathbf{P}^{(1)}, \mathbf{F}^{(2)}, \mathbf{P}^{(2)}$  отримаємо наступні представлення:

$$M_{ij}^{(1)} = \sum_e \gamma \alpha (1 - \sigma) \cdot \int_e \varphi_j(x) \varphi_i(x) dx,$$

$$L_{ij}^{(1)} = \sum_e (1 + e^0) \cdot \int_e K_h \frac{d\varphi_j(x)}{dx} \frac{d\varphi_i(x)}{dx} dx,$$

$$M_{ij}^{(2)} = \sum_e \int_e \varphi_j(x) \varphi_i(x) dx,$$

$$L_{ij}^{(2)} = \sum_e \int_e \left( D_\sigma \frac{d\varphi_j(x)}{dx} \frac{d\varphi_i(x)}{dx} - \mathbf{f} \cdot \frac{d\varphi_j(x)}{dx} \varphi_i(x) \right) dx,$$

$$\mathbf{f} = \left\{ \alpha_{er} (u^{(j)} - u_{kr}^{(j)}) \right\}_{j=1}^{\bar{r}}.$$

Тут суми беруться по тих скінченних елементах  $e$ , для яких одночасно належать вузли з номерами  $i$  та  $j$ .

До даної системи рівнянь додаємо ще одне рівняння, що задовольняє умові спряження  $[h(x, t)]|_{\Gamma_{12}} = 0$ . А умова спряження  $[(\mathbf{u}, \mathbf{n})]|_{\Gamma_{12}} = 0$  врахована у інтегральній рівності.

Для знаходження чисельного розв'язку задачі Коші (15)–(18) дискретизуємо часовий інтервал  $[0, t_0]$  сіткою на  $m$  однакових частин з кроком  $\tau = \frac{t_0}{m}$ , де  $t_j = j\tau$ ,  $j = \overline{0, m+1}$ . Тоді, з використанням повністю неявної різницевої схеми отримуємо

$$(\mathbf{M}^{(1)} + \tau \cdot \mathbf{L}^{(1(n))}) \cdot \mathbf{A}^{(n+1)} = \mathbf{M}^{(1)} \cdot \mathbf{A}^{(n)} + \tau \cdot \mathbf{F}^{(1(n+1))}, \quad (19)$$

$$\begin{aligned} & (\mathbf{M}^{(2)} + \tau \cdot \mathbf{L}^{(2(n))}) \cdot \mathbf{S}^{(n+1)} = \\ & = \mathbf{M}^{(2)} \cdot \mathbf{S}^{(n)} + \tau \cdot \mathbf{F}^{(2(n+1))}, \quad n = \overline{0, \bar{m}}. \end{aligned} \quad (20)$$

Отриману після дискретизації по часу систему лінійних алгебричних рівнянь (СЛАР) (19), (20) розв'язано модифікованим методом Гауса, але перед цим, оскільки кількість невідомих не дорівнює кількості рівнянь, за рахунок умови спряження, попередньо застосовувався метод найменших квадратів [14].

Унаслідок дискретизації кінематичної граничної умови (5) маємо:

$$(\sigma_{max} - \sigma^{(n+1)}(\Gamma_{12}^{(n)}))|_{\Gamma_{12}^{(n)}} \cdot \frac{\Gamma_{12}^{(n+1)} - \Gamma_{12}^{(n)}}{\tau} = q^{(n+1)}, n = \overline{1, m}. \quad (21)$$

Зі співвідношення (21) визначаємо положення межі контакту

$$\Gamma_{12}^{(n+1)} = \frac{\tau}{\sigma_{max} - \sigma_{12}^{(n+1)}} \cdot q^{(n+1)} + \Gamma_{12}^{(n)},$$

де

$$q^{(n+1)} = -D_{\sigma} \cdot \left( \sigma_1^{(n+1)} \cdot \frac{dN_1^{(1)}(x)}{dx} + \sigma_2^{(n+1)} \cdot \frac{dN_2^{(1)}(x)}{dx} \right).$$

У процесі консолідації розміри області  $\Omega = \Omega_1 \cup \Omega_2$  змінюються. Тому на кожному часовому шарі треба перераховувати координати вузлових точок. Для цього використаємо кінематичну умову (6), згідно з якою одержимо:

$$\frac{x^{(j+1)} - x^{(j)}}{\tau} = \frac{\Gamma_{12}^{(j+1)} - \Gamma_{12}^{(j)}}{\tau} - \frac{a\gamma}{1+\bar{e}} \int_{x^{(j)}}^l \frac{h^{(j+1)} - h^{(j)}}{\tau} dx, j = \overline{0, m-1}. \quad (22)$$

Зі співвідношення (22) визначаємо положення верхньої рухомої межі ґрунту на часовому шарі  $(j+1)$ :

$$x^{(j+1)} = x^{(j)} + \frac{\Gamma_{12}^{(j+1)} - \Gamma_{12}^{(j)}}{\tau} - \frac{a\gamma}{1+\bar{e}} \int_{x^{(j)}}^l (h^{(j+1)} - h^{(j)}) dx, \quad (23)$$

$$j = \overline{0, m-1},$$

де змінна інтегрування  $x$  пробігає вертикальний відрізок від початкового положення вузла  $x^{(j)}$  до нижньої межі  $l$  масиву ґрунту. Інтеграл у правій частині (23) обчислили, використовуючи квадратурні формули Гауса [8].

**Результати чисельних експериментів та їх аналіз.** Розглянемо задачу фільтраційної консолідації масиву ґрунту товщиною  $l = 15\text{м}$  при  $l_{12} = 8\text{м}$ . Нижня межа ґрунту вважається непроникною. Значення решти вхідних даних наступні:  $\gamma = 10^4 \text{Па/м}^3$ ,  $\alpha = 0,000001 \text{м}^2/\text{Н}$ ,  $e_1 = 0,62$ ,  $e_2 = 0,5$ ,  $K_h^{(1)} = K_h^{(2)} = 0,001$  ( $K_h^{(1)} = 0,005$ ,  $K_h^{(2)} = 0,0002$ ),  $\sigma_0 = 0$ .

Граничні умови такі:

$$h(x, t)|_{x=\Gamma_{02}} = H_1(x, t), (\mathbf{u}, \mathbf{n})|_{x=l} = 0, \sigma^{(i)}(x, t)|_{x=\Gamma_{12}} = \sigma_1(x, t),$$

$$H_0 = 10, H_1 = 0.$$

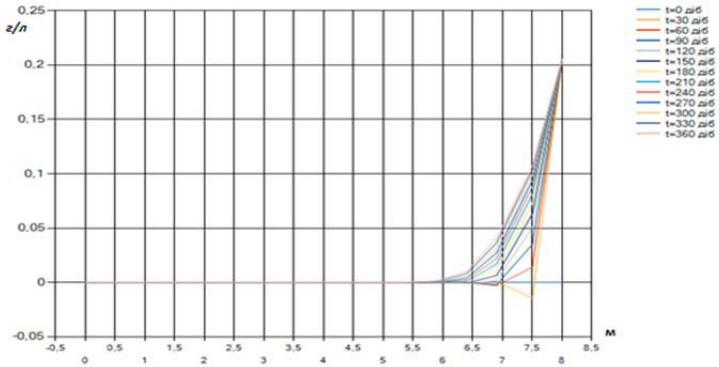


Рис. 2. Графік розподілу концентрації суфозійних часток у часі

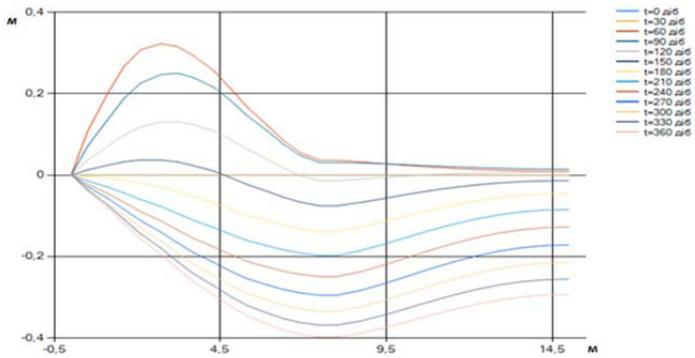


Рис. 3. Графік розподілу різниці напорів у часі з та без урахування суфозійних процесів при  $K_1 = K_2 = 1E-3$

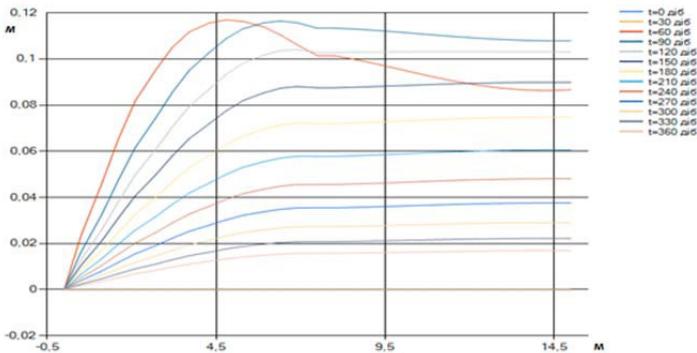


Рис. 4. Графік розподілу різниць напорів у часі з урахуванням та без урахування суфозійних процесів при  $K_1 = 5E-3$ ,  $K_2 = 2E-4$

Таблиця 1

Відсоток просідань за рахунок концентрації суфозійних частинок від загального просідання при  $K_1=5E-3$ ,  $K_2=2E-4$

<i>Загальне просідання, (м)</i>	<i>Просідання за рахунок суфозії, (м)</i>	<i>Відсоток просідань за рахунок суфозії від загального просідання, (%)</i>
0,3643	0,3485	95,6625
0,3643	0,3485	95,6731
0,3643	0,3485	95,6795
0,3642	0,3485	95,6858
0,3642	0,3485	95,6919
0,3642	0,3485	95,6978
0,3642	0,3485	95,7035
0,3641	0,3485	95,7087
0,3641	0,3485	95,7135
0,3641	0,3485	95,7178
0,3641	0,3485	95,7218
0,3641	0,3485	95,7246
0,3641	0,3485	95,7269
0,3641	0,3485	95,7242
0,3641	0,3485	95,725
0,3629	0,3485	96,0327

Аналіз результатів проведених чисельних експериментів розрахунку надлишкових напорів та концентрації суфозійних часток свідчить, що суфозійні процеси не значно впливають на розподіл напорів. Різниця між фільтраційною консолидацією з врахуванням впливу суфозійних явищ (див. рис. 3) та без врахування концентрації суфозійних частинок знаходиться в межах 0,5 м. Однак, зміна концентрації суфозійних частинок значно більше впливає на просідання ґрунту, ніж зміна напорів. Так, для верхньої межі ґрунту просідання за рахунок зміни концентрації суфозійних частинок становить 95,66% від загального просідання (див. табл. 1).

Отже, при проектуванні споруд на суфозійних ґрунтах обов'язково потрібно проводити попередні прогностичні розрахунки величини просідань поверхні ґрунту для недопущення аварійних ситуацій.

**Висновки.** Отже, в даній статті сформульовано математичну модель одновимірної задачі сумісних процесів фільтраційної консолідації та контактної механічної суфозії неоднорідного масиву ґрунту. В кінематичних граничних умовах, якими описується зміна в часі положення верхньої рухомої межі та межі між двома масивами ґрунту враховано просідання за рахунок зміни напорів та наявність суфозійних процесів відповідно. Чисельний розв'язок відповідної крайової задачі знайдено МСЕ. Визначено ступінь впливу суфозійних процесів на просідання поверхні ґрунту.

1. Бомба А. Я. Про моделювання взаємовпливу фільтрації та механічної суфозії / А. Я. Бомба, М. М. Хлапук, Б. П. Сидорчук // Сучасні проблеми теорії фільтрації : Вісник УДАВГ. – 1998. – С. 157–166.
  2. Булавацький В. М. Біпараболічна математична модель процесу фільтраційної консолідації / В. М. Булавацький // Доповіді НАН України. – 1997. – № 8. – С. 13–17.
  3. Веригин Н. Н. Консолидация водонасыщенного грунта при действии внешней нагрузки, нормальной к границе полупространства / Н. Н. Веригин // Доклады к VI Международному конгрессу по механике грунтов и фундаментостроению. – М. : Стройиздат. – 1965. – С. 26–31.
  4. Власюк А. П. Контактный размыв и фильтрационная консолидация грунтов в условиях тепло-масопереноса / А. П. Власюк, П. Н. Мартынюк. // Математическое моделирование. – 2012. – Т. 24, № 11. – С. 97–112.
  5. Добронравов О. О. Моделювання фільтрації ґрунтових вод з урахуванням суфозії і кольматації / О.О. Добронравов, В.С. Кремез // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки. – 2006. – Вип. 7. – С. 141–146.
  6. Зарецкий Ю. К. Теория консолидации грунтов / Ю. К. Зарецкий. – М. : Наука, 1967. – 270 с.
  7. Зенкевич О. Конечные элементы и аппроксимация / О. Зенкевич, К. Морган. – М. : Мир, 1986. – 318 с.
  8. Крылов В. И. Справочная книга по численному интегрированию / В. И. Крылов, Л. Т. Шульгина. – М. : Наука. 1966.
  9. Поляков В. Л. Механическая суффозия в дренируемом грунте / В. Л. Поляков // Прикладна гідромеханіка. – 2002. – Т. 4 (76), № 4. – С. 60–73.
  10. Сергиенко И. В. Математическое моделирование и исследование процессов в неоднородных средах / И. В. Сергиенко, В. В. Скопецкий, В. С. Дейнека. – К. : Наук. думка, 1991. – 432 с.
  11. Ухов С. Б. Механика грунтов, основания и фундаменты / С. Б. Ухов. – М. : АСВ, 1994. – 525 с.
  12. Флорин В. А. Основы механики грунтов. Т. 2 / В. А. Флорин. – М. : Госстройиздат, 1961. – 560 с.
  13. Хоменко В. П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов / В. П. Хоменко. – М. : ГЕОС, 2003. – 216 с.
  14. Шахно С. М. Чисельні методи лінійної алгебри / С. М. Шахно. – Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2007. – 243 с.
  15. Khomenko V. P. Suffosion hazard: Today's and tomorrow's problem for cities / V. P. Khomenko // Engineering geology special publication. – 2009. – Vol. 22. – Pp. 113–123.
-

**Martyniuk P. M., Doctor of Engineering, Associate Professor,  
Chekhovska N. V., 5<sup>th</sup> year Senior Student** (The National University of Water  
and Environmental Engineering, Rivne)

**THE MATHEMATICAL SOLUTION OF ONE-DIMENSIONAL  
PROBLEM BETWEEN CORRELATED PROCESSES OF FILTRATION  
CONSOLIDATION AND CONTACT SUFFUSION SOIL**

The mathematical solution of one-dimensional problem between correlated processes of filtration consolidation and contact suffusion soil has been studied. Approximate solution of the corresponding boundary-value problem has been found with the finite element method. Results of numerical experiments have been shown.

*Keywords:* filtration consolidation, mechanical suffusion, finite element method.

---

**Мартынюк П. Н., д.т.н., доцент, Чеховская Н. В., студентка 5 курса**  
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования,  
г. Ровно)

**ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ОДНОМЕРНОЙ ЗАДАЧИ  
ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ПРОЦЕССОВ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ  
КОНСОЛИДАЦИИ И КОНТАКТНОЙ СУФУЗИИ ПОЧВ**

Численно исследована математическая модель одномерной задачи фильтрационной консолидации с учетом механической суффозии в неоднородном массиве грунта методом конечных элементов.

Проанализированы результаты численных экспериментов.

*Ключевые слова:* фильтрационная консолидация, механическая суффозии, метод конечных элементов.

**Мартинюк П. М., д.т.н., доцент, Чуй Ю. В., студент 5 курсу ННІ АКОТ**  
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ФІЛЬТРАЦІЙНОЇ КОНСОЛІДАЦІЇ ҐРУНТІВ З НАПІВПРОНИКНИМИ ВКЛЮЧЕННЯМИ (ДВОВИМІРНА ЗАДАЧА)**

**Сформовано математичну модель фільтраційної консолідації ґрунтів із врахуванням наявних у них напівпроникних включень. Для чисельного розв'язання задачі використано метод скінченних елементів. Проведено ряд чисельних експериментів та виявлено вплив тепло-солеперенесення на розподіл надлишкових напорів у ґрунті.**

**Ключові слова:** фільтраційна консолідація, умови спряження, напівпроникне включення, метод скінченних елементів.

**На процеси фільтраційної консолідації ґрунтів** впливає багато факторів. Адекватність математичних моделей залежить від ступеня врахування цих факторів.

Із зростанням впливу антропогенних факторів виникає необхідність враховувати забруднення ґрунтів та ґрунтових вод різними хімічними речовинами і відходами промисловості. Тобто має місце фільтрація не чистої води, а деякого сольового розчину і необхідно враховувати процеси тепло- та масоперенесення.

У природі ґрунт є неоднорідним пористим середовищем, в якому твердий скелет може містити тонкі неоднорідності [6; 11; 12].

Напівпроникне включення здатне спрацьовувати як природний фільтр: пропускати воду і лише частково пропускати хімічні елементи, асоційовані в поровій воді. При цьому в природних геологічних неоднорідних формаціях спостерігаються стрибки напорів при переході через тонкі включення з глинистих ґрунтів. Глинисті ґрунти володіють властивостями напівпроникних мембран [15]. Звідси виникає необхідність враховувати напівпроникні властивості таких включень.

Актуальність дослідження процесів фільтрації, тепло- солеперенесення в неоднорідних середовищах зумовлюється необхідністю визначення стійкості гідротехнічних, промислових споруд, в основі яких є ґрунт із напівпроникними включеннями. Також велике значення набуває дослідження процесів ущільнення основ поверхневих накопичувачів промислових і побутових стоків.

Дослідженню процесів, які відбуваються в неоднорідних областях, присвячені праці таких авторів, як І. В. Сергієнко, В. В. Скопецький,

В. С. Дейнека, Th. J. S. Keijzer. У роботі [10] побудовано аналітичний розв'язок узагальненої змішаної крайової задачі для фільтраційної консолідації у багатокомпонентних неоднорідних циліндричних середовищах вологомістких пористих частинок. Модель побудована у припущенні шаруватості циліндричної області фільтраційної консолідації, де через фільтрувальну мембрану відбувається розділення твердої та рідкої фаз.

У праці [16] досліджена фільтраційна консолідація у водонасиченому випадково-неоднорідному ґрунтовому масиві. Поле надлишкових напорів в масиві ґрунту із випадковими включеннями отримується для випадкових коефіцієнтів фільтрації. Однак виникає необхідність додатково аналізувати геологічні властивості твердого скелету ґрунту.

У роботі [1] досліджено фільтраційні процеси у неоднорідному анізотропному середовищі (тріщинувато-пористих ґрунтах). Знайдено величину швидкості фільтрації у внутрішніх та граничних вузлах досліджуваної області (для двовимірного випадку).

У роботі [2] розглянуті неklasичні моделі процесу фільтраційної консолідації деформівних пористих середовищ в умовах релаксаційної фільтрації порової рідини з урахуванням закону Дарсі. Водночас не враховано деякі спрощуючі припущення, які прийняті у традиційних моделях.

У працях [13], [14] побудовано математичні моделі, перша з яких описує процес напірної фільтрації в середовищі з тонкими каналами, а друга – процес напірної фільтрації у пористому середовищі з включеннями. Контакт між тілом і включенням є ідеальним, наявність додаткових джерел, стоків, неізотермічних, хіміко-біологічних чи міжфазних процесів не передбачається. Досліджено залежність тиску та швидкості фільтрації руху рідини при різних показниках напору і коефіцієнта фільтрації. Розглядається рух вільної води, незалежної від сил притягання до поверхні твердих частинок.

У роботі [9] моделювання фільтраційних потоків в області, яка містить непроникну межу, межу заданого тиску і напівпроникне включення зведено до розв'язування інтегральних рівнянь. У роботі [12] описані нові математичні моделі процесів, які характерні для багатокомпонентних ґрунтових середовищ з включеннями, розроблена інформаційна технологія дослідження складних явищ в зазначених об'єктах.

До цього часу залишилось невирішеним ряд проблем. Зокрема, не враховано вплив процесів тепло- солеперенесення на фільтраційну консолідацію у ґрунтах із неоднорідними включеннями для двовимірного випадку, також потребує дослідження вплив напівпроникних властивостей включень на процеси фільтраційної консолідації. Тому ціллію статті є показати вплив тепло- солеперенесення та властивостей напівпроникних включень на процеси фільтраційної консолідації у ґрунті.

**Постановка проблеми та її математична модель.** Нехай задано область  $\Omega$ , яка складається з однорідного ґрунту з тонким напівпроникним включенням  $\gamma^*$  (рис. 1).

Математична модель двовимірної задачі процесу фільтраційної консолідації з урахуванням впливу перенесення солей в неізотермічному режимі буде описуватись наступною крайовою задачею [3; 4]:

$$\frac{(1 + \bar{e})(1 + \xi)}{2\gamma a} [\text{div}(\mathbf{K}\nabla h - \mathbf{v}\nabla c - \boldsymbol{\mu}\nabla T)] = \frac{\partial h}{\partial t}, (x, y) \in \Omega, t > 0, \quad (1)$$

$$iv(\mathbf{D}\nabla c + \mathbf{D}_T\nabla T) - (\mathbf{u}, \nabla c) - \gamma_1(c - C_m) = n \frac{\partial c}{\partial t}, (x, y) \in \Omega, t > 0, \quad (2)$$

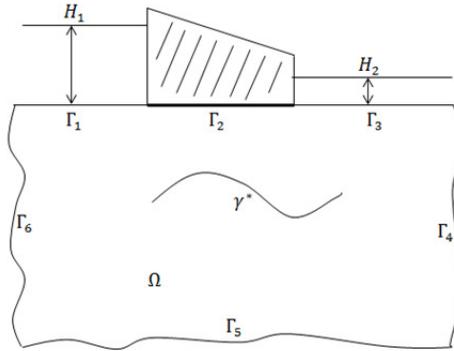


Рис. 1. Досліджувана область ґрунту

$$\text{div}(\lambda(c)\nabla T) - \rho c_\rho(\mathbf{u}, \nabla T) = c_T \frac{\partial T}{\partial t}, (x, y) \in \Omega, t > 0, \quad (3)$$

$$\mathbf{u} = -\mathbf{K}(c, T, e)\nabla h + \mathbf{v}(c)\nabla c + \boldsymbol{\mu}\nabla T, \quad (4)$$

$$(\mathbf{u}, \mathbf{n})|_{(x,y) \in \Gamma_2 \cup \Gamma_4 \cup \Gamma_5 \cup \Gamma_6} = 0, \quad (5)$$

$$h|_{(x,y) \in \Gamma_1} = H_1, \quad h|_{(x,y) \in \Gamma_3} = H_2, \quad (6)$$

$$(\mathbf{D}\nabla c + \mathbf{D}_T\nabla T, \mathbf{n})|_{(x,y) \in \Gamma_2 \cup \Gamma_4 \cup \Gamma_5 \cup \Gamma_6} = 0, \quad (7)$$

$$c|_{(x,y) \in \Gamma_1} = c_1, \quad c|_{(x,y) \in \Gamma_3} = c_2, \quad (8)$$

$$(\lambda(c)\nabla T - \mathbf{u}T, \mathbf{n})|_{(x,y) \in \Gamma_2 \cup \Gamma_4 \cup \Gamma_5 \cup \Gamma_6} = 0, \quad (9)$$

$$T|_{(x,y) \in \Gamma_1} = T_1, \quad T|_{(x,y) \in \Gamma_3} = T_2, \quad (10)$$

$$(\mathbf{u}, \mathbf{n})_{\gamma^*}^\pm = -\frac{k^{\gamma^*}}{d}(h^+ - h^-) + \frac{\nu^{\gamma^*}}{d}(c^+ - c^-) + \quad (11)$$

$$+\frac{\mu^{\gamma^*}}{d}(T^+ - T^-), (x, y) \in \gamma^*, t > 0$$

$$(\mathbf{q}_c, \mathbf{n})_{\gamma^*}^\pm = \quad (12)$$

$$= (1 - \alpha) \cdot \left( (\mathbf{u}, \mathbf{n})_{\gamma^*}^{\pm} - \frac{D\gamma^*}{d}(c^+ - c^-) - \frac{D_T\gamma^*}{d}(T^+ - T^-) \right),$$

$$(x, y) \in \gamma^*, t > 0$$

$$(\mathbf{q}_T, \mathbf{n})_{\gamma^*}^{\pm} = \rho c_{\rho}(u, \mathbf{n})_{\gamma^*}^{\pm} \cdot T^{\pm} - \frac{\lambda\gamma^*}{d}(T^+ - T^-), (x, y) \in \gamma^*, t > 0, \quad (13)$$

$$[(\mathbf{u}, \mathbf{n})]_{\gamma^*} = 0, \quad [(\mathbf{q}_c, \mathbf{n})]_{\gamma^*} = 0, \quad [(\mathbf{q}_T, \mathbf{n})]_{\gamma^*} = 0, t > 0 \quad (14)$$

$$\mathbf{q}_c = \mathbf{u}c - \mathbf{D}\nabla c - \mathbf{D}_T\nabla T, \quad \mathbf{q}_T = \rho c_{\rho}\mathbf{u}T - \lambda(c)\nabla T, \quad (15)$$

$$h(x, y, 0) = h_0(x, y), \quad c(x, y, 0) = c_0(x, y), \quad (16)$$

$$T(x, y, 0) = T_0(x, y),$$

де  $h$  – напір;  $c$  – концентрація;  $T$  – температура;  $\mathbf{K} = \mathbf{K}(c, T, e)$  – коефіцієнт фільтрації;  $\mathbf{v}$  – коефіцієнт хімічного осмосу;  $\boldsymbol{\mu}$  – коефіцієнт термічного осмосу;  $\gamma$  – питома вага порової рідини;  $\bar{e}$  – коефіцієнт пористості ґрунту;  $\xi$  – коефіцієнт бічного тиску ґрунту;  $a$  – коефіцієнт стисливості ґрунту;  $\mathbf{u}$  – вектор швидкості фільтрації;  $\mathbf{D}$  – коефіцієнт конвективної дифузії;  $\mathbf{D}_T$  – коефіцієнт термодифузії;  $C_m$  – концентрація граничного насичення;  $\gamma_1$  – коефіцієнт швидкості масообміну;  $n$  – пористість ґрунту;  $\lambda$  – коефіцієнт ефективної теплопровідності вологого ґрунту;  $\rho$  – густина порового розчину;  $c_{\rho}$  – питома теплоємність порового розчину;  $c_T$  – об’ємна теплоємність ґрунту;  $d$  – товщина напівпровідникового включення;  $k\gamma^*$ ,  $\nu\gamma^*$ ,  $\mu\gamma^*$ ,  $D\gamma^*$ ,  $D_T\gamma^*$ ,  $\lambda\gamma^*$  – характеристики напівпроникного включення  $\gamma^*$ ;  $\mathbf{n}$  – певним чином зорієнтований вектор напрямних косинусів нормалі до функції;  $h_0(x, y)$ ,  $c_0(x, y)$ ,  $T_0(x, y)$ ,  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $T_1$ ,  $T_2$  – задані функції;  $\Gamma_1 \cup \Gamma_2 \cup \Gamma_3 \cup \Gamma_4 \cup \Gamma_5 \cup \Gamma_6 = \Gamma$ .

Початкові значення для розподілів надлишкових напорів в кожній точці шару ґрунту мають вид [8]:

$$H_0(x, y)|_{y \neq 0} = \frac{q}{\gamma\pi} \left( \arctg \frac{a-x}{y} + \arctg \frac{a+x}{y} \right),$$

$$H_0(x, y)|_{y=0} = \begin{cases} H_1, & x \leq -a, \\ H_2, & x \geq a, \\ \frac{q}{\gamma}, & x \in (-a, a). \end{cases}$$

**Чисельний розв’язок крайової задачі методом скінченних елементів (МСЕ).**

Нехай  $H_0$  – простір вектор-функцій  $s(x, y) = (s_1(x, y); s_2(x, y); s_3(x, y))$ , кожна із компонент  $s_1(x, y)$ ,  $s_2(x, y)$ ,  $s_3(x, y)$  яких в області  $\Omega$  належать простору Соболева  $W_2^1(\Omega)$ , де, відповідно для функцій  $h(x, y, t)$ ,  $c(x, y, t)$ ,  $T(x, y, t)$  задані граничні умови першого роду.

Домножуючи рівності (1)–(3) та кожну з початкових умов (16) на функції  $(s_1(x, y); s_2(x, y); s_3(x, y)) \in H_0$  та проінтегрувавши одержані рівності по

області  $\Omega$ , після застосування першої формули Остроградського-Гауса, врахувавши граничні умови (5)–(10) та умови напівпроникності (11)–(15), отримуємо:

$$\begin{aligned} & \iint_{\Omega} \frac{\partial h}{\partial t} s_1 dx dy + \frac{(1 + \bar{e})(1 + \xi)}{2\gamma a} \left( \iint_{\Omega} (\mathbf{K}(c, T, e) \nabla h - \mathbf{v}(c) \nabla c \right. \\ & \quad \left. - \boldsymbol{\mu} \nabla T) \times \right. \\ & \left. \times \nabla s_1 dx dy + \frac{1}{d} \int_{\gamma^*} (k^{\gamma^*} [h] - v^{\gamma^*} [c] - \mu^{\gamma^*} [T]) [s_1] d\Gamma \right) = 0, \end{aligned} \quad (17)$$

$$\iint_{\Omega} h(x, y, 0) s_1(x, y) dx dy = \iint_{\Omega} h_0(x, y) s_1(x, y) dx dy, \quad (18)$$

$$\begin{aligned} & n \iint_{\Omega} \frac{\partial c}{\partial t} s_2 dx dy + \iint_{\Omega} (\mathbf{D} \nabla c, \nabla s_2) dx dy + \iint_{\Omega} (\mathbf{D}_T \nabla T, \nabla s_2) dx dy + \\ & \quad + \iint_{\Omega} (\mathbf{u}, \nabla c) s_2 dx dy + \gamma_1 \iint_{\Omega} c s_2 dx dy + (1 - \alpha) \times \\ & \times \int_{\gamma^*} \left\{ \left( \frac{D^{\gamma^*}}{d} [c] + \frac{D_T^{\gamma^*}}{d} [T] - (\mathbf{u}, \mathbf{n})_{\gamma^*}^- c^- \right) [s_2] + (\mathbf{u}, \mathbf{n})_{\gamma^*}^- [c s_2] \right\} d\Gamma = \\ & \quad = \gamma_1 C_m \iint_{\Omega} s_2 dx dy, \end{aligned} \quad (19)$$

$$\iint_{\Omega} c(x, y, 0) s_2(x, y) dx dy = \iint_{\Omega} c_0(x, y) s_2(x, y) dx dy, \quad (20)$$

$$\begin{aligned} & c_T \iint_{\Omega} \frac{\partial T}{\partial t} s_3 dx dy + \iint_{\Omega} (\lambda(c) \nabla T, \nabla s_3) dx dy + \\ & + \frac{1}{d} \int_{\gamma^*} \left\{ \left( \frac{\lambda^{\gamma^*}}{d} [T] - \rho c_{\rho} (\mathbf{u}, \mathbf{n})_{\gamma^*}^- T^- \right) [s_3] + \rho c_{\rho} (\mathbf{u}, \mathbf{n})_{\gamma^*}^- [T s_3] \right\} d\Gamma + \\ & \quad + \rho c_{\rho} \iint_{\Omega} (\mathbf{u}, \nabla T) s_3 dx dy = 0, \end{aligned} \quad (21)$$

$$\iint_{\Omega} T(x, y, 0) s_3(x, y) dx dy = \iint_{\Omega} T_0(x, y) s_3(x, y) dx dy. \quad (22)$$

Наближений узагальнений розв'язок задачі шукаємо у вигляді

$$\begin{aligned} (\hat{h}(x, y, t); \hat{c}(x, y, t); \hat{F}(x, y, t)) = & \left( \sum_{i=1}^n a_i(t) N_i^{(1)}(x, y); \right. \\ & \left. \sum_{j=1}^n b_j(t) N_j^{(2)}(x, y); \sum_{s=1}^n r_s(t) N_s^{(3)}(x, y) \right), \end{aligned}$$

де  $\mathbf{N}^i = (N_i^{(1)}; 0; 0)$ ,  $\mathbf{N}^j = (0; N_j^{(2)}; 0)$ ,  $\mathbf{N}^k = (0; 0; N_k^{(3)})$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, n}$ ,  $k = \overline{1, n}$  – базисні вектор-функції скінченновимірного підпростору  $M_0 \subset H_0$ .

Для розв'язання задачі методом скінченних елементів покриємо область  $\Omega$  трикутною сіткою із подвійною нумерацією вузлів на включенні.

Підставляючи вигляд наближеного розв'язку в рівності (17) – (22), отримаємо задачу Коші для системи нелінійних диференціальних рівнянь відносно вектора  $\mathbf{U}(t) = (\mathbf{A}(t); \mathbf{B}(t); \mathbf{R}(t))$

$$\mathbf{M}^{(1)} \cdot \frac{d\mathbf{A}}{dt} + \mathbf{L}^{(1)} \cdot \mathbf{A}(t) = \mathbf{G}^{(1)} \cdot \mathbf{B}(t) + \mathbf{G}'^{(1)} \cdot \mathbf{R}(t) + \mathbf{F}^{(1)}, \quad (23)$$

$$\mathbf{M}^{(2)} \cdot \frac{d\mathbf{B}}{dt} + \mathbf{L}^{(2)} \cdot \mathbf{B}(t) = \mathbf{G}^{(2)} \cdot \mathbf{R}(t) + \mathbf{F}^{(2)}, \quad (24)$$

$$\mathbf{M}^{(3)} \cdot \frac{d\mathbf{R}}{dt} + \mathbf{L}^{(3)} \cdot \mathbf{R}(t) = \mathbf{F}^{(3)}, \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{M}^{(1)} \cdot \mathbf{A}^{(0)} = \tilde{\mathbf{F}}^{(1)}, \quad \tilde{\mathbf{M}}^{(2)} \cdot \mathbf{B}^{(0)} = \tilde{\mathbf{F}}^{(2)}, \\ \tilde{\mathbf{M}}^{(3)} \cdot \mathbf{R}^{(0)} = \tilde{\mathbf{F}}^{(3)}, \end{aligned} \quad (26)$$

де

$$\begin{aligned} m_{ij}^{(1)} &= \iint_{\Omega} N_i^{(1)} N_j^{(1)} dx dy, \\ l_{ij}^{(1)} &= \frac{(1+\bar{\epsilon})(1+\xi)}{2\gamma a} \iint_{\Omega} (\mathbf{K} \nabla N_j^{(1)}, \nabla N_i^{(1)}) dx dy + \frac{1}{d} \int_{\gamma^*} k \nu^* [N_j^{(1)}] [N_i^{(1)}] d\Gamma, \\ g_{ij}^{(1)} &= \frac{(1+\bar{\epsilon})(1+\xi)}{2\gamma a} \iint_{\Omega} (\mathbf{v} \nabla N_j^{(2)}, \nabla N_i^{(1)}) dx dy + \frac{1}{d} \int_{\gamma^*} \nu \nu^* [N_j^{(2)}] [N_i^{(1)}] d\Gamma, \\ g'_{ij}^{(1)} &= \frac{(1+\bar{\epsilon})(1+\xi)}{2\gamma a} \iint_{\Omega} (\boldsymbol{\mu} \nabla N_j^{(3)}, \nabla N_i^{(1)}) dx dy + \frac{1}{d} \int_{\gamma^*} \mu \nu^* [N_j^{(3)}] [N_i^{(1)}] d\Gamma, \\ f_i^{(1)} &= 0, \\ \tilde{f}_i^{(1)} &= \iint_{\Omega} \tilde{h}_0 N_i^{(1)} dx dy, \\ m_{ij}^{(2)} &= n \iint_{\Omega} N_i^{(2)} N_j^{(2)} dx dy, \\ l_{ij}^{(2)} &= \iint_{\Omega} ((\mathbf{D} \nabla N_j^{(2)}, \nabla N_i^{(2)}) + N_i^{(2)} (\mathbf{u}, \nabla N_j^{(2)}) + \gamma_1 N_i^{(2)} N_j^{(2)}) dx dy + \end{aligned}$$

$$+(1-\alpha) \int_{\gamma^*} \left\{ \left( \frac{D\gamma^*}{d} [N_j^{(2)}] - (\mathbf{u}, \mathbf{n})_{\gamma^*}^- N_j^{(2)-} \right) [N_i^{(2)}] + (\mathbf{u}, \mathbf{n})_{\gamma^*}^- [N_j^{(2)} N_i^{(2)}] \right\} d\Gamma$$

$$g_{ij}^{(2)} = - \iint_{\Omega} (\mathbf{D}_T \nabla N_j^{(3)}, \nabla N_i^{(2)}) dx dy - (1-\alpha) \int_{\gamma^*} \frac{D\gamma^*}{d} [N_j^{(3)}] [N_i^{(2)}] d\Gamma,$$

$$f_i^{(2)} = \iint_{\Omega} \gamma_1 N_i^{(2)} C_m dx dy, \quad \tilde{m}_{ij}^{(2)} = \iint_{\Omega} N_i^{(2)} N_j^{(2)} dx dy,$$

$$\tilde{f}_i^{(2)} = \iint_{\Omega} c_0 N_i^{(2)} dx dy, \quad m_{ij}^{(3)} = c_T \iint_{\Omega} N_i^{(3)} N_j^{(3)} dx dy,$$

$$l_{ij}^{(3)} = \iint_{\Omega} ((\lambda \nabla N_j^{(3)}, \nabla N_i^{(3)}) + \rho c_\rho N_i^{(3)} (\mathbf{u}, \nabla N_j^{(3)})) dx dy +$$

$$+ \frac{1}{d} \int_{\gamma^*} \left\{ \left( \frac{\lambda \gamma^*}{d} [N_j^{(3)}] - \rho c_\rho (\mathbf{u}, \mathbf{n})_{\gamma^*}^- N_j^{(3)-} \right) [N_i^{(3)}] + \rho c_\rho (\mathbf{u}, \mathbf{n})_{\gamma^*}^- [N_j^{(3)} N_i^{(3)}] \right\} d\Gamma,$$

$$f_i^{(3)} = 0, \quad \tilde{m}_{ij}^{(3)} = \iint_{\Omega} N_i^{(3)} N_j^{(3)} dx dy, \quad \tilde{f}_i^{(3)} = \iint_{\Omega} T_0 N_i^{(3)} dx dy.$$

Наближений розв'язок системи нелінійних диференціальних рівнянь (23)–(25) отримаємо за допомогою схеми Кранка–Ніколсона[7].

$$\begin{aligned} \mathbf{M}^{(1)} \cdot \frac{\mathbf{A}^{(s+1)} - \mathbf{A}^{(s)}}{\tau} + \mathbf{L}^{(1)} \cdot \left( \frac{1}{2} \mathbf{A}^{(s+1)} + \frac{1}{2} \mathbf{A}^{(s)} \right) &= \\ &= \mathbf{G}^{(1)} \cdot \mathbf{B} + \mathbf{G}'^{(1)} \cdot \mathbf{R} + \mathbf{F}^{(1)}, \\ \left( \frac{\mathbf{M}^{(1)}}{\tau} + \frac{\mathbf{L}^{(1)}}{2} \right) \cdot \mathbf{A}^{(s+1)} &= \mathbf{G}^{(1)} \cdot \mathbf{B} + \mathbf{G}'^{(1)} \cdot \mathbf{R} + \mathbf{F}^{(1)} + \left( \frac{\mathbf{M}^{(1)}}{\tau} - \frac{\mathbf{L}^{(1)}}{2} \right) \mathbf{A}^{(s)}, \\ \mathbf{M}^{(2)} \cdot \frac{\mathbf{B}^{(s+1)} - \mathbf{B}^{(s)}}{\tau} + \mathbf{L}^{(2)} \cdot \left( \frac{1}{2} \mathbf{B}^{(s+1)} + \frac{1}{2} \mathbf{B}^{(s)} \right) &= \mathbf{G}^{(2)} \cdot \mathbf{R} + \mathbf{F}^{(2)}, \\ \left( \frac{\mathbf{M}^{(2)}}{\tau} + \frac{\mathbf{L}^{(2)}}{2} \right) \cdot \mathbf{B}^{(s+1)} &= \mathbf{G}^{(2)} \cdot \mathbf{R} + \mathbf{F}^{(2)} + \left( \frac{\mathbf{M}^{(2)}}{\tau} - \frac{\mathbf{L}^{(2)}}{2} \right) \cdot \mathbf{B}^{(s)}, \\ \mathbf{M}^{(3)} \cdot \frac{\mathbf{R}^{(s+1)} - \mathbf{R}^{(s)}}{\tau} + \mathbf{L}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} \mathbf{R}^{(s+1)} + \frac{1}{2} \mathbf{R}^{(s)} \right) &= \mathbf{F}^{(3)}, \\ \left( \frac{\mathbf{M}^{(3)}}{\tau} + \frac{\mathbf{L}^{(3)}}{2} \right) \cdot \mathbf{R}^{(s+1)} &= \mathbf{F}^{(3)} + \left( \frac{\mathbf{M}^{(3)}}{\tau} - \frac{\mathbf{L}^{(3)}}{2} \right) \cdot \mathbf{R}^{(s)}. \end{aligned}$$

**Результати чисельних експериментів.** Розглянемо прямокутну область ґрунту з координатами вершин  $(-25; 0)$ ,  $(25; 0)$ ,  $(-25; 20)$ ,  $(25; 20)$  із

напівпроникним включенням у формі ламаної лінії, яка проходить через точки  $(-15; 10)$ ,  $(0; 11)$ ,  $(15; 10)$  з параметрами:  $\bar{e} = 0.62$ ,  $\xi = 0.75$ ,  $a = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{н}$ ,  $\gamma = 10^4 \text{ доба}^{-1}$ ,  $q = 10^5 \text{ м}$ ,  $\gamma_1 = 0 \text{ доба}^{-1}$ ,  $\nu_{11} = \nu_{22} = 2.8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^5/\text{кг} \cdot \text{доба}$ ,  $\mu_{11} = \mu_{22} = 2.8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{град} \cdot \text{доба}$ ,  $D_{11} = D_{22} = 0.02 \text{ м}^2/\text{доба}$ ,  $k\gamma^* = 0.0001 \text{ м}/\text{доба}$ ,  $\nu\gamma^* = 10^{-5} \text{ м}^5/\text{кг} \cdot \text{доба}$ ,  $\mu\gamma^* = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{град} \cdot \text{доба}$ ,  $d = 0.1 \text{ м}$ ,  $C_m = 350 \text{ г}/\text{літр}$ ,  $D\gamma^* = 0.0002 \text{ м}^2/\text{доба}$ ,  $\alpha = 0.1$ ,  $\rho = 1100 \text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $c_\rho = 4200 \text{ Дж}/\text{кг} \cdot \text{град}$ ,  $c_T = 2137000 \text{ Дж}/\text{м}^3 \cdot \text{град}$ ,  $\lambda = 108000 \text{ Дж}/\text{м} \cdot \text{град} \cdot \text{доба}$ ,  $\lambda\gamma^* = 108000 \text{ Дж}/\text{м} \cdot \text{град} \cdot \text{доба}$ ,  $H_1 = 6 \text{ м}$ ,  $H_2 = 4 \text{ м}$ ,  $c_1 = 160 \text{ г}/\text{літр}$ ,  $T_1 = 30^\circ \text{ С}$ ,  $c_0 = 5 \text{ г}/\text{літр}$ ,  $T_1 = 20^\circ \text{ С}$ ,  $\tau = 10 \text{ діб}$ ,  $k$  взято з роботи [5].

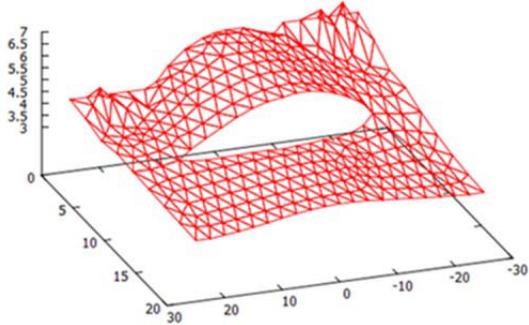


Рис. 2. Розподіл напорів при  $t = 50$  діб з урахуванням тепло- солеперенесення

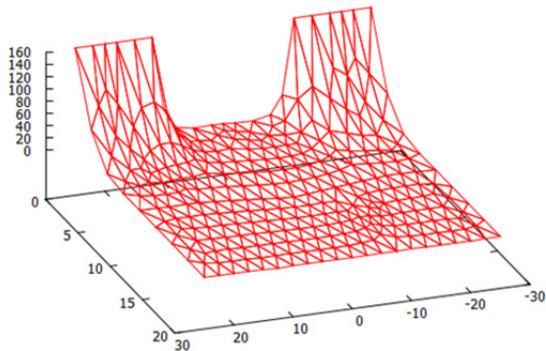


Рис. 3. Розподіл концентрації солей при  $t = 50$  діб з урахуванням тепло- солеперенесення

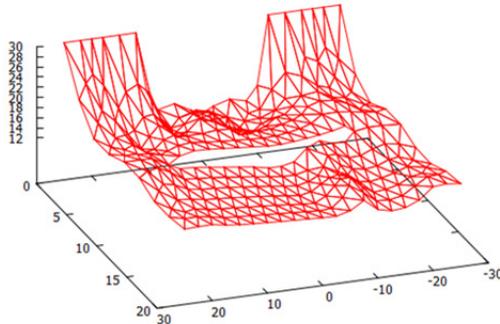


Рис. 4. Розподіл температури при  $t = 50$  діб з урахуванням тепло- солеперенесення

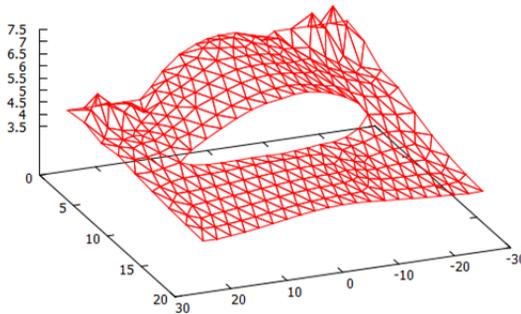


Рис. 5. Розподіл напорів при  $t = 50$  діб без урахування тепло- солеперенесення

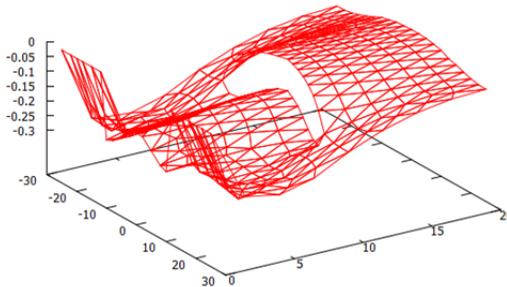


Рис. 6. Різниця розподілів напорів при  $t = 50$  діб із врахуванням та без урахування впливу перенесення солей

З вищенаведених графіків (рис. 2-6) видно, як впливає тепло-солеперенесення на розподіл напорів, зокрема на область розміщення напівпроникного включення. Врахування градієнта концентрації сольового розчину та градієнта температури значно впливає на процес фільтраційної

консолідації. В даному випадку, якщо врахувати процес тепло-солеперенесення, то процес фільтраційної консолідації прискорюється (поле надлишкових напорів розсіюється швидше).

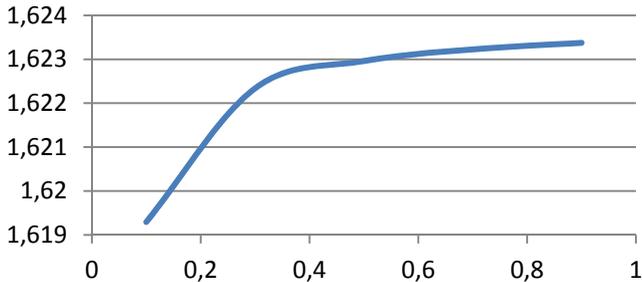


Рис. 7. Залежність стрибка напору від товщини включення

На рис. 7 показано вплив товщини напівпроникного включення на стрибок напору у шарі ґрунту на цьому включенні. Чим більша товщина включення, тим більшим є стрибок напору на включенні.

**Висновки.** Отже, нами застосовано модель фільтраційної консолідації для ґрунтів з напівпроникними включеннями в двовимірному випадку. Показано вплив тепло-масоперенесення. Проведено ряд числових експериментів. Показано залежність стрибка напору від товщини включення.

В подальшому планується розгляд областей із більшим числом включень, а також з іншими граничними умовами.

1. Бомба А. Я. Моделювання квазіідеальних полів для тонких просторово викрєвлених анізотропних пластів / А. Я. Бомба, А. В. Терєбус // Доп. НАН України. – 2011. – № 10. – С. 37–43.
2. Булавацький В. М. Математические модели консолидации водоносных пористых сред и нагруженные дифференциальные уравнения / В. М. Булавацький // Компьютерная математика. – 2011. – №2. – С. 13–20.
3. Власюк А. П. Математичне моделювання консолідації ґрунтів в процесі фільтрації сольових розчинів / А. П. Власюк, П. М. Мартинюк. Рівне: Вид-во УДУВГП, 2004. – 211 с.
4. Власюк А. П. Математичне моделювання консолідації ґрунтів при фільтрації сольових розчинів в неізотермічних умовах: Монографія / А. П. Власюк, П. М. Мартинюк. Рівне: НУВГП, 2008. – 416 с.
5. Власюк А. П. Експериментальні залежності характеристик ґрунтів від впливу техногенних факторів та їх обробка за методом найменших квадратів / А. П. Власюк, П. М. Мартинюк, О. В. Козюк // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – 2007. – Вип.1(37). – С. 268–281.
6. Дейнека В. С. Модели и методы решения задач с условиями сопряжения / В. С. Дейнека, И. В. Сергиенко, В. В. Скопецкий. К. : Наук. думка, 1998. – 614 с.
7. Зенкевич О. Конечные элементы и аппроксимация / Зенкевич О., Морган К. М.: Мир, 1986.
8. Иванов П. Л. Ґрунти и основания гидротехнических сооружений. Механика ґрунтов / П. Л. Иванов. – М. : Высш. Школа, 1985. – 352 с.
9. Никольский Д. Н. Математическое моделирование плоских фильтрационных течений в областях с границами и полупроницаемыми включениями / Д. Н. Никольский // Ученые записи Орловского государственного университета. – 2010. – №4. – С. 7–11.
10. Петрик М. Р. Математичне моделювання фільтраційної консолідації в неоднорідних багатоконпонентних циліндричних дисперсних мікропористих середовищах / М. Р. Петрик, В. С. Дейнека, Є. І. Воробієв // Компьютерная математика. – 2013. – № 1. –

C. 37–45. **11.** Сергиенко И. В. Математическое моделирование и исследование процессов в неоднородных средах / И. В. Сергиенко, В. В. Скопецкий, В. С. Дейнека. – К. : Наук. Думка, 1991. – 432 с. **12.** Сергієнко І. В. Інформаційна технологія дослідження процесів в багатокомпонентних ґрунтових середовищах та оптимальне керування їх станами / І. В. Сергієнко, В. С. Дейнека // Наука та інновації. – 2005. – Т. 1. – № 3. – С. 34–50. **13.** Слупко О. М. Чисельне дослідження процесу напірної фільтрації в середовищі з тонкими каналами / О. М. Слупко, Я. Г. Савула, Л. М. Дяконюк // Математичні машини і системи. – 2011. – № 2. – С. 137–142. **14.** Слупко О. М. Комп'ютерне моделювання процесу напірної фільтрації у пористому середовищі з включеннями / О. М. Слупко, Я. Г. Савула, Т. І. Мандзак, Л. М. Дяконюк // Математичне та комп'ютерне моделювання. – 2010. – Серія: Технічні науки. Випуск 4. – С. 180–187. **15.** Keijzer Th. J. S. Chemical osmosis in natural clayey materials / Th. J. S. Keijzer // Geologica Ultraiectina. – 2000. – №196. –152 p. **16.** Skopetskii V. V. Mathematical modeling of filtration consolidation of water-saturated randomly inhomogeneous soil masses / V. V. Skopetskii, L. V. Volokh // Cybernetics and System Analysis. – 2008. – Vol. 44, No. 1. – P. 68–77.

---

**Martyniuk P. M., Doctor of Engineering, Associate Professor, Chui Y. V., 5<sup>th</sup> year Senior Student** (The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

### **THE MATHEMATICAL MODEL OF SOIL FILTRATION CONSOLIDATION WITH SEMIPERMEABLE INCLUSIONS (TWO-DIMENSIONAL PROBLEMS)**

**The mathematical model of soil filtration consolidation with semipermeable inclusions has been formed. Numerical solution of the problem has been used with finite element method. Number of numerical experiments has been conducted and influence of heat and salt transfer on excess pressures distribution in the soil has been detached.**

***Keywords:* filtration consolidation, matching conditions, a semipermeable inclusion, method of finite element.**

---

**Мартинюк П.Н., д.т.н., доцент, Чуй Ю.В., студент 5 курсу** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

### **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ФІЛЬТРАЦІЙНОЇ КОНСОЛІДАЦІЇ ҐРУНТІВ З НАПІВПРОНИКНИМИ ВКЛЮЧЕННЯМИ (ДВОВИМІРНА ЗАДАЧА)**

**Сформировано математическую модель фильтрационной консолидации ґрунтов с учетом имеющихся в них полупроницаемых включений. Для численного решения задачи использован метод конечных элементов. Проведен ряд численных экспериментов и исследовано влияние тепло-солепереноса на распределение избыточных напоров в ґрунте.**

***Ключевые слова:* фильтрационная консолидация, условия сопряжения, полупроницаемые включения, метод конечных элементов.**

Сидор А. І., асистент, ННІ АКOT (Національний університет водного господарства та природокористування м. Рівне)

## СУЧАСНІ МЕТОДИ ШИФРУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ

**У статі проводиться короткий огляд сучасних методів шифрування інформації, а також досліджуються їхні переваги і недоліки.**

**Ключові слова:** методи, шифрування, інформація.

**Інформація у наш час є цінним товаром.** Із розвитком інформаційних технологій і впровадження комп'ютерних систем в усі сфери людської діяльності інформація стає все більш доступною великій кількості користувачів.

Під терміном «Інформація» розуміють різні повідомлення, відомості про навколишній світ, процеси, що в ньому відбуваються, події, ситуації та інше [1]. Дуже часто інформаційні повідомлення містять дані, які призначені для конкретної особи чи групи осіб. Для того, щоб обмежити доступ до таких даних, використовується захист інформації. Захист інформації – це сукупність методів і засобів, що забезпечують цілісність, конфіденційність і доступність інформації за умови впливу на неї загроз природного або штучного характеру, реалізація яких може призвести до завдання шкоди власникам і користувачам інформації. Одним із основних способів реалізації захисту інформації є шифрування.

**Шифрування** – це кодування даних з метою захисту від несанкціонованого доступу. Процес кодування називається шифруванням, а процес декодування – розшифруванням. Саме кодоване повідомлення називається шифрованим, а застосований метод називається шифром. Основна вимога до шифру полягає в тому, щоб розшифрування було можливе тільки при наявності санкції, тобто деякої додаткової інформації, яка називається ключем шифру.

Одними з найпоширеніших методів кодування є використання симетричних і асиметричних алгоритмів шифрування.

**Симетричні алгоритми шифрування** – алгоритми, які застосовуються при шифруванні інформації, особливість яких полягає у тому, що ключ шифрування та розшифрування однаковий, тобто з його допомогою можна як зашифрувати, так і розшифрувати (відновити) повідомлення. Симетричні алгоритми шифрування поділяються на потокові та блочні.

Потокові алгоритми шифрування послідовно обробляють текст повідомлення. В поточних шифрах потік шифрованого тексту обчислюється на основі внутрішнього стану алгоритму, який змінюється протягом його дії.

Зміна стану керується ключем та, в деяких алгоритмах, потоком відкритого тексту.

Блочні алгоритми працюють з блоками фіксованого розміру. Як правило, довжина блоку дорівнює 64 бітам, але в алгоритмі AES використовуються блоки довжиною 128 біт.

**Асиметричні алгоритми шифрування** – алгоритми шифрування, які використовують різні ключі для шифрування та дешифрування даних. Головне досягнення асиметричного шифрування в тому, що воно дозволяє людям, що не мають існуючої домовленості про безпеку, обмінюватися секретними повідомленнями. Необхідність відправникові й одержувачеві погоджувати таємний ключ по спеціальному захищеному каналу цілком відпала.

Розглянемо проклади сучасних методів шифрування, які використовують симетричні та асиметричні алгоритми.

### **Алгоритм IDEA**

Алгоритм IDEA вперше був запропонований Ксуеджа Лаєм і Джеймсом Мессі із швейцарського федеративного інституту технологій в 1990 році.

Огляд алгоритму [2]:

IDEA являється одним із декількох симетричних криптографічних алгоритмів, які розроблялися на заміну алгоритму DES. IDEA шифрує 64-бітові блоки відкритого тексту. IDEA працює з ключами довжиною 128 біт. Для шифрування і дешифрування використовується один і той же алгоритм, міняється лише розклад ключів. Алгоритм IDEA використовує розсіювання і перемішування. В основі конструкції алгоритму лежить "змішення операцій різних алгебраїчних груп". Вихідний текст в IDEA ділиться на чотири групи по 16 біт. Для того що комбінувалися 16-бітні коди використовуються три операції: 1) операція XOR. 2) додавання по модулю  $2^{16}$ . 3) Множення по модулю  $2^{16} + 1$ . Вище наведені операції виконуються лише із 16-бітними блоками [2].

Переваги алгоритму:

1) До цих пір крипто аналітикам не вдалося зламати шифр. Алгоритм IDEA вважається одним із самих кращих і надійних алгоритмів опублікованих до нашого часу.

2) При прямому зломі ключа знадобиться  $2^{128}$  шифрувань. Навіть при використанні мільярда мікросхем, що перевіряє мільярд ключів в секунду це займе  $10^{13}$  років.

3) Апаратна реалізація має перед програмною наступні переваги: Істотне підвищення швидкості шифрування за рахунок використання паралелізму при виконанні операцій. Менше енергоспоживання.

Недоліки алгоритму:

1) Існують великі класи слабких ключів. Слабкі вони в тому сенсі, що існують процедури, що дозволяють визначити, чи відноситься ключ до даного класу, а потім і сам ключ.

2) Алгоритм залишається все ще новим і мало досліджуваним.

3) Розповсюдження алгоритму затруднене тим що він запатентований в США і в більшості європейських країн і його використання в комерційних додатках передбачає ліцензійне начислення власникові.

### **Алгоритм Blowfish**

Blowfish був розроблений Брюсом Шнайером в 1993 році, як швидка і вільно-доступна заміна вже існуючих алгоритмів. З тих пір він був детально проаналізований і почав повільно отримувати прийняття як сильний алгоритм шифрування.

Огляд алгоритму:

Blowfish – 64-бітний блоковий шифр з ключем змінної довжини. Алгоритм включає в себе дві частини: частина розширення ключів і частина шифрування даних. Розширення ключа перетворює ключ, в більшості 448-бітний, у кілька підсумовуваних масивів підключів в 4168 байт. Шифрування даних відбувається через 16-ітераційну мережу Feistel. Кожна ітерація складається із залежної від ключа заміни даних і перестановки. Всі операції – XOR і додавання на 32-бітових словах. Єдині додаткові операції – чотири пошуки в індексованих масивах на ітерацію.

Переваги алгоритму:

1) Blowfish не запатентований, вільно ліцензований і вільно доступний для будь-якого застосування.

2) Blowfish набагато швидший, ніж DES і IDEA.

3) Шифрування цим алгоритмом дуже ефективно на старих процесорах.

Недоліки алгоритму:

1) Існує складна фаза ініціалізації, до початку шифрування.

2) При збільшенні частоти зміни ключа основний час його роботи буде йти на підготовчий етап, що в сотні разів зменшує його ефективність.

### **Алгоритм AES, Rijndael**

Стандарт AES (Advanced Encryption Standard) є стандартом шифрування США, прийнятим у 2000-му році [3].

Огляд алгоритму:

Цей алгоритм являє собою симетричний блоковий шифр, який працює з блоками даних довжиною 128 біт і використовує ключі довжиною 128, 192 і 256 біт (версії AES-28; AES-192 і AES-256). Сам алгоритм може працювати і з іншими довжинами блоків даних і ключів, але ця можливість в стандарт не ввійшла. Алгоритм AES виконує операції над двовимірними масивами байт, званими структурами. При реалізації алгоритму AES використовуються операції додавання байт (по модулю 2 = XOR) і множення [3].

Переваги алгоритму:

- 1) Алгоритм був відібраний у відкритому конкурсі із відносно великого числа алгоритмів претендентів.
- 2) Процедура розширення ключа є достатньо простою порівняно з іншими сучасними алгоритмами.
- 3) Розширення може бути виконане паралельно із шифруванням даних.
- 4) Алгоритм швидкий і компактний із простою математичною структурою.

Недоліки алгоритму:

- 1) Збільшення числа раундів уповільнює роботу алгоритму.
- 2) В рамках проекту Microsoft Research було виявлено що довжина ключа шифрування на 2 біти коротша ніж вважалося, що означає, що швидкість розшифровки ключа в чотири рази швидша.
- 3) З'являється все більша кількість повідомлень про вдалі способи злому і пониження ефективності роботи алгоритму AES.

### **Алгоритм RSA**

Криптосистема RSA розроблена в 1977 році і названа на честь її розробників Ronald Rivest, Adi Shamir і Leonard Adleman. RSA – криптографічний система відкритого ключа, що забезпечує такі механізми захисту як шифрування і цифровий підпис.

Огляд алгоритму:

Алгоритм RSA працює таким чином: беруться два досить великих простих числа  $p$  і  $q$  і обчислюється їх добуток  $n = p * q$ ;  $n$  називається модулем. Потім вибирається число  $e$ , що задовольняє умові  $1 < e < (p - 1) * (q - 1)$  і не має спільних дільників крім одного з числом  $(p - 1) * (q - 1)$ . Потім обчислюється число  $d$  таким чином, що  $(e * d - 1)$  ділиться на  $(p - 1) * (q - 1)$ .  $e$  – відкритий (public) показник,  $d$  – секретний (private) показник,  $(N; e)$  – відкритий (public) ключ,  $(N; d)$  – секретний (private) ключ. Подільники (фактори)  $p$  і  $q$  можна або знищити або зберегти разом з секретним (private) ключем.

Переваги алгоритму:

- 1) Надійність криптосистеми RSA заснована на важко вирішувальному – практично не розв'язувальному завданню розкладання  $n$  на співмножники.
- 2) Криптосистема RSA може використовуватися також і для підтвердження автентичності або ідентифікації іншої людини або юридичної особи.

Недоліки алгоритму:

- 1) Алгоритм RSA набагато повільніший ніж DES та інші алгоритми блокового шифрування.
- 2) Існує кілька способів злому RSA.
- 3) Для забезпечення високої надійності шифрування необхідно, щоб число, що виступає в якості модуля  $n$ , було дуже великим – кілька сотень або тисяч біт.

## **Алгоритм Діффі-Хеллмана**

Огляд алгоритму:

Алгоритм Діффі-Хеллмана не застосовується для шифрування повідомлень або формування електронного підпису. Його призначення – в розподілі ключів. Він дозволяє двом або більше користувачам обмінятися без посередників ключем, який може бути використаний потім для симетричного шифрування

Алгоритм заснований на труднощах обчислень дискретних логарифмів. У цьому алгоритмі обчислення проводяться за модулем деякого великого простого числа  $P$ . Спочатку спеціальним чином підбирається деяке натуральне число  $A$ , менше від  $P$ . Якщо ми хочемо зашифрувати значення  $X$ , то обчислюємо  $Y = AX \text{ mod } P$ . Причому, маючи  $X$ , обчислити  $Y$  легко. Зворотній завдання обчислення  $X$  з  $Y$  є досить складною. Експонента  $X$  якраз і називається дискретним логарифмом  $Y$ . Таким чином, знаючи про складність обчислення дискретного логарифма, число  $Y$  можна відкрито передавати будь-яким каналом зв'язку, так як при великому модулі  $P$  початкове значення  $X$  підібрати буде практично неможливо. На цьому математичному факті заснований алгоритм Діффі-Хеллмана для формування ключа.

Переваги алгоритму:

1) Це криптосистема, яка дозволяла захищати інформацію без використання секретних ключів, що передаються по захищених каналах.

Недоліки алгоритму:

1) Даний алгоритм, уразливий для атак типу "man-in-the-middle" ("людина в середині"). Якщо противник має можливість не тільки перехоплювати повідомлення, але і замінювати їх іншими, він може перехопити відкриті ключі учасників, створити свою пару відкритого та закритого ключа і послати кожному з учасників свій відкритий ключ. Після цього кожен учасник вирахує ключ, який буде спільним з противником, а не з іншим учасником.

## **Алгоритм Ель-Гамала**

Асиметричний алгоритм, запропонований в 1985 році Ель-Гамаль (Т. ElGamal). Безпека цього алгоритму заснована на труднощі обчислення дискретних логарифмів.

Огляд алгоритму:

Цей алгоритм використовує схему Діффі-Хеллмана, щоб сформувати загальний секретний ключ для абонентів, що передають один одному повідомлення, і потім повідомлення шифрується шляхом множення його на цей ключ. І у випадку шифрування, і в разі формування цифрового підпису кожному користувачеві необхідно згенерувати пару ключів. Для цього вибираються деякий велике просте число  $P$  і число  $A$ , такі, що різні ступені  $A$  являють собою різні числа по модулю  $P$ . Числа  $P$  і  $A$  можуть передаватися у відкритому вигляді і бути спільними для всіх абонентів мережі. Потім кожен

абонент групи вибирає своє секретне число і обчислює відповідне йому відкрите число. Таким чином, кожен користувач може згенерувати закритий ключ  $X_i$  і відкритий ключ  $Y_i$ .

Переваги алгоритму:

1) В алгоритм шифрування вводиться випадкова зміна  $k$  – ключ сеансу. Через випадковість вибору числа  $k$  така схема вирізняється значною криптостійкістю.

Недоліки алгоритму:

1) Потребує чималі затрати апаратних ресурсів.

2) Шифрування великих повідомлень проводиться дуже повільно.

Незважаючи на всі переваги сучасних методів шифрування, в них велика кількість недоліків, які не можуть якісно забезпечити захист інформації. У зв'язку із цим робота у сфері розробки і удосконалення методів шифрування є досить перспективною.

1. Николайчук Я. М. Теория джерел інформації. / Я. М. Николайчук // Видання друге, виправлене. –Тернопіль : ТзОВ "Терно-граф", 2010. – 536 с. 2. Горохов С. М. Сучасні криптографічні системи / С. М. Горохов, Л. Г. Йона, О. В. Онацький // Навч. Посібник – Одеса : ВЦ ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2007. – 152 с. 3. Баричев С. Г. Основы современной криптографии / С. Г. Баричев, В. В. Гончаров, Р. Е. Серов // – 2-е издание. – Москва : "Горячая линия – Телеком", 2002 .

---

**Sydor A. I., Assistant** (The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

## **MODERN INFORMATION ENCRYPTION METHODS**

**The article is a brief overview of modern encryption methods and their advantages and disadvantages.**

**Keywords: methods, encryption, information.**

---

**Сидор А.И., ассистент** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

## **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ШИФРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ**

**В статье представлено краткий обзор современных методов шифрования информации, исследовано их преимущества и недостатки.**

**Ключевые слова: методы, шифрование, информация.**

Турбал Ю. В., к.ф.-м.н., доцент, Шах А. К., студент 5 курсу ННІ АКOT (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## **СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДУ БЕТОННОЇ СУМІШІ**

**Розглядається можливість і доцільність використання автоматизованої системи для вирішення завдань проектування та управління складом важкого бетону для збірних конструкцій. Зазначені особливості проектування складу бетону та основні вимоги, що висувуються до бетонів. Наведено опис автоматизованої системи, приклад інтерфейсу користувача і результати розрахунку складу бетону.**

**Ключові слова:** автоматизована система, проектування складу бетону, важкий бетон.

**В останні роки** інтенсивно розвивається новий розділ матеріалознавчої науки – комп'ютерне матеріалознавство. Воно розв'язує задачі багатофакторного прогнозування властивостей композиційних матеріалів і визначення оптимальних технологічних умов забезпечення заданих властивостей. Теоретичною базою комп'ютерного матеріалознавства є системний аналіз з використанням математичних моделей, які відображають об'єктивні зв'язки між різними технологічними параметрами і властивостями. Розв'язання задач комп'ютерного матеріалознавства необхідне передусім для розробки автоматизованих систем керування технологічними процесами, отримання композиційних матеріалів з заданими властивостями, найбільш ефективного використання матеріальних і енергетичних ресурсів.

**Проблемі проектування** складу бетону приділяється багато уваги в навчальній літературі [1-6], спеціалізованих виданнях [7-8], а також на конференціях і семінарах. З одного боку, це підтверджує актуальність розглянутої проблеми, а з іншого – наявність безлічі невіршених питань щодо методології проектування складу бетону, в тому числі використання хімічних і мінеральних добавок, які дозволяють значно підвищити ефективність складів, досягти істотних змін певних властивостей і т.д. Властивості бетонної суміші та бетону, безпаярна водопроникність, повзучість, морозостійкість, тріщиностійкість та ін., залежать від характеристик кожного структурного рівня – коефіцієнтів розсунення зерен великого заповнювача розчином, дрібного заповнювача цементним тістом (каменем), водоцементного відношення, співвідношення між кристалічними (позитивно зарядженими) і гелевими (негативно зарядженими) продуктами

гідратації. На цьому побудований спосіб визначення складу водонепроникного тріщиностійкого бетону [2]. Однак, в останні роки у зв'язку із використанням нових технологій зведення конструкцій і споруд, подорожчанням енергоресурсів висуваються нові підвищені вимоги до складів бетону.

**Ефективність проектування** складу бетонних сумішей зводиться до визначення співвідношення компонентів бетонної суміші, яке забезпечує при заданих параметрах початкових матеріалів (якість цементу, заповнювачів), наявності хімічних добавок і їх властивостей, необхідні властивості бетонної суміші і бетону (легковкладальність, міцність на стиск тощо).

Для розрахунку складів бетону традиційно застосовують розрахунково-експериментальний метод абсолютних об'ємів з урахуванням формул Боломея-Скрамтаєва, які мають найбільш простий вигляд і дозволяють за допомогою системи коефіцієнтів орієнтовно узагальнено враховувати якість вихідних матеріалів. Однак даний метод не враховує умови та режим твердіння бетону, а наближене врахування якості вихідних матеріалів приводить до зниження точності прогнозування властивостей бетону і до збільшення кількості пробних лабораторних замісів.

**Метою роботи** є розробка автоматизованої системи для вирішення завдань проектування та управління складом важкого бетону для збірних конструкцій.

**При підборі складу** бетону, котрий твердіє як в нормальних умовах, так і в умовах тепловологісної обробки, а також при використанні різних технологічних прийомів, що направлені на прискорення твердіння бетону та економію цементу, доцільно використовувати запропоновану авторами узагальнену залежність міцності бетону, отриману модифікацією відомої розрахункової формули [5]:

$$K_{CT} R_{\sigma} = p A_i R_y \left[ \frac{C + K_{y.e.} H}{B + V} - 0.5 \right] \quad (1)$$

де  $K_{CT}$  – коефіцієнт, який залежить від рівня варіації характеристики міцності, що нормується;

$p A_i$  – добуток коефіцієнтів ( $A_i$ ), які враховують якість вихідних матеріалів, вихід міцності після теплової обробки, ріст міцності бетону в часі, прискорення чи сповільнення росту міцності при введенні добавок та застосування інших технологічних прийомів при незмінних значеннях Ц/В;

$H$  – витрата активного наповнювача (золи, мікрокремнезему та ін.);

$K_{y.e.}$  – коефіцієнт “цементуючої ефективності” 1 кг. наповнювача;

$V$  – об'єм втягнутого повітря;

$R_{\sigma}$  – міцність бетону;

$R_y$  – активність цементу;

$C$  – цемент;

$B$  – вода.

Можливість та “довірча” здатність застосування формули (1) залежить, в основному, від величини мультиплікативного коефіцієнта  $pA_i$  та кількості врахованих у ньому коефіцієнтів-множників.

Значення коефіцієнтів  $A_i$  у формулі (1):

1. якість вихідних матеріалів [6,7]: 0,44..0,6;
2. ріст міцності бетону при нормальному твердінні [8]:
  - 7 діб: 0,60..0,75/0,40..0,601;
  - 90 діб: 1,1..1,35/1,4..1,651;
  - 180 діб: 1,30..1,50/1,4..2,001;
3. міцність бетону після теплової обробки [8], від  $R_{28}$  через:
  - 4 год.: 0,40..0,65/0,56..0,82;
  - 12 год.: 0,43..0,68/0,60..0,82;
  - 24 год.: 1,30..1,50/1,4..2,001;
4. міцність бетону після теплової обробки, від  $R_{28}$  через 4 год. при  $C/B$ , рівному [8]:
  - 1,5..2: 0,47..0,58/0,49..0,663;
  - 2,5..3: 0,63..0,74/0,65..0,773;
5. збільшення міцності бетону через 4 год. та після пропарки за рахунок введення прискорювачів твердіння (типу сульфату натрію чи хлориду кальцію) [9]: 1,1..1,4<sup>4</sup>;
6. міцність бетону з добавкою нітриту натрію при від’ємних температурах від  $R_{28}$  нормального твердіння [9] через:
  - 7 діб: 10..30<sup>5</sup>;
  - 90 діб: 25..50<sup>5</sup>;
  - 180 діб: 35..70<sup>5</sup>.

Зауважимо, що значення коефіцієнтів залежать від класу бетону та марки цементу. Зокрема в чисельнику значення коефіцієнтів для звичайного та алітового портландцементів, в знаменнику – для шлако- і пуццоланового портландцементів. Для бетону класів В15..В40 значення в чисельнику при загальній тривалості теплової обробки 7 годин, в знаменнику – 13 годин. В чисельнику – для портландцементу першої групи марок М400 і М500, в знаменнику – для портландцементу другої групи. Менші значення для швидкотвердіючого та високоалюмінатного портландцементів, більші – для низькоалюмінатного портландцементу, шлако- та пуццоланового портландцементів. Менші значення для температури твердіння 15° С, більші – для температури 5° С.

Коефіцієнт “цементуючої ефективності”  $K_{ц.е.}$  залежить від природи наповнювача, його дисперсності і витрати, а також умов твердіння бетону, його класу і легкоукладальності бетонної суміші, виду і марки цементу. В

табл. 1 наведені значення  $K_{ц.е.}$  для золи і вугілля Донецького басейну, розраховані для пропареного бетону. За даними, отриманими при обробці результатів випробувань складів бетону В7,5..25 на портландцементі Кам'янець-Подільського цементного заводу марок М400 і М500, із вмістом до 20 % доменного гранульованого шлаку для золи Ладижинської ГРЕС при її витраті 150 кг/м<sup>3</sup> значення  $K_{ц.е.}$  коливаються в межах від 0,2 до 0,42 [5].

Для високоактивних наповнювачів, таких як мікрокремнеземи,  $K_{ц.е.}$  може бути значно більшим 1.

Таблица 1

$K_{ц.е.}$  для золи-виносу

Клас бетону	$K_{ц.е.}$ для золи при використанні		
	портландцементу		шлакопортландцементу
	М400	М500	М300
В7,5	0,47..0,53	-	0,47..0,5
В15	0,40	0,40	0,40..0,47
В22,5	0,33..0,57	0,40..0,47	0,27..0,3
В30	0,27..0,37	0,27..0,40	-

Переважна більшість вимог до бетону та методів проектування його складу обумовлена умовами експлуатації конструкції.

Інформаційна система управління складом і властивостями бетону має наступні можливості:

- Розрахунок складу бетону [1]. Відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-215:2009;
- методика визначення складу бетону доповнена можливістю врахування дії добавок суперпластифікатора і прискорювача твердіння та покладена в основу алгоритму згідно з методом [5];
- коригування по Ц/В і міцності згідно з методом [4];
- розрахунок витрати на заміс бетонозмішувача;
- статистичний контроль міцності бетону. Аналізований період [8]. Відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-224:2009;
- статистичний контроль міцності бетону. Контрольований період [8]. Відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-224:2009.

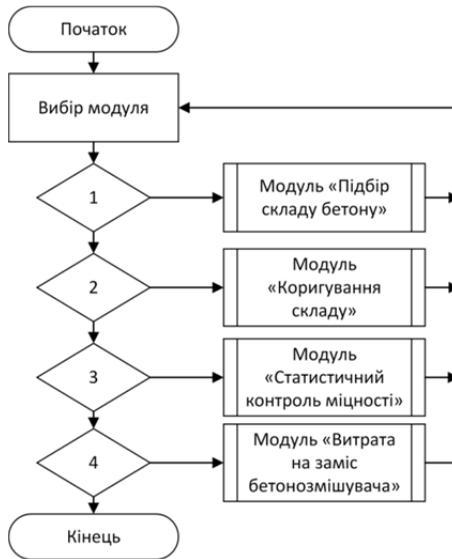


Рис. 1. Загальний алгоритм програми

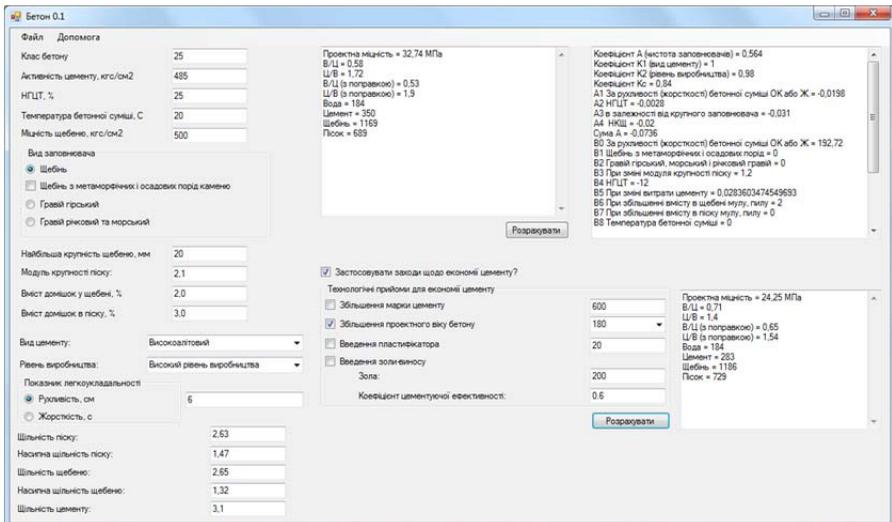


Рис. 2. Головне вікно

**Розроблено** автоматизовану систему, в алгоритм роботи якої закладений розроблений метод проектування складу бетону. Автоматизована система має розвинений графічний інтерфейс і всі необхідні сервіси для швидкого і зручного її використання.

1. Скрамтаев Б. Г. Способы определения состава бетона различных видов [Текст] / Б. Г. Скрамтаев, П. Ф. Шубенкин, Ю. М. Баженов. – М. : Стройиздат, 1966. – 159 с.
  2. Баженов Ю. М. Способы определения состава бетона различных видов [Текст] / Ю. М. Баженов. – М. : Стройиздат, 1975. – 272 с.
  3. Вознесенский В. А. Современные методы оптимизации композиционных материалов [Текст] / В. А. Вознесенский, В. Н. Выровой, В. Я. Керш и др.; под ред. В. А. Вознесенского. – К. : Будівельник, 1983. – 144 с.
  4. Сизов В. П. Рациональный подбор составов тяжелого бетона [Текст] / В. П. Сизов. – М. : Стройиздат, 1995. – 174 с.
  5. Дворкин Л. И. Проектирование составов бетона с заданными свойствами [Текст] / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. – Ровно : РГТУ, 1999. – 202 с.
  6. Файнер М. Ш. Новые закономерности в бетоноведении и их практическое приложение [Текст] / М. Ш. Файнер. – К. : Наукова думка, 2001. – 448 с.
  7. Коваль С. В. Бетоны, модифицированные добавками: моделирование и оптимизация [Текст] / С. В. Коваль // Строительные материалы. – 2004. – № 6. – С. 23–25.
  8. Баженов Ю. М. Основные подходы к компьютерному материаловедению строительных композиционных материалов [Текст] / Ю. М. Баженов, В. А. Воробьев, А. В. Илюхин // Строительные материалы. – Наука, 2006. – № 7. – С. 2–4.
- 

**Turbal Y. V., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Shakh A. K., 5<sup>th</sup> year Senior Student** (The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

#### **AUTOMATED SYSTEM OF CONCRETE MIXTURE COMPOSITION DESIGN**

**The possibility and feasibility of using automated systems to meet the challenges of designing and warehouse management of heavy concrete prefabricated structures are described. The concrete design features and essential requirements of concrete are mentioned. Description of software, user interface example and results of structure concrete calculation are given.**

**Keywords:** automated system, design of concrete, hard concrete.

---

**Турбал Ю. В., к.ф.-м.н., доцент, Шах А. К., студент 5 курса**  
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

#### **СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВА БЕТОННОЙ СМЕСИ**

**Рассматривается возможность и целесообразность использования автоматизированной системы для решения задач проектирования и управления составом тяжелого бетона для сборных конструкций. Приведено описание автоматизированной системы, пример интерфейса пользователя и результаты расчета состава бетона.**

**Ключевые слова:** автоматизированная система, проектирование состава бетона, тяжелый бетон.

**Зубик Л. В., старший викладач** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМИ НАДІЙНОСТІ ЗАСВОЄННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗНАТЬ СТУДЕНТАМИ ВНЗ**

**Розглянуто питання надійного засвоєння технічних знань як психологічної проблеми. На основі аналізу та узагальнення наукового доробку висвітлено погляди вітчизняних та зарубіжних психологів стосовно зазначеного питання. Встановлено, що науковці охарактеризували засвоєння знань як складну цілісну пізнавальну діяльність, що зумовлена сукупністю різноманітних факторів.**

**Ключові слова:** засвоєння знань, розумовий процес, мислення, пам'ять, розвиток.

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Навчальна діяльність студентів спрямована на засвоєння знань. Тут дидактика тісно пов'язана з психологією, яка вивчає психологічні закономірності взаємозв'язку процесів засвоєння знань і розвитку мислення. Засвоєння знань студентами та уміння навчатися, спонукає до формування практичних рекомендацій стосовно вдосконалення навчальних програм та використовуваних методів навчання.

Дослідження стосовно удосконалення технологій подання та контролю ефективності засвоєння знань студентами є актуальним, це показав аналіз з опрацювання наукового доробку ряду психологів: Д. Богоявленського, Л. Виготського, П. Гальперіна, Д. Ельконіна, Л. Занкова, Л. Інтельсона, П. Зінченко, Д. Леонтєва, Н. Менчинської, С. Рубінштейна, А. Смирнова та ін.

**Формулювання мети дослідження.** Проаналізувати та узагальнити погляди провідних вітчизняних та зарубіжних психологів щодо проблеми міцного засвоєння технічних знань студентами ВНЗ.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Аналіз наукових джерел із проблеми дослідження дозволяє стверджувати, що спостерігається тенденція розгляду проблеми міцності засвоєння знань у значно ширшому ракурсі, ніж у попередні роки. Досягнення високої міцності знань пов'язують не лише з пам'яттю, але й з активним мисленням людини, із наданням знанням суспільної або особистої значущості і, нарешті, перетворенням знань у способи діяльності, в уміння та навички. Міцне засвоєння знань є результатом активного та свідомого мислення сучасної людини.

Насправді, міцність знань поєднує в собі їх стійкість, тривалість збереження і одночасно постійну динаміку та оперативність. Міцні знання повинні піддаватися внутрішній переробці. Вони не можуть бути

нерухомими, застиглими. Визначення того, що міцність – це поєднання стійкого і рухомого, привело дослідників до думки про те, що міцні знання не можна розглядати лише як результат діяльності пам'яті, провідну роль у цьому відіграє мислення, яке взаємодіє з пам'яттю.

Особливо цінними, з огляду на досліджувану проблему, є ідеї психологів Н. Менчинської та Д. Богоявленського, які досліджували різні аспекти розвитку мислення у процесі засвоєння знань. Слід зазначити, поняття «засвоєння» розглядається психологами як пізнавальна діяльність, яка включає ряд психічних процесів: сприйняття, пам'ять, мислення [1].

Психологи підкреслюють, що при вивченні будь-якого матеріалу відбувається зміна трьох компонент:

- ✓ власне здобутих знань, тобто продукту (результату) сформованого у ході навчання,
- ✓ розумового процесу, за допомогою якого досягається той або інший результат,
- ✓ певних якостей розумової діяльності людини, які формуються поступово в її досвіді в умовах виховання і навчання [1].

Дослідження вченими якості засвоєння знань спрямоване, передусім, на вивчення явищ у розвитку, при цьому воно розкриває не тільки зміни структури самого знання (послідовний перехід від незнання до знання), але і зміни в розумових процесах, за допомогою яких ці знання здобуваються, а також з'ясовується ступінь і характер перебудови тих розумових прийомів, які використовуються особою, що навчається [1].

Своєрідність генетичного методу, застосованого в психології навчання, полягає у тому, що зміни, які відбуваються в процесі засвоєння нового матеріалу, досліджуються у двох напрямках:

- ✓ вивчається поступове ускладнення знань і способів оперування ними при переході до нового програмного матеріалу;
- ✓ розглядається спрощення способів оперування знаннями, яке спостерігається в результаті виконання вправ, проведених на одному і тому ж матеріалі [1].

Беручи за основу вихідне положення про те, що оптимальним може бути таке навчання, яке враховує особливості вже досягнутого розвитку, зауважимо, що навчання не тільки спирається на досягнутий рівень розвитку, але і веде його вперед, ставлячи для вирішення більш складні задачі, пов'язані зі зміною якостей розуму та вдосконаленням мотивації навчання.

Для розумового розвитку велике значення має накопичення фонду знань, який сформовано як складну, структуровану, динамічну систему, але цього недостатньо. Не менш важливо оволодіти тими розумовими операціями, які є спільною основою успішної дії людини у новій ситуації, при вирішенні різного роду пізнавальних завдань. Засвоєння знань і розвиток пізнавальних можливостей студентів – ось дві взаємопов'язані сторони одного і того ж самого процесу. Розглядаючи питання про їх співвідношення, психологи

Н. Менчинська та Д. Богоявленський підкреслюють, що про розумовий розвиток людини можна судити за характером засвоєння нею та відтворенням знань, оскільки в процесі засвоєння відбувається не тільки їх кількісне збільшення, але і якісна перебудова. Проте цим не вичерпується характеристика розумового розвитку. Велике значення для нього мають розумові операції, за допомогою яких набуваються знання. Міцно засвоїти будь-яке наукове поняття фактично означає сформулювати дане поняття в підсумку певної розумової роботи. Природно, що в процесі цієї роботи студент не тільки оволодіває сумою знань, але й удосконалює розумову діяльність. У ході навчання змінюються не тільки знання, тобто те, що відображується у свідомості, але і те як відбувається це відображення.

Висвітлюючи це питання, дослідники виходять за межі поняття засвоєння, зближуючи його з іншим, тісно пов'язаним з ним поняттям застосування знань. Дійсне засвоєння можливе тільки тоді, коли студент активно працював з навчальним матеріалом, та застосовував його у практичній діяльності. У процесі застосування знань не тільки розкриваються нові суттєві сторони фактів і явищ, не помічені раніше, але і виробляються прийоми розумової роботи, створюється власне уміння мислити [1].

Вченими Д. Ельконіним та В. Давидовим приділялося багато уваги пошуку шляхів для подолання розриву між навчальними програмами та рівнем засвоєння наукових знань. Також ними розглядалися вікові особливості засвоєння знань та їх зв'язок з структурою навчальних предметів. У своїх дослідженнях вони спиралися на теоретичні положення, сформульовані у 30-х роках минулого століття видатними психологами Л. Виготським та П. Блонським. Виокремлюючи положення про те, що розумовий розвиток людини у кінцевому рахунку визначається змістом засвоєваних нею знань, психологи проводили вивчення наявних інтелектуальних можливостей, насамперед, шляхом певної зміни усталеного переліку знань, які засвоюються. Програми шкіл того часу були матеріальним відображенням задач навчання та поглядів педагогів на процеси розумового розвитку.

Значний вплив на характер процесу міцного засвоєння має зміст навчального матеріалу, оскільки об'єктивні особливості змісту у значній мірі зумовлюють пізнавальні процеси та прийоми думки, необхідні для його адекватного запам'ятовування і розуміння [1].

Окремо проводилися дослідження, які вивчали вікові та індивідуальні особливості швидкості та міцності засвоєння знань та їх співвідношення у людини. Дослідження були спрямовані на з'ясування того, як змінюється з віком продуктивність запам'ятовування, об'єм матеріалу, швидкість здобування та тривалість зберігання вивченого у пам'яті.

Л. Виготський не зв'язував високу ефективність навчання із засобами навчання, а навпаки – надавав переважного значення змістові знань, що засвоюються, як фактору впливу на розумовий розвиток. Тим самим він

орієнтував педагогіку не стільки на розробку та застосування «ефективних засобів навчання», скільки на розв'язування проблеми формування змісту навчання (власне «засоби» є похідними від змісту) [2].

Підкреслимо, що різними психологами у різний час були здійснені спроби обґрунтування критеріїв ефективності засвоєння знань. Нині у більшості випадків оцінювання знань здійснюється за кінцевим результатом засвоєння – відтворенням знань. Точність і повнота відтворення отриманих матеріалу. Для оцінки знань застосовують ту чи іншу комбінацію з трьох наступних варіантів:

- ✓ просте відтворення знань;
- ✓ застосування умінь за зразком;
- ✓ оперування знаннями у новій нестандартній ситуації.

Однак, на думку психологів, така система критеріїв не враховує психологічну природу засвоєння, процес формування знань; приводить до відриву результативних характеристик знань від процесу їх придбання, що завжди носить особистісний характер. Виходячи з цього, дослідники підкреслюють, що система оцінювання та контролю ефективності засвоєння повинна спиратися на виявлення тих розумових дій, які студент виконує у ході засвоєння знань. Оцінка розумових операцій, які виконує студент у ході засвоєння та перетворення навчального матеріалу, дозволяє виявити не тільки знання, але і поточний рівень отриманого розумового розвитку студента.

**Висновки.** Таким чином, на основі аналізу теоретичного доробку вітчизняних та зарубіжних психологів можна зробити висновок, що формування міцного засвоєння знань являє собою складний багатофакторний процес. У межах даного дослідження нами розглянуто передумови вирішення проблеми удосконалення технологій подання та контролю ефективності засвоєння знань, які на сучасному етапі повинні бути реалізовані в контексті проблеми розвитку особистості у процесі навчання з врахуванням наявних у студента індивідуальних здібностей (у тому числі рівня здатності до навчання як передумови засвоєння знань). При організації навчального процесу слід приділяти належну увагу умовам та організації навчання, оскільки простежується чіткий зв'язок між змістом організації навчання та розвитком основних психологічних функцій (пам'яті, сприйняття, мовлення, мислення), а також між психічними новоутвореннями (плануванням, цілепокладанням, рефлексією, самоконтролем, самооцінкою) та умовами навчання, предметним змістом знань.

1. Богоявленский Д. Н. Психология усвоения знаний в школе / Д. Н. Богоявленский, Н. А. Менчинская. – М. : Изд-во Акад.пед.наук РСФСР, 1959. – 347 с.
2. Эльконин Д. Б. Возрастные возможности усвоения знаний / Д. Б. Эльконин, В. В. Давыдов. – М. : Педагогика, 1966. – 442 с.
3. Возрастные и индивидуальные различия памяти [Сб. статей]. / под ред. А. А. Смирнова. – М. : Просвещение, 1967. –

300 с. 4. Психологические критерии качества знаний школьников / Сборник научных трудов под ред. И. С. Якиманской. – М. : Изд. АПН СССР, 1990. – 142 с. 5. Психологические проблемы повышения качества обучения и воспитания / Сборник научных трудов. – М. : Изд. АПН СССР, 1984. – 174 с. 6. Эльконин Д. Б. Избранные педагогические труды / Под ред. В. В. Давыдова, В. П. Зинченко. – М. : Педагогика, 1989. – 554 с.

---

**Zubyk L. V., Senior Lecturer** (The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

### **STUDYING OF RELIABILITY PROBLEM OF MASTERING TECHNICAL KNOWLEDGE AMONG UNIVERSITY STUDENTS**

**The question of steady learning as a psychological problem is considered. Views of domestic and foreign psychologists concerning this issue are highlighted on the base of analysis and scientific results synthesis. It was found out that scientists consider learning as an integrated cognitive activity complex caused by a set of various factors.**

***Keywords:* learning, mental process, thinking, memory, development.**

---

**Зубик Л.В., старший преподаватель** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ НАДЕЖНОСТИ УСВОЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ СТУДЕНТАМИ ВУЗОВ**

**Рассмотрен вопрос прочного усвоения знаний как психологической проблемы. На основе анализа и обобщения научного наследия отражены взгляды отечественных и зарубежных психологов в отношении данного вопроса. Обозначено, что ученые охарактеризовали усвоение знаний как сложную целостную познавательную деятельность, которая обусловлена совокупностью различных факторов.**

***Ключевые слова:* усвоение знаний, мыслительный процесс, мышление, память, развитие.**

Реут Д. Т., асистент, Коваль А. О., студент 2 курсу ННІ АКOT  
(Національний університет водного господарства та природокористування,  
м. Рівне)

## **КЕРУВАННЯ ПРИВОДОМ КАМЕРИ ДЛЯ ВІДСТЕЖЕННЯ ОБЛИЧЧЯ**

**Розроблено систему відстеження обличчя людини, яка дозволяє автоматично відстежувати рух обличчя об'єкта в зоні дії камери та коректувати положення камери з метою утримання його в центрі кадру. *Ключові слова:* комп'ютерний зір, відстеження обличчя, керування камерою.**

Одним з важливих розділів комп'ютерного зору є трекінг обличчя людини. В цій галузі розроблена значна кількість алгоритмів розпізнавання, причому як науковцями, так і комерційними організаціями для своєї продукції [1; 2]. Розповсюдження набули 4 групи методів: методи, засновані на розпізнаванні образів (потребують створення бази образів в процесі навчання), методи, засновані на знаннях (пошук обличчя здійснюється за допомогою набору правил, які описують людське обличчя), методи, засновані на шаблонах (порівнюють зображення із шаблонами облич та їх частин), алгоритми пошуку інваріантних параметрів, що не залежать від кута зору або положення.

Для відстеження облич при відеозйомці конференцій, лекцій тощо може використовуватись керування приводом камери з метою утримання доповідача в центрі кадру. Оскільки відстеження потребує обчислювальних ресурсів, які можуть надати процесори ARM Cortex-A7 і вище, що значно збільшує вартість камери з сервоприводами та є одним з бар'єрів появи «розумних» камер у широкому продажі.

При проведенні презентацій, як правило, використовується достатньо продуктивний ПК або ноутбук, обчислювальна потужність якого дозволяє поряд з демонстрацією презентації виконувати відстеження обличчя. Тому існує можливість створення системи відстеження та утримання в центрі кадру обличчя, що складається з ПК, цифрової відеокамери та приводів повороту і нахилу камери. Завданням дослідження є розробка такої системи.

Апаратна частина розробленої системи включає USB-відеокамеру (з підтримкою UVC), ПК, плату на базі мікроконтролера ATmega328P, сервоприводи повороту і нахилу (рис. 1). Мікроконтролерна плата і камера під'єднані до ПК за допомогою USB, сервоприводи підключені до ШІМ-виходів плати та живляться від USB. Оскільки мікроконтролер ATmega 328P має лише UART, SPI, I2C інтерфейси, то для зв'язку з ПК використано USB-

UART перетворювач СН340. Сервоприводи в тримачі камери дозволяють незалежно змінювати її поворот та нахил.

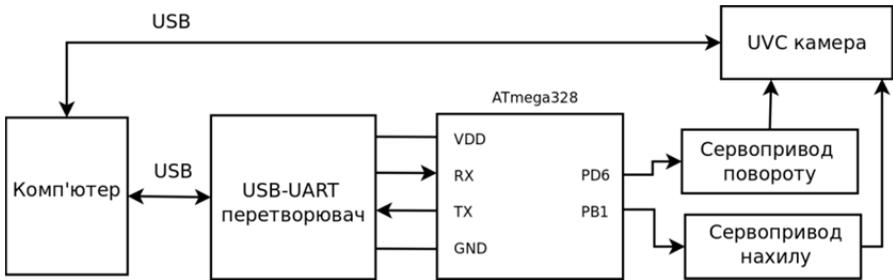


Рис. 1. Структурна схема системи відстеження обличчя

Програмна частина системи включає програму відстеження обличчя та обчислення сигналів керування на ПК і програму отримання сигналів керування та генерування ШІМ-сигналу на мікроконтролері.

Низькорівневі операції отримання кожного кадру відео забезпечуються драйвером UVC (USB video device class), доступ до відповідного файлу пристрою з прикладної програми на ПК виконується з використанням об'єкту 'capture' бібліотеки комп'ютерного зору OpenCV.

Програма організована у вигляді нескінченного циклу, причому одне виконання тіла циклу відповідає обробці одного кадру з камери. Перед переходом у нескінченний цикл створюється об'єкт cvCapture, що асоціюється з камерою, та налаштовується роздільна здатність і частота кадрів. На початку циклу відбувається зчитування кадру, виклик функції каскадного класифікатора, що здійснює пошук обличчя, обчислення різниці між поточними координатами центру обличчя і центром кадру, формування сигналів керування на сервоприводи за законом:

$$\Delta U_{\Delta x} = k(x_o - x_{ц.к.}),$$

$$\Delta U_{\Delta y} = k(y_o - y_{ц.к.}),$$

де  $U_{\Delta x}$  і  $U_{\Delta y}$  – сигнали керування на сервоприводі зміни положення камери;

$x_o$  і  $y_o$  – центр координати обличчя;

$x_{ц.к.}$  і  $y_{ц.к.}$  – центр кадру;

$k$  – коефіцієнт пропорційності П-регулятора положення камери.

Алгоритм роботи програми в мікроконтролера полягає у наступному: спочатку відбувається налаштування послідовного інтерфейсу та налаштовуються ШІМ-виходи, далі – перехід в нескінченний цикл, що очікує отримання байту з послідовного інтерфейсу, якщо старший біт байту рівний 1 – відбувається формування певного сигналу керування на сервоприводі нахилу, якщо 0 – формування певного сигналу керування на сервоприводі

повороту. Потім мікроконтролер повертається до отримання байт з послідовного інтерфейсу (рис. 2).

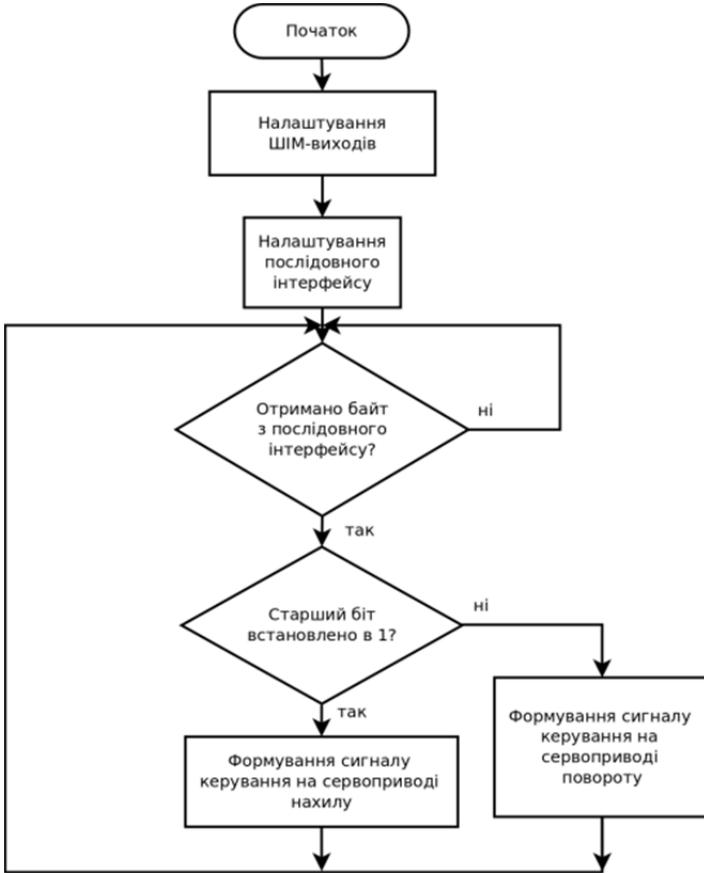


Рис. 2. Алгоритм роботи програми в мікроконтролері

Обчислене ПК положення сервоприводів передається через інтерфейс USB з використанням USB-UART перетворювача CH340 у мікроконтролер ATmega328P. Виконувана мікроконтролером програма, забезпечує визначення сервопривода, на який потрібно подати сигнал керування, його величину, та формування ШІМ-сигналу із заданою тривалістю імпульсу на сервопривод.

Для передачі сигналу керування використовується 8 біт даних: старший біт містить номер сервопривода, молодші 7 біт – значення сигналу керування на цей сервопривод від 0 до 127. В більшості випадків дискретизації

положення на 128 значень достатньо для позиціонування камери із задовільною точністю.

Розроблена система після встановлення достатнього рівня освітленості дозволила здійснювати відстеження обличчя людини на відео 320 × 240 пікселів (розмірів кадру обрано з метою зміщення обчислювального навантаження).

**Таким чином**, показано можливість створення пристрою, який дозволяє автоматично відслідковувати напрямок руху об'єкта в зоні дії камери та повертати камеру, щоб утримати об'єкт у полі зору. Перспективним продовженням досліджень в цьому напрямку є об'єднання в конструктивно єдиний пристрій камери та сервоприводів у кріпленні камери, для підключення якого достатньо одного USB порту.

1. Shi J. Good Features to Track / J. Shi, C. Tomasi. // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 1994. – С. 593–600. 2. Форсайт Д. Компьютерное зрение. Современный подход / Д. Форсайт, Д. Понс. – Москва : Издательский дом "Вильямс", 2004. – 928 с. 3. Евстифеев А. В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL. – Москва : Издательский дом "Додэка-XXI", 2007. – 592 с.

---

**Reut D. T., Senior Lecturer, Koval A. O., 2<sup>nd</sup> year Senior Student** (The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

## **FACE TRACKING CAMERA DRIVE CONTROL**

**Human face tracking system was developed which allows automatically track the direction of subject's face in the area of the camera.**

**Keywords:** algorithm, a video camera, Arduino Uno, OpenCV.

---

**Реут Д. Т., ассистент, Коваль А. О., студент 2 курса** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

## **УПРАВЛЕНИЕ ПРИВОДОМ КАМЕРЫ ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ЛИЦА**

**С помощью лабораторной установки проведено дистанционные исследования по отслеживанию лица человека через видеоканеру, которая позволяет автоматически отслеживать направление движения лица объекта в зоне действия камеры.**

**Ключевые слова:** алгоритм, видеоканера, Arduino Uno, OpenCV.

Соломко М. Т., к.т.н., доцент, Гончарук Л. Ю., студентка 4-го курсу ННІ АКОТ (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## **РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ РУХУ ПЕРСОНАЛУ ВИЩОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ**

**У статті проаналізовано основні питання процесу комп'ютерної системи моніторингу персоналу, програмне забезпечення системи та її технічна частина.**

**Ключові слова:** система, моніторинг, персонал, програмне забезпечення.

**Моніторинг** – комплекс технічних засобів, які забезпечують систематичний контроль за рухом персоналу.

Система контролю доступу PERCo - S - 20 призначена для захисту від проникнення сторонніх осіб на територію підприємства, розмежування доступу співробітників усередині організації, забезпечення трудової дисципліни, автоматизації обліку робочого часу. В якості ідентифікаторів використовуються безконтактні карти, а в якості виконавчих пристроїв в системі можуть використовуватися турнікети, хвіртки, електромагнітні і електромеханічні замки.

Система контролю доступу S - 20 дозволяє розмежувати доступ:

- за об'єктами – доступ власникам карт дозволяється тільки в певні приміщення організації.
- за часом – доступ в кожне з приміщень дозволяється по певному тимчасовому графіку.
- за статусом – наприклад: карта співробітника або відвідувача, дозволена, або заборонена постановка/зняття приміщення на охорону і т. д.

### **Локальне програмне забезпечення з відеоідентифікацією**

#### **PERCo - S-02**

Локальне програмне забезпечення PERCo -SL02 є розрахованим на одного користувача і призначене для організації контролю доступу за принципом дозвіл/заборона через одну точку проходу з підтвердженням в режимі відеоідентифікації.

Функції режиму «Відеоідентифікація»:

- введення даних про співробітників (ПІБ);
- видача карт доступу;
- призначення прав доступу (дозвіл/заборона);
- перегляд списку подій, пов'язаних з конкретним співробітником, за певний період часу;

- реєстрація подій у файлі бази даних з можливістю експорту даних у файл (наприклад, Excel).

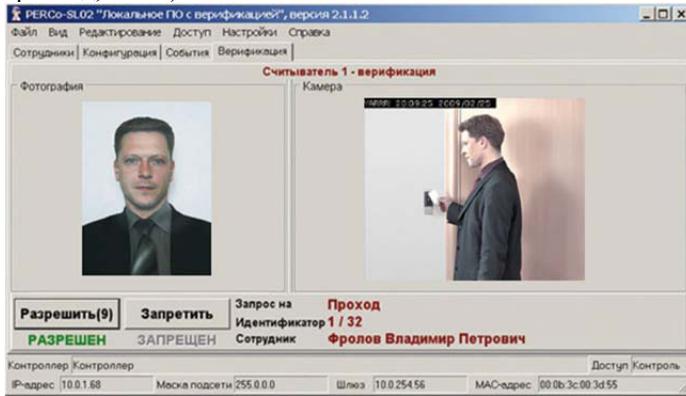


Рис. 1. Режим «Відеоідентифікація PERCo - SL02»

### Модуль програмного забезпечення «Центральний пункт» PERCo-S-02

Мережевий модуль PERCo-SM13 "Центральний пункт" встановлюється на робоче місце співробітника служби безпеки і дозволяє вести централізоване спостереження за станом об'єкту.

Розділ "Центральний пункт" забезпечує:

- відображення інформації про стан об'єктів на графічних планах організації і в табличному виді;
- відображення зображення з камер відеоспостереження;
- при виникненні тривожної ситуації автоматичне відображення інформації з камер відеоспостереження і мнемосхеми приміщення, де сталася тривожна подія, з вказівкою точного місця виникнення тривоги.

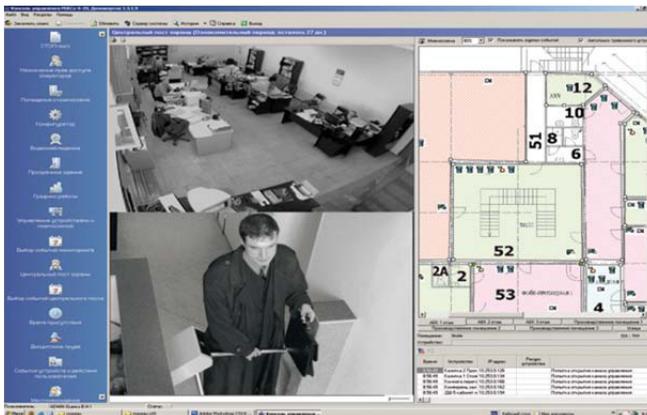


Рис. 2. Модуль «Центральний пункт» PERCo-SM01

## ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

У якості центрального комутатора пропонується використовувати комутатор Dell Power Connect.



Рис. 3. Комутатор PowerConnect 6224F

Комутатор PowerConnect 6224F – це один з новітніх комутаторів корпорації Dell, що володіє одночасно вдосконаленими базовими комутаційними можливостями і підтримкою підключення усіх оптоволоконних магістралей для мережевої магістралі малих і середніх підприємств, або з'єднання телекомунікацій. Цей комутатор Gigabit Ethernet третього рівня з 24 портами передбачає можливість об'єднання в стек і забезпечує додаткові лінії зв'язку 10 Gigabit Ethernet, а також підтримує останню версію Інтернет-протоколу, надаючи широкі можливості масштабування.

У якості комутатора доступу пропонується використовувати комутатор Edge-Core ES3528M.



Рис. 4. Комутатор Edge-Core ES3528M

Комутатор Edge-Core ES3528M рівня L2/L4 з можливістю об'єднання в стек і підтримкою 28 портів, з яких 24 порти 10/100RJ-45, 4 комбо порти Gigabit Ethernet (RJ-45/SFP). Головною особливістю цього комутатора є широкий набір функцій, створених спеціально для його використання в якості комутатора доступу в Metro Ethernet мережах сервіс провайдерів.

## Електронна прохідна з карто приймачем



Рис. 6. Електронна прохідна з карто приймачем PERCo-KTC01

Електронна прохідна PERCo - KTC01 – повнофункціональне рішення для організації проходів співробітників і відвідувачів у бізнес-центрах, установах, навчальних закладах, на підприємствах і т. д. До складу електронної прохідної KTC01 входить турнікет зі вбудованими картоприймачем на 350 безконтактних карт доступу, контролером доступу і двома зчитувачами безконтактних карт, пульт дистанційного керування. Електронна прохідна працює з програмним забезпеченням PERCo - S - 20.

### **Доступ співробітників**

Співробітники на вході і на виході пред'являють безконтактні карти доступу зчитувачам, розміщеним під радіопрозорими кришками на стійці турнікета, карти при цьому завжди залишаються у них.

### **Доступ відвідувачів**

Відвідувачі у Бюро пропусків отримують тимчасові пропуски – безконтактні карти доступу, що мають статус "Відвідувач". Вхід здійснюється після пред'явлення перепустки зчитувачу в турнікеті, а вихід – після опускання карти доступу в щілину, що підсвічується, на кришці вбудованого картоприймача. Поки карта не опущена, турнікет не буде розблокований для проходу.

### **Фіксовані мережеві камери**

AXIS 207 – найменша IP-камера компанії AXIS Communications з форматом MPEG-4. Вона підключається до мережі через інтерфейс RJ-45 і здійснює одночасну передачу аудіо інформації і відео потоків у форматах MJPEG і MPEG-4 зі швидкістю до 30 к/с при роздільній здатності кадру до 640x480 пікселів.

**Отже**, система виконує функцію моніторингу руху персоналу.

При виконанні статті було проаналізовано поставлене завдання. На основі первинного аналізу задачі визначено схему подальшої розробки системи.

Проведене обґрунтування та опис вибору пристроїв керування. Маючи повне уявлення про задачі, які повинно виконувати система керування та методи їхнього вирішення, почалась стадія безпосередньої реалізації пристрою.

1. Администрирование сети на основе Microsoft Windows 2000. Учебный курс MCSE». – Москва : Русская редакция, 2000. 2. Microsoft Corporation Компьютерные сети. Энциклопедия пользователя. Пер. с англ.: – К. : ДиаСофт 1998. 3. <http://www.perco.ru/> – Офіційний сайт компанії PERCO.

---

**Solomko M. T., Candidate of Engineering, Associate Professor,**  
**Honcharuk L. Y., 4<sup>th</sup> year Senior Student** (The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

## **DEVELOPMENT OF PERSONNEL COMPUTER MONITORING SYSTEM IN HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTION**

**The article analyzes the main process issues of computer system personnel monitoring, software system and its technical parts.**

***Keywords:* system monitoring, personnel, software.**

---

**Соломко М. Т., к.т.н., доцент, Гончарук Л. Ю., студентка 4 курса**  
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования,  
г. Ровно)

## **РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ДВИЖЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ВЫСШЕГО УЧЕБНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ**

**В статье проанализированы основные вопросы процесса компьютерной системы мониторинга персонала, программное обеспечение системы и ее техническая часть.**

***Ключевые слова:* система, мониторинг, персонал.**

**Круліковський Б. Б., к.т.н, доцент, Дераженко В. В., студент 4 курсу ННІ АКОТ (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)**

## **РОЗРОБКА ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ КОМП'ЮТЕРНОГО КЛАСУ № 128 КАФЕДРИ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ**

**У статті проаналізовано основні питання розробки локальної обчислювальної мережі.**

**Ключові слова:** топологія, локальна мережа, Ethernet, програмне забезпечення, мережеве вирішення.

В загальному випадку мережею можна назвати об'єднання деякої кількості комп'ютерів до єдиного каналу передачі даних за допомогою фізичного з'єднання. Персональні комп'ютери, об'єднані в мережу мають ряд переваг над окремими робочими станціями, що не мають доступу до мережі. До таких переваг належать:

- Розподіл даних: розподіл даних надає можливість доступу і керування базами даних з периферійних робочих місць, які потребують інформацію.
- Розподіл програмних засобів: розподіл програмних засобів надає можливість одночасного використання централізованих, раніше встановлених програмних засобів декількома комп'ютерами одночасно.
- Розподіл ресурсів процесора: при розподілі ресурсів процесора можливе використання входять у мережу. Ця можливість полягає в тому, що наявні обчислювальних потужностей для обробки даних іншими системами, що ресурси не "накидаються" моментально, а тільки лише через спеціальний процесор, доступний для кожної робочої станції.

Режим багатьох користувачів: пристрої системи сприяють одночасному використанню централізованих прикладних програмних засобів, раніше встановлених і керованих, наприклад, якщо користувач системи працює з іншим завданням, то поточна робота відсувається на задній план.

Комп'ютерна мережа – це система розподіленої обробки інформації між комп'ютерами за допомогою засобів зв'язку.

### **Розробка мережі**

Для розробки та впровадження комп'ютерної мережі необхідно розв'язати наступні завдання:

1. обґрунтувати вибір мережної топології та архітектури для комп'ютерної мережі;
2. вибрати конфігурацію мережного устаткування (структурована кабельна система, кількість серверів, концентраторів, мережних принтерів,

тип кабельної системи, додаткове устаткування);

3. розробити план-схему локально-обчислювальної мережі (ЛОМ) з позначенням всіх її елементів;

4. провести розрахунок грошових витрат на створення ЛОМ відповідно до реальних прайс-листів.

Архітектуру мережі, у якій усі вузли мережі сполучені з одним центральним вузлом, називають топологією зірки.

Мережа з топологією зірки – одна з найпоширеніших структур передавання. У мережах такого типу один пристрій (Switch), як правило, відповідає за маршрутизацію трафіка через себе до інших компонентів, а також відповідає за локалізацію неполадок.

До позитивних властивостей мережі з топологією зірки можна віднести таке:

- легкість керування;
- достатньо просте програмне забезпечення;
- простий потік трафіка;
- можливість швидкого пошуку неполадок;
- відносну простоту та незначні витрати при потребі нарощування мережі.

### **Мережеве обладнання**

Мережеве обладнання – пристрої, необхідні для роботи комп'ютерної мережі, наприклад: маршрутизатор, комутатор, концентратор, патч-панель та ін. Зазвичай розрізняють активне та пасивне мережеве обладнання.

Мережевий комутатор – пристрій, призначений для з'єднання декількох вузлів комп'ютерної мережі в межах одного сегмента.

На відміну від концентратора, що поширює трафік від одного під'єданого пристрою до всіх інших, комутатор передає дані лише безпосередньо отримувачу.

Це підвищує продуктивність і безпеку мережі, рятуючи інші сегменти мережі від необхідності (і можливості) обробляти дані, які їм не призначалися.



Рис 1. Комутатор TP-LINK TL-SG1024D

## Робочі характеристики

Робочі характеристики	
Switching Capacity	48Gbps
Таблиця MAC адрес	8K
Скорість передачі пакетов	35.7Mpps
Jumbo-кадр	10KB
Green Technology	Innovative energy-efficient technology saves power up to 25%
Transfer Method	Store-and-Forward

В мережі використовується кабель типу «Скручена пара».

Цей тип кабелю є найдешевшим і найпоширенішим. Максимальна відстань передавання у ньому 1,5-2,0 км, максимальна швидкість – 1,2 Гбіт/с. має гірший, ніж у коаксіальному кабелі, захист від завад. Тривалість поширення сигналу 8-12 нс/м. Термін експлуатації – 2-6 років. Сьогодні скручена пара є головним середовищем передаванням у локальних мережах.

Розрізняють декілька типів скручених пар: неекрановану – вона найдешевша, однак під час експлуатації виникають проблеми з ЕМІ.

### Мережевий адаптер

Мережевий адаптер (Network Interface Card (або Controller), NIC) разом зі своїм драйвером реалізує другий, каналний рівень моделі відкритих систем (OSI) в кінцевому вузлі мережі – комп'ютері. Більш точно, у мережній операційній системі пара адаптер і драйвер виконує тільки функції фізичного й MAC-рівнів, у той час як LLC-рівень звичайно реалізується модулем операційної системи, єдиним для всіх драйверів і мережевих адаптерів. Власне так воно і повинно бути згідно з моделлю стека протоколів IEEE 802. Наприклад, в ОС Windows NT рівень LLC реалізується в модулі NDIS, загальному для всіх драйверів мережевих адаптерів, незалежно від того, яку технологію підтримує драйвер.



Рис. 2. Мережевий адаптер TP-LINK TF-3239DL

Особливості:

- Підтримка напів- і повнодуплексного режимів.
- Підтримка IEEE 802.3x flow control в повнодуплексном режимі.
- Іде в комплекті з програмою діагностики.
- Світлодіодний індикатор для відображення вмісту з'єднання та його активності.
- Драйвери для DOS/Win98se/Me/2000/XP/2003/Vista/7, Unix, Linux, Novell Netware.

Таблиця 2

Апаратне забезпечення

Апаратне забезпечення	
Стандартні протоколи	IEEE 802.3, 802.3u, 802.3x CSMA/CD, TCP/IP, PCI версій 2.1/2.2
Інтерфейс	32-біт PCI 1 10/100 Мбіт/с RJ45 порт
Швидкість передачі даних	10/100 Мбіт/с для напівдуплексного режиму 20/200 Мбіт/с для повнодуплексного режиму
Світлодіодні індикаторі	З'єднання/Активність
Контроль потоку	Курування потоком IEEE 802.3x (в повнодуплексном режимі)

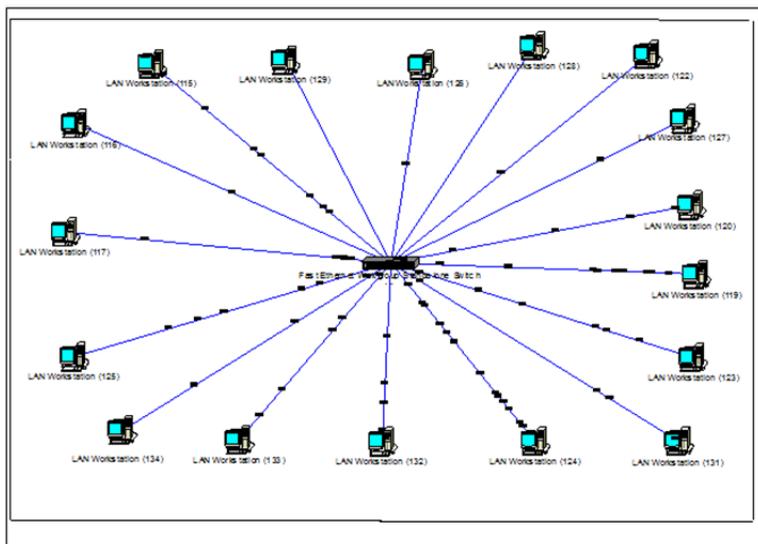


Рис. 3. Змодельована мережа

## **Моделювання розробленої мережі**

Програмні засоби NetCracker дозволяють виконати збір відповідних даних про існуючу мережу без зупину її роботи, створити проект цієї мережі і виконати необхідні експерименти для визначення граничних характеристик, можливості розширення, зміни топології і модифікації мережного обладнання з метою подальшого її вдосконалення і розвитку.

Отже, дана мережа гарантує безперерйну роботу, підтримує сучасні апаратні реалізації, використовує сучасне обладнання, може розширюватись або скорочуватись відносно поставлених вимог.

1. Хаусли Т. Системы передачи и телеобработки данных / Т. Хаусли. – М. : Радио и связь, 1994. – 297 с. 2. Халсалл Ф. Передача данных, сети компьютеров и взаимосвязь открытых систем / Ф. Халсалл. – М. : Радио и св., 1995. – 354 с. 3. Шатт С. Мир компьютерных сетей / С. Шатт – К. : ВНУ, 1996. – 314 с. 4. Клименко О. Ф. “Информатика та комп’ютерна техніка” / О. Ф. Клименко // Навчальний посібник – К. : КНЕУ, 2002.

---

**Krulikovskyi B. B., Candidate of Engineering, Associate Professor,  
Derazhenko V. V., 4<sup>th</sup> year Senior Student** (The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

## **COMPUTER NETWORKS DEVELOPMENT IN ROOM № 128 OF COMPUTER SCIENCE DEPARTMENT**

**The article analyzes the main issues of computer networks development.  
Keywords: topology, LAN, Ethernet, software, network solutions.**

---

**Круликовский Б. Б., к.т.н., доцент, Дераженко В. В., студент 4 курса**  
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования,  
г. Ровно)

## **РАЗРАБОТКА ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ КОМПЬЮТЕРНОГО КЛАССА № 128 КАФЕДРЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

**В статье проанализированы основные вопросы разработки локальной  
вычислительной сети.  
Ключевые слова: топология, локальная сеть, Ethernet, программное  
обеспечение, сетевое решение.**

Соломко М. Т., к.т.н, доцент, Крохмаль Д. А., студент 4 курсу ННІ АКОТ (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## РОЗРОБКА ЛОКАЛЬНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ВІДДІЛЕННЯ ОЩАДБАНКУ В МІСТІ НОВОГРАД-ВОЛИНСЬКУ

У статті проаналізовано основні питання розробки локальної обчислювальної мережі.

**Ключові слова:** топологія, локальна мережа, Ethernet, UNIX, сервер, програмного забезпечення, мережевого вирішення.

**Комп'ютерна мережа** – сукупність взаємопов'язаних (через канали передачі даних) комп'ютерів, які забезпечують користувачів засобами обміну інформацією і колективного використання ресурсів: апаратних; програмних; інформаційних.

Актуальність цієї розробки полягає в тому, що швидка й безперебійна обробка значних потоків інформації є одним з головних завдань будь-якої великої фінансової організації. Відповідно до цього очевидна необхідність володіння обчислювальною мережею, що дозволяє обробляти всі зростаючі інформаційні потоки. У принципі майже всі завдання, які виникають у ході роботи банку досить легко піддаються автоматизації. Швидка й безперебійна обробка значних потоків інформації є одним з головних завдань будь-якої великої фінансової організації.

**Аналіз задачі, яка розв'язується з використанням інформаційної системи:**

Відповідно головним видом і профілем діяльності є фінансові операції, тобто обслуговувати клієнтів в кредитних і депозитних сферах, операції на ринку цінних паперів, операції на ринку цінних металів, операції на ринку нерухомості, операції по перерахунку готівки. Також для забезпечення повної роботи банку потрібні департамент безпеки, департамент інформаційних технологій, юридичний департамент, вести певні фінансові розрахунки про діяльність банку (Управління податкового обліку), оформлювати бухгалтерські звіти (Департамент бухгалтерського обліку), директор який керує роботою банку.

Основними задачами, які потрібно вирішувати за допомогою інформаційних технологій в банківській сфері є:

- Безпечна передача інформації.
- Надійне зберігання і дублювання інформації.
- Зв'язок між департаментами і управліннями банку.
- Виконання необхідних обрахунків.

- Архівування інформації і її збереження.
- Виконання фінансових операцій.

Побудова комп'ютерної мережі для банків має свою специфіку, тому що інформація, яка містить дані про певні фінансові операції, які проводить банк, і є розміщеною в середині мережі, ні в якому випадку не повинна потрапляти в загальне користування, щоб унеможливити пограбування, фінансові махінації, злому банківської системи.

### **Мережеві інформаційні системи та технології в системах сучасних банківських установ:**

Розглянемо характеристики окремих таких систем.

Microsoft Windows NT Advanced Server – ОС для мереж середніх масштабів, що ґрунтується на доменній структурі. Домен – це набір, який може містити до 10 000 об'єктів (комп'ютери, користувачі, групи користувачів, файлові об'єкти, принтери).

Novell Net Ware – ОС, що ґрунтується на службі каталогів (NDS) і є глобальною базою для всіх мережних ресурсів, які, в свою чергу, організуються у вигляді багаторівневої ієрархії.

UNIX – гнучка, стабільна, захищена ОС для великомасштабних ЛОМ, що має систему серверів, призначену для роботи багатьох користувачів.

Основні топології:

- топологія «кільце»;
- топологією «зірка»;
- топологією «спільна шина».

### **Вибір компонентів комп'ютерної мережі:**

Файловий сервер – це виділений сервер, оптимізований для виконання файлових операцій введення-виводу. Призначений для зберігання файлів будь-якого типу. Для підвищення надійності зберігання даних, обладнаний RAID контроллером для забезпечення надійності збереження даних. Для зберігання великих документів, що виникають в процесі діяльності (звіти, угоди, номери рахунків, накази) необхідний файл сервер. При чому обсяги інформації, що будуть зберігатися будуть досить великими і тому для цієї реалізації було запропоновано використати окремий сервер з операційною системою Novell Netware.

Як правило, в роботі банків притаманна велика кількість роботи з різноманітними документами, тому присутня велика кількість поштової інформації. Особливо важливим це є для бухгалтерів і департаменту податкового обліку, адже через пошту можна подавати фінансову звітність. Для зберігання великої кількості поточної інформації і генерації на основі неї денних звітів необхідний сервер з базою даних, СУБД може бути розміщений на файл-сервері, оскільки інформація в БД і файли на сервері будуть тісно пов'язані. Крім того кожен день поточна база буде архівуватися і зберігатися на тому ж файл-сервері.

Сучасна СУБД повинна відповідати цілому ряду вимог, найважливіша серед яких – високопродуктивний інтелектуальний сервер бази даних. "Клієнт-сервер" – це модель взаємодії комп'ютерів в мережі. В данному випадку клієнтами проєктованої мережі будуть працівники різних служб, департаментів і управлінь, які входять в структуру банку.

Кожний підрозділ має своє окреме приміщення або декілька приміщень, в яких розташовані робочі місця працівників. Даний проєкт є також складний тим, що з розширенням клієнтів банку відповідно розширюється персонал банку щоб якісно і швидко обслуговувати всіх клієнтів.

В нашому випадку для кращої захищеності сервера від несанкціонованого доступу будемо використовувати ОС Unix (FreeBSD). ОС Unix зарекомендувала себе як дуже надійна ОС, тобто система, яка найменш схильна до збоїв.

Підсистема безпеки даних – це комплекс засобів, що реалізують захист даних від можливого спотворення та втрати. В ОС Novell Netware визначено три групи джерел втрат даних: апаратні збої і помилки програмного забезпечення та несанкціонований доступ. Ці проблеми вирішуються наступним чином:

- для забезпечення надійності збереження інформації ми пропонуємо дзеркальний RAID-масив. Дзеркальний RAID-масив використовує масив дзеркальних дисків, коли дані одночасно записуються на два і більше дисків. Таким чином забезпечується висока надійність.
- всі папки для таблиць зберігаються в двох екземплярах.
- використовується доменна архітектурна пам'яті для того, щоб уникнути помилок програмного забезпечення.

Найкращою операційною системою для клієнтів є ОС Windows.

Для реалізації інших сервісів встановимо на сервер наступне програмне забезпечення:

SAMBA – програма, яка реалізує файловий сервіс.

Для кожного з клієнтів потрібне офісне ліцензійне програмне забезпечення. В даному випадку найкраще обрати Microsoft Office 2007.

Оскільки на два комп'ютери було поставлено операційну систему Linux, то потреба в ліцензійному програмному забезпеченні відпадає, адже можна встановити вільне програмне забезпечення KOffice або OpenOffice.

Adobe Acrobat – це дуже популярна програма для роботи з документацією і необхідний інструмент для універсального обміну документами. Формат документа (PDF) – стандартний цифровий формат файлу, що фіксує і зберігає перегляд. Включає текстові анотації, штампи, інструмент олівця, підкреслення, і підсвічування, для безпаперових PDF позначок. Acrobat дозволяє переглядати, керувати, і друкувати PDF файли, компактний розмір файлу PDF робить це ідеалом для електронного пересилання.

В банкові велику роль відіграє безпека інформації, в тому числі і забезпечення безпеки від вірусних атак, тому необхідно встановити

антивірусну програму, яка б швидко і якісно шукала віруси і нейтралізувала їх, в специфіка роботи таких програм передбачає постійний перегляд пам'яті та постійний перегляд вхідної інформації, тому потрібно вибрати такий антивірус який є найпростішим в використанні і ефективним в роботі але щоб використовував мінімум системних ресурсів. Тому було вибрано антивірусну програму NOD 32, яка є дуже популярною і сильною в плані знаходження і нейтралізації вірусів.

Програма повністю може бути настроєна на будь-які зміни законів і форми звітів. Тому ІС:Бухгалтерія успішно використовується на найрізноманітніших підприємствах, у бюджетних закладах, на заводах, фабриках, у міністерствах, банках.

Мережа з топологією зірки – одна з найпоширеніших структур передавання. У мережах такого типу один пристрій (Switch), як правило, відповідає за маршрутизацію трафіка через себе до інших компонентів, а також відповідає за локалізацію несправностей.

До позитивних властивостей мережі з топологією зірки можна віднести таке:

- легкість керування;
- достатньо просте програмне забезпечення;
- простий потік трафіка;
- можливість швидкого пошуку несправностей;
- відносну простоту та незначні витрати при потребі нарощування мережі.

### План розробленої мережі

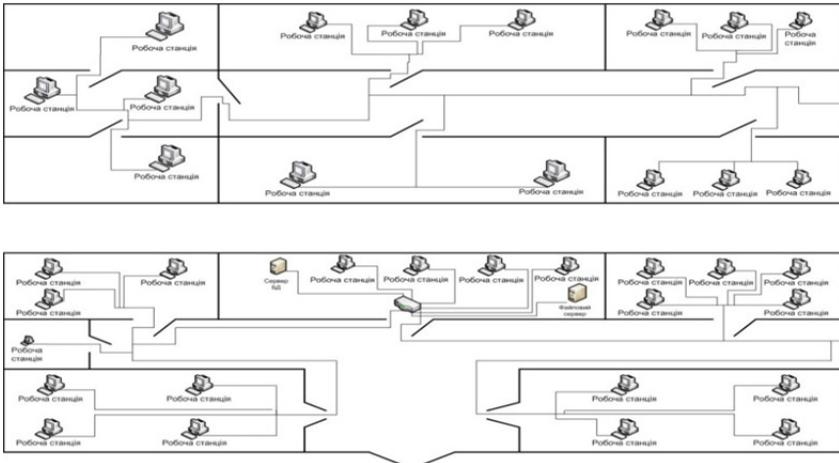


Рис. 1. Схема розробленої обчислювальної мережі

## **Моделювання розробленої мережі**

Програмні засоби NetCracker дозволяють виконати збір відповідних даних про існуючу мережу без зупину її роботи, створити проект цієї мережі і виконати необхідні експерименти для визначення граничних характеристик, можливості розширення, зміни топології і модифікації мережного обладнання з метою подальшого її вдосконалення і розвитку.

**Отже,** дана мережа є мережею, яка гарантує безперебійну роботу, підтримує сучасні програмні та апаратні реалізації, використовує сучасне обладнання, може розширюватись або скорочуватись відносно поставлених вимог.

1. Буров Є. Комп'ютерні мережі / Є. Буров. – Львів : БАК, 1999 – 468 с. 2. Основы современных компьютерных технологий / Под ред. А. Д. Хомоненко. – СПб. : Корона, 1998. – 448 с. 3. Локальные вычислительные сети. Принципы построения, архитектура, коммуникационные средства / Под ред. С. В. Назарова. – М. : Фин. и стат., 1994. – 400 с.

---

**Solomko M. T., Candidate of Engineering, Associate Professor,  
Krokhmal D. A., 4<sup>th</sup> year Senior Student** (The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

## **COMPUTER NETWORKS DEVELOPMENT OF SBERBANK IN NOVOGRAD-VOLYNSK**

**The article analyzes the main issues of computer networks development.**

**Keywords:** topology, LAN, Ethernet , UNIX, server , software , network solutions.

---

**Соломко М. Т., к.т.н., доцент, Крохмаль Д. А., студент 4 курса**  
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования,  
г. Ровно)

## **РАЗРАБОТКА ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ОТДЕЛЕНИЯ ОЩАДБАНКА В ГОРОДЕ НОВОГРАД-ВОЛЫНСКИЙ**

**В статье проанализировано основные вопросы разработки локальной вычислительной сети.**

**Ключевые слова:** топология, локальная сеть, Ethernet, UNIX, сервер, программное обеспечение, сетевое решение.

**Николайчук Я. М., д.т.н, професор, Федорчук О. М., студент 4 курсу ННІ АКОТ (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)**

## **РОЗРОБКА ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ В МІСТІ ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ**

**У статті проаналізовано основні питання розробки обчислювальної мережі.**

**Ключові слова:** топологія, технологія, VPN, DNS, DHCP, SMPT, кабельна система.

**Обчислювальна мережа** являє собою обчислювальний комплекс, що включає територіально-розподілену систему комп'ютерів та їх терміналів, з'єднаних у єдину систему.

Актуальність цієї розробки полягає в тому, що при виході на зовнішні ринки виробник спостерігає велику конкуренцію як з боку місцевих підприємств, так і інших зарубіжних фірм. Відповідно виробник має знати, яким чином можна досягти необхідного результату на ринку, як просуватиметься його продукція та обробляється величезний потік інформації.

Входження України в світовий інформаційний простір тягне за собою найширше використання новітніх інформаційних технологій, і в першу чергу, комп'ютерних мереж. При цьому різко зростають і якісно видозмінюються можливості користувача як у справі надання послуг своїм клієнтам, так і при вирішенні власних організаційно-економічних завдань. Доречно зазначити, що сучасні комп'ютерні мережі є системою, можливості та характеристики якої в цілому істотно перевищують відповідні показники простої суми складових елементів мережі персональних комп'ютерів при відсутності взаємодії між ними.

### **Вибір топології:**

При організації комп'ютерної мережі дуже важливим є вибір топології, тобто компонування мережевого обладнання і кабельної інфраструктури. Потрібно обрати таку топологію, яка забезпечила б надійну й ефективну роботу мережі, зручне керування потоками мережевих даних. Бажано також, щоб мережа за вартістю створення й супроводу вийшла недорогою, але в той же час, залишалися можливості для її подальшого розширення, також бажано, щоб залишилися можливості для переходу до більш швидкісних технологій зв'язку.

Існують три базові топології, на основі яких будується переважна більшість мереж: шина, зірка, кільце.

Переваги мереж топології “зірка ” на відміну від кільця та шини:

1) Надійність – підключення до центрального концентратора й відключення комп’ютерів від нього ніяк не відображується на роботі іншої частини мережі; обриви кабелю впливають тільки на комп’ютери, які ним з’єднані; термінатори не потрібні.

2) Легкість при обслуговуванні й усуненні проблем – усі комп’ютери й мережеві пристрої підключаються до центрального з’єднаного пристрою, що суттєво спрощує обслуговування й ремонт мережі.

3) Захищеність – концентрація точок підключення в одному місці дозволяє легко обмежити доступ до життєво важливих об’єктів мережі.

Виходячи з даної інформації та підсумувавши плюси та мінуси, а також врахувавши наші пріоритети можна зробити висновки, що найкраще нам підходить для побудови мережі топологія “Зірка”.

### **Наступним кроком є вибір мережевої технології:**

Вибір технології Fast Ethernet добре підходить для побудови мережі в даній структурі так як вона підтримує працює на високій швидкості та підтримує топологію “Зірка”. Швидкість передачі даних в ній являє 100 Мбіт що є достатньою.

Мережева технологія – це погоджений набір стандартних протоколів та програмно-апаратних засобів що їх реалізують, достатній для побудови локальної обчислювальної мережі.

### **Кабельна система:**

Правильний підхід до створення локальної мережі передбачає вибір на початковому етапі кабельну систему.

При виборі кабелю треба враховувати в першу чергу необхідну довжину, а також захищеність від зовнішніх перешкод і рівень власних випромінювань. Для побудови локальних мереж використовують наступні кабелі: коаксіальний, вита пара та оптоволоконний.

В розробленій мною мережі буде доцільно використати екрановану виту пару 1 категорії.

Екранована вита пара (shielded twisted-pair – STP). Кабель на основі екранованої вити пари поєднує в собі методи екранування й скручування дротів. Призначений для використання в мережах передачі даних і правильно прокладений STP-кабель у порівнянні з UTP-кабелем має більшу стійкість до електромагнітних і радіочастотних перешкод без істотного збільшення ваги або розміру кабелю.

Екранована кручена пара STP Type 1:

Екранована кручена пара (Shielded Twisted Pair, STP) добре захищає сигнали від зовнішніх випромінювань, а також знижує втрати потужності в кабелі у вигляді випромінювання.

Вибір обладнання (Рівень стандартизації та його сумісне обладнання, швидкість передачі даних 100 Мбіт,)

### Програмне забезпечення:

В якості операційної системи сервера мережі використовується Windows Server 2008.

Було проведено налаштування таких служб:

- 1) VPN (Virtual Private Network) – віртуальна приватна мережа;
- 2) DNS (Domain Name System, DNS) – доменна система імен;
- 3) DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) – протокол динамічної конфігурації вузла;
- 4) FTP-сервер – файловий сервер передачі даних, який забезпечує зберігання та обмін інформації в мережі;
- 5) SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) – простий протокол пересилання пошти;
- 6) Print сервер – для спільного використання принтера усіма членами мережі, щоб зменшити витрати на закупівлю кожному користувачу принтера.

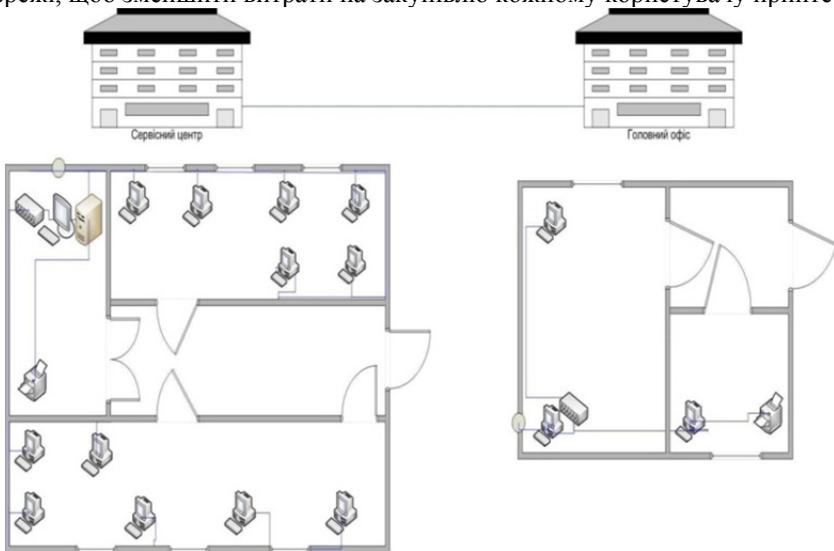


Рис. 1. Схема розробленої обчислювальної мережі

**Отже**, підбивши підсумки по попередніх даних можна сказати, що дана корпоративна мережа буде побудована на основі локальної мережі зіркової топології з використанням архітектури Fast Ethernet. В якості передавального середовища буде використано екранована кручена пара STP Type 1 та в якості програмного засобу налаштування та керування мережею буде використано ОС Windows Server 2008.

В результаті виконання даної роботи було розроблено комп'ютерну мережу для ФОП Головня В. О., що відповідає поставленим потребам користувачів мережі, які знаходяться в сервісному центрі та в віддаленому головному офісі, який розміщений на відстані 3 км.

1. Буров С. Комп'ютерні мережі / За ред. В. Пасічника. – 2-е вид. оновл. і доп. – Львів : БАК, 2003. – 584 с. 2. Новиков Ю. В. Локальные сети: архитектура, алгоритмы, проектирование / Ю. В. Новиков, С. В. Кондратенко – Москва : ЭКОМ, 2000. – 312 с.

---

**Nykolaichuk Y. M., Doctor of Engineering, Professor, Fedorchuk O. M., 4<sup>th</sup> year Senior Student** (The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

### **THE DEVELOPMENT OF COMPUTER NETWORK'S BRANCH IN KHMELNYTSKYI**

**The article analyzes the main issues of development of computer networks.**  
**Keywords:** topology, technology, VPN, DNS, DHCP, SMPT, cable system.

---

**Николайчук Я. М., д.т.н., профессор, Федорчук О. М., студент 4 курса** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

### **РАЗРАБОТКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ В ГОРОДЕ ХМЕЛЬНИЦКИЙ**

**В статье проанализированы основные вопросы разработки вычислительной сети.**  
**Ключевые слова:** топология, технология, VPN, DNS, DHCP, SMPT, кабельная система.

**Николайчук Я. М., д.т.н., професор, Хлян Б. Т., студент 4 курсу ННІ АКОТ (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)**

## **РОЗРОБКА СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ БУДИНКУ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ ETHERNET**

**У статті проаналізовано основні питання системи безпеки будинку на базі технології Ethernet.**

**Ключові слова:** система, безпека, будинок, датчики, Ethernet, мережа.

Система безпеки будинку являє собою сукупність засобів автоматизації на базі технології Ethernet. В результаті реалізації цієї розробки буде можливо отримувати постійну інформацію про стан усіх систем будинку та можливість перегляду архівів даних на сервері.

Система являє собою функціональну схему автоматизації, яка будується на основі структурної схеми. На ній показані вимірювальні прилади і відповідні параметри, що контролюються, реєструються, відображаються стан безпеки будинку за допомогою технології Ethernet.

В даному проєкті забезпечується підтримання безпеки будинку та його мешканців. Керування здійснюється шляхом генерації відповідних сигналів для системи пожежогасіння, диспетчерського пункту охорони, а звітти відповідно до мешканців будинку.

Для відображення та збереження на сервері поточних значень відповідних параметрів датчиків в Unipring server solution v3 / SMS заводяться такі дані:

- для першого поверху:
  - 1) сигнали відкриття/закриття дверей, що ведуть із подвір'я;
  - 2) сигнал відкриття/закриття воріт в гараж;
  - 3) сигнали про протікання води у ванній кімнаті;
  - 4) сигнал про протіканні води у кухні;
  - 5) сигнал про витік газу в кухні;
  - 6) сигнали про наявність диму у кімнатах;
  - 7) сигнали про розбиття вікон у кімнатах;
  - 8) відео зображення з камер спостереження.
- для другого поверху:
  - 1) сигнали про протікання води у ванних кімнатах;
  - 2) сигнали про наявність диму у кімнатах;
  - 3) сигнали про розбиття вікон у кімнатах;
  - 4) відео зображення з камер спостереження.

Регулювання здійснюється за допомогою web інтерфейсу Uniping server solution v3 / SMS, в якому реалізовані всі функції керування. Відео з камер спостереження одразу надходить до сервера через мережевий комутатор зберігається та архівується на файловому сервері.

Обмін інформацією між системою керування безпекою будинку та диспетчерським пунктом охорони здійснюється завдяки безпроводним точкам доступу, що встановлені відповідно на диспетчерському пункті та на будинку. Це дозволяє службі охорони мати поточну інформацію про функціонування системи керування безпекою та, при необхідності, вносити корективи до функціонування системи при відсутності мешканців будинку або у разі виникнення критичної необхідності.

Для того, щоб організувати моніторинг безпеки будинку, необхідно було обрати наступне апаратне і програмне забезпечення:

1. Використання сервера;
2. Налаштування Uniping server solution v3 / SMS спільно з налагодженою системою моніторингу PRTG network monitor що забезпечить контроль безпеки будинку;
3. Macroscop – програмне забезпечення, що дозволяє керувати відеокамерами.

**Головними завданнями даної системи була розробка:**

- а) принципів побудови новітніх систем безпеки будинків;
- б) використання комп'ютерних технологій такої як Ethernet при проектуванні системи безпеки;
- в) розглянути структурну і функціональну схеми побудови системи;
- г) використання необхідних технічних засобів для реалізації системи безпеки будинку;
- д) розміщення необхідних технічних засобів та можливості моніторингу за даною системою.

Для того, щоб всі прилади функціонували, потрібно провести підключення усіх компонентів системи безпеки будинку. Підключення компонентів системи безпеки можна розбити на декілька основних етапів:

1. підключення та монтаж датчиків;
2. підключення та налаштування Uniping server solution v3 / SM;
3. підключення ір відеокамер до мережевого комутатора;
4. підключення решти обладнання до центрального сервера.

Детальна монтажна робота продемонстрована на рисунку.

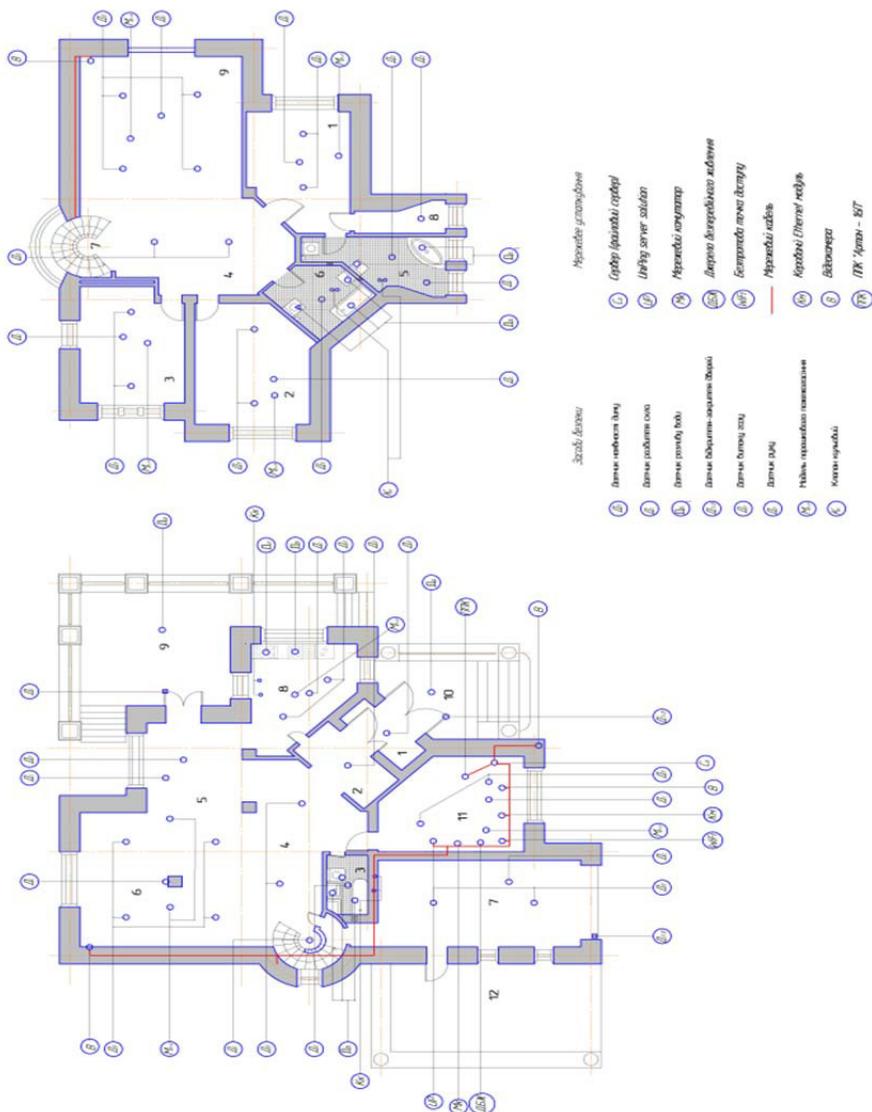


Рисунок. Детальна монтажна робота

**Отже**, система являє собою складне інженерне рішення, яке не можливо оцінити яким-небудь одним показником – це є сукупність функцій в умовах дії багатьох випадкових факторів.

1. Харке В. «Умный дом. Объединение в сеть бытовой техники и системы коммуникаций в жилищном строительстве». – Техносфера, 2006.
  2. Гололобов В. Н. «Умный дом своими руками». – НТ Пресс, 2007.
  3. Марк Эдвард Сопер «Практические советы и решения по созданию умного дома». – НТ Пресс, 2007.
  4. Тесля Елена «Умный дом своими руками. Строим интеллектуальную цифровую систему в своей квартире». – Питер, 2008.
  5. Роберт К. Элсенпитер, Тоби Дж. Велт «Умный Дом строим сами». – КУДИЦ-Образ, 2005.
  6. Богданов С. В. «Умный дом». – Наука и техника, 2005.
  7. «Система интеллектуальной автоматизации умный дом». – Издат. Москва.
  8. Камінський М. Л. "Монтаж приладів і засобів автоматизації": Підручник для середніх проф.-тех. Закладів. – 5 видавництво. – М. : Вища школа., 1983. – 248 с.
  9. «Система домашней автоматизации Crestron»
  10. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справ. пособ. / А. С. Ключев, Б. В. Глазов, А. Х. Дубровский, А. А. Ключев / Под ред. А. С. Ключева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1990. — 464 с.
  11. Справочник по наладке автоматических устройств контроля и регулирования / В. А. Дубровский, Е. И. Забокрицкий, В. Г. Трегуб, Б. А. Холодовский. – К. : Наук. думка, 1981. – 940 с.
  12. Корнеева А. И., Матвейкин В. Г., Фролов С. В. Программно-технические комплексы, контроллеры и SCADA-системы. – М. : ЦНИИТ Энефтехим, 1996. – 218 с.
  13. Ярошевська Охорона праці. – Рівне : РДТУ, 1995 – 260 с.
  14. Топчиев Ю. И. Атлас для проектирования систем автоматического регулирования. – М. : Машиностроение, 1989. – 752 с.
- 

**Nykolaichuk Y. M., Doctor of Engineering, Professor, Khlian B. T., 4<sup>th</sup> year Senior Student** (The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

## **THE DEVELOPMENT OF HOUSE'S SECURITY SYSTEM ON THE BASE OF TECHNOLOGY ETHERNET**

**The article analyzes the basic questions of security at the building Ethernet.**

**Ключові слова:** system, security, house, sensors, network.

---

**Николайчук Я. М., д.т.н., профессор, Хлян Б. Т, студент 4 курса** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ДОМА НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ ETHERNET**

**В статье проанализированы основные вопросы системы безопасности дома на базе технологии Ethernet.**

**Ключевые слова:** система, безопасность, дом, датчики, Ethernet, сеть.

**Круліковський Б. Б., к.т.н, доцент, Шутюк П. І., студент 4 курсу ННІ АКОТ (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)**

## **ОРГАНІЗАЦІЯ ЛОКАЛЬНОЇ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ МАГАЗИНІВ КОМП'ЮТЕРНОЇ ТЕХНІКИ**

**У статті проаналізовано основні питання організації локальної обчислювальної мережі для магазинів комп'ютерної техніки.**

**Ключові слова:** обчислювальна локальна мережа, мережа, конектори, з'єднання, ПК, структурна кабельна система, інформаційна система.

Локальні мережі дозволяють організувати спільне використання дорогої апаратури, а також розподілену обробку даних на декількох комп'ютерах. Це дає значну економію матеріальних засобів і прискорення процесу обміну інформацією. Наприклад, при наявності на магазині десяти персональних комп'ютерів (ПК) не обов'язково купувати десять лазерних принтерів. Можна купити один принтер, а засобу локальної мережі нададуть доступ до нього для будь-якого персонального комп'ютера.

У локальній мережі можна організувати колективний доступ до жорсткого диска великого обсягу (установленому на єдиній ЕОМ), тим самим заощаджувати засобу за рахунок покупки вінчестерів невеликих обсягів для кожного ПК. У ЛОМ досить установити один накопичувач на оптичних дисках, один плоттер або модем, а всі ПК мережі будуть мати почерговий доступ до цих обладнань.

На дисках багатьох ПК записані однакові програми (текстові й графічні редактори, бази даних, електронні таблиці й т.п.). При підключенні ПК до локальної мережі копії використовуваних програм можна зберігати на диску однієї ЕОМ. При цьому дискова пам'ять інших комп'ютерів звільняється для розв'язку власних завдань користувачів.

ЛОМ дозволяє групі користувачів виконувати спільні проекти. Для цього частіше використовуються особливі мережні версії прикладних програм, спеціально призначені для роботи в локальній мережі й постачені ліцензією, яка надає право групового використання програми.

### **Особливості мережі:**

В даній мережі передбачено:

- обмін даними в мережі передачі даних;
- доступ до ресурсів мережі Інтернет;
- забезпечення надійних каналів передачі інформації в межах мережі передачі даних;
- підготовки основи для створення єдиного інформаційного простору;

- спільне використання периферійних пристроїв (принтерів);
- забезпечення систем безпеки на території розгортання мережі передачі даних;
- створення централізованої системи керування мережею;

### **Планування структури мережі**

У проєкті буде використовуватися топологія «зірка», яка має наступні переваги:

- вихід з ладу однієї робочої станції не відбивається на роботі всієї мережі в цілому;
- хороша масштабованість мережі;
- легкий пошук несправностей і обривів в мережі;
- висока продуктивність мережі (за умови правильного проєктування);
- гнучкі можливості адміністрування.

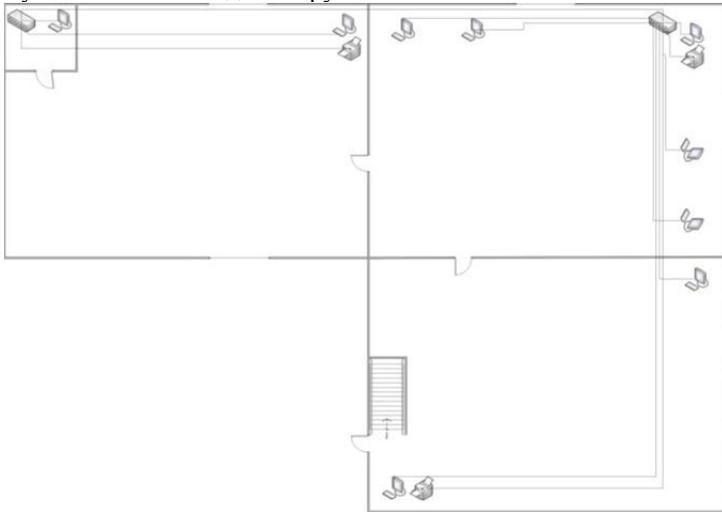


Рис. 1. План магазину № 1

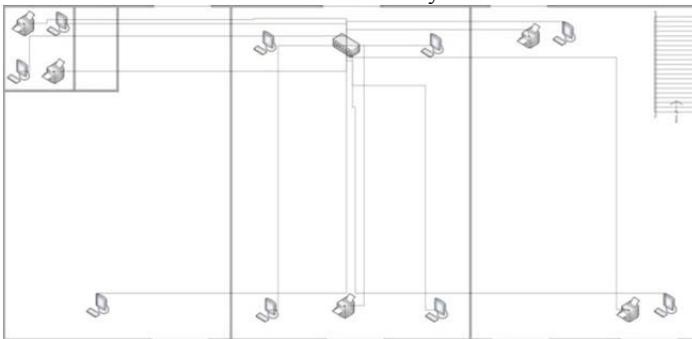


Рис. 2. План магазину № 2

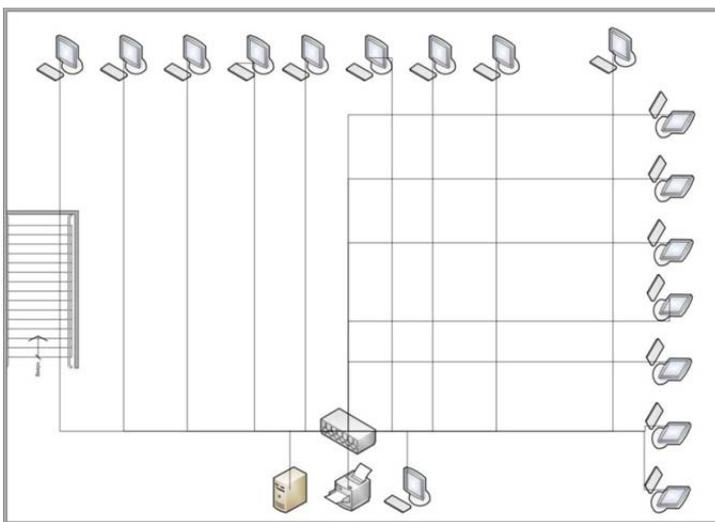


Рис. 3. План офісу

### **Вибір та обґрунтування апаратних і програмних засобів комп'ютерної мережі підприємства**

Комутатори обираються Cisco Catalyst WS-CE500-24TT .

Даний комутатор використовує кодування трафіку. Цей комутатор має досить широкі температурні межі застосування, що дозволяє встановлювати його в кабінеті адміністраторів мережі або у будь-якій іншій без використання додаткових засобів охолодження.

Комутатор Cisco Catalyst WS-CE500-24TT має додатково 2 порти для передачі даних на швидкості 1000 Мбіт/с, які можна використовувати для підключення до серверів (це забезпечує більш швидкий обмін інформації сервера з робочими станціями).

На робочих станціях буде використовуватися ОС Windows 7.

На сервері – Windows Server 2008.

### **Організація робочого місця**

Згідно до санітарних вимог, робочі місця знаходяться на відстані 1.20 м одне від одного, мають природне та штучне освітлення .

В магазинах можливе збільшення кількості комп'ютерів.

Кожне робоче місце складається зі ПК, монітору, клавіатури та миші.

На робочому місці адміністратора мережі знаходиться серверний ПК, монітор, клавіатура та миша.

### **Адміністрування й керування**

Якщо не вдаватися в деталі, то поставлені задачі в даній області, розбиваються на дві групи: контроль за роботою мережного устаткування й управління функціонуванням мережі в цілому. У першому випадку мова йде

про моніторинг окремих мережних пристроїв (концентраторів, комутаторів, маршрутизаторів, серверів доступу й ін.), налаштуванню і зміні їхньої конфігурації, усуненні виникаючих збоїв.

Друга група націлена на моніторинг мережного трафіка, виявлення тенденцій його зміни й аналіз подій із метою реалізації схем пріоритизації для забезпечення максимальної пропускної спроможності. Сюди ж відноситься задача внесення змін у конфігурацію мережі, управління IP-адресами користувачів, фільтрація пакетів в цілях забезпечення інформаційної безпеки і ряд інших задач.

### **Розрахунки витрат на створення мережі**

Згідно із завданням дипломної роботи необхідно визначити собівартість і ціну локально-обчислювальної мережі. Для виконання розрахунку були використані початкові дані, представлені в таблиці.

Планова калькуляція собівартості, ціни локально-обчислювальної мережі двох магазинів та офісу

Таблиця

Розрахунок витрат

Статті калькуляції	Сума, грн.
Стаття 1. Матеріали	
Стаття 2. Комплектуючі вироби	393460
Стаття 3. Основна заробітна плата	1800
Стаття 4. Додаткова заробітна плата	360
Стаття 5. Відрахування в соціальні фонди	747,36
Стаття 6. Загальновиробничі витрати	1800
Виробнича собівартість	398167,36
Прибуток підприємства	39817
Ціна підприємства	437984
Податок на додану вартість	87596,8
Ціна для замовника	525581

**Отже**, була спроектована мережа, що забезпечує належну роботу магазинів та офісу. Був забезпечений високошвидкісний доступ до Інтернету. Також, побудова мережі із встановленням віртуальних мереж забезпечила зручний механізм для боротьби з несанкціонованим доступом до службової інформації та збільшення продуктивності мережі. Об'єднання користувачів на основі мережеских адрес у віртуальні мережі виявилось зручним апаратом для мереж невеликого розміру, що забезпечує вільне переміщення користувача в межах мережі.

З розвитком бездротових технологій в подальшому можливе використання Wi-Fi точок доступу, для забезпечення виходу в мережу Інтернет та організування бездротових віртуальних локальних мереж.

Також передбачена модернізація апаратної частини ПК, так як всі складові мають свій строк «служби». Подальша модернізація також може

бути викликана розвитком програмного забезпечення, що потребують більш продуктивного апаратного забезпечення.

1. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. – 2-е изд. – СПб. : изд. «Питер», 2004.
  2. Майкл Дж. Мартин Введение в сетевые технологии.: Пер. с англ. – М. : Изд-во «Лори», 2002.
  3. Андерсон К., Минаси М. Локальные сети. Полное руководство: Пер. с англ. – К. : ВЕК+, – М. : ЭНТРОП, СПб. : КОРОНА принт, 2001 Гук М.
  4. Аппаратные средства локальных сетей. Энциклопедия. – СПб. : Изд-во «Питер», 2000.
- 

**Krulikovskyi B. B., Candidate of Engineering, Associate Professor,  
Shutiuk P. I., 4<sup>th</sup> year Senior Student** (The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

## **THE ORGANIZATION OF LOCAL NETWORK COMPUTER SHOPS**

**The article analyzes the main issues of local area networks to computer shop.**

**Keywords:** LOM, local, connectors, compound, commutation, PC, cabling system, information system.

---

**Круликовский Б. Б., к.т.н., доцент, Шутюк П. И, студент 4 курса**  
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ДЛЯ МАГАЗИНОВ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНИКИ**

**В статье проанализированы основные вопросы организации локальной вычислительной сети для магазинов компьютерной техники.**

**Ключевые слова:** ЛОМ, мережа, конекторы, соединения, коммутаторы, ПК, структура кабельная система, информационная система.

**Круліковський Б. Б., к.т.н, доцент, Якобчук Д. Ю., студент 4 курсу ННІ АКОТ (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)**

## **РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ЗАРЯДКИ ЛІТІЄВОГО АКУМУЛЯТОРА ВІД СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

**У статті проаналізовано основні питання зарядки літійового акумулятора від сонячної енергії за допомогою плат Arduino та сонячної батареї.**

**Ключові слова:** зарядка, акумулятор, сонячна енергія, Arduino, сонячна батарея.

Сонячне зарядний пристрій являє собою підключається шилд для Arduino сумісних платформ і дозволяє заряджати акумуляторні батареї в польових умовах.

Шилд дозволяє заряджати різні батареї, що мають напругу 2.7V – 4.2V. Максимальний струм, що видається пристроєм – 700 mA. Так само для заряду акумулятора можна використовувати стандартний USB-роз'єм (зарядка без сонячної батареї).



Рис. 1. Сонячна шилд, з'єднаний з сонячною панеллю, батареєю і Arduino UNO (<http://www.seeedstudio.com/>)

### **Особливості сонячного зарядного пристрою:**

- Захист від короткого замикання;
- Індикатор статусу заряду акумулятора (Червоний: Зарядка, Зелений: Заряджений);
- USB-порт (5V) для живлення невеликих USB-пристроїв.
- Модель SLD80227P

### **Ідея застосування полягає в:**

- Сонячній зарядці
- Бездротовому блоку датчиків

На рахунок використання сонячних панелей для зарядки можна сказати, що сонячний зарядний пристрій виробляє навантаження під впливом сонячного світла і світла від ламп розжарювання. Його функція є більш ефективною у першому, ніж у другому пункті. Сонячні панелі потребують невидимих випромінювань, а саме ультрафіолетові та інфрачервоні випромінювання для виробництва струму. Для того, щоб все ж таки перевірити систему від лампи розжарювання, тримаємо панель сонячних батареї на відстані менше 20 см. Тим не менш, зарядка не буде ефективною при лампі розжарювання. Щоб правильно використовувати сонячну батарею потрібно її розмістити під таким кутом, щоб максимальна кількість сонячного світла падала на панель.

Обов'язково потрібно захистити сонячну панель від надмірного впливу парів води та води. Це може окислити поверхню панелі сонячних батареї і знизити її продуктивність. Сонячні панелі зазвичай йдуть із захисною прозорою пластиковою плівкою. Потрібно зняти прозору пластикову плівку для кращої продуктивності сонячної панелі.

Сонячне зарядний пристрій захищений від будь-якого потенційного короткого замикання. Однак слід дотримуватися обережності, щоб уникнути будь-яких подібних ситуацій. Сонячна панель не повинна працювати при напрузі більше, ніж 5В.

Таблиця 1

#### Специфікація пристрою

	Мінімальна	Типова	Максимальна
Робоча напруга	2,7В	3,7В	5,0В

Таблиця 2

Позначення, заголовки та індикатори які мають відношення до шилду

Ім'я / Заголовку Pin	Застосування
Red LED	Статус зарядки
Green LED	Статус завершення зарядки
VBAT	Pin для виміру вихідного ланцюга зарядки акумулятора
A0-A6	Аналогові входи
BAT and Solar header pins	Використовується для установки батареї і сонячні панелі

#### Порядок використання сонячного зарядного пристрою

1. Підключаємо сонячну панель і акумулятор в їхні відведені місця, як показано на малюнку нижче:

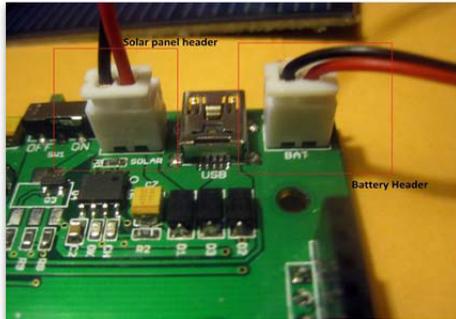


Рис. 2. Сонячна панель та акумулятор підключення до сонячного зарядного пристрою (Інтернет ресурс <http://www.seeedstudio.com/>)

2. Поміщаємо сонячну панель під сонячне світло або світло ламп розжарювання, як згадувалося раніше.

3. Переконаємося, що зарядка (червоний) загориться, як показано на малюнку нижче:



Рис. 3. Red LED light (<http://www.seeedstudio.com/>)

4. Вимикаємо заголовок батареї і індикатор зарядки зміниться на статус «ОК». Це тому, що струм не тече в батареї від зарядного ланцюга.

5. Заряд батареї може зайняти близько 5 до 7 годин, щоб завершити один повний цикл зарядки. Коли батарея повністю заряджена, горить зелений індикатор.

6. Після того, акумулятор заряджений, можна встановити Arduino UNO R3. Як тільки включаємо сонячний зарядний пристрій в Arduino UNO R3, він повинен привести в дію як показано на малюнку нижче:



Рис. 4. З'єднані Arduino UNO R3 та Solar Charger Shield v2 0b (<http://www.seeedstudio.com/>)

7. Підключаємо Vbat і аналогові входи, як показано на малюнку:



Рис. 5. Vbat і аналогові входи (<http://www.seeedstudio.com/>)

Підключаємо VBAT на зарядний пристрій до контакту шилду A0 .

П'ятивольтова монокристалічна сонячна батарея, при максимальному освітленні здатна видати до 400 мА. Використовується для зарядки мобільних телефонів, електронних книг, роботи роботів і т.п.

**Характеристики:**

- Номінальна потужність: 2Вт
- Робоча напруга: 5В
- Вихідний струм (максимальний): 400мА
- Неодружене напруга: 5.85В
- Струм короткого замикання: 424мА
- Розміри: 131x110x3 мм
- Маса: 70 гр.
- Матеріал бази: стійкий до деформації, високоміцна друкована плата



Рис. 6. Вигляд сонячної батареї.( <http://arduino-ua.com/>)

**Отже**, система виконує функцію зарядки літійового акумулятора від сонячної енергії, вміє заряджати акумулятор від сонячної батареї.

При виконанні статті було проаналізовано поставлене завдання. На основі первинного аналізу задачі визначено схему подальшої розробки системи. Проведене обґрунтування та опис вибору пристроїв керування. Маючи повне уявлення про задачі, які повинно виконувати система керування та методи їхнього вирішення, почалась стадія безпосередньої реалізації пристрою.

1. Проекты с использованием контроллера Arduino. – СПб. : БХВ-Петербург, 2014. – 400 с.: ил. – (Электроника). 2. <http://www.seeedstudio.com/>. 3. Электроника для начинающих: Пер. с англ. – СПб. : БХВ-Петербург, 2012. – 480 с.: ил. – (Электроника).

---

**Krulikovskyi B. B., Candidate of Engineering, Associate Professor,  
Yakobchuk D. Y., 4<sup>th</sup> year Senior Student** (The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

## **THE DEVELOPMENT OF SYSTEM ENGINEERING PROCESS'S MANAGEMENT OF CHARGING FROM SOLAR ENERGY**

**The article analyzes the main issues lithium battery charging from solar energy using Arduino boards and solar panels.**

**Keywords:** charger, battery, solar energy, Arduino, solar cell.

---

**Круликовский Б. Б., к.т.н., доцент, Якобчук Д. Ю, студент 4 курса**  
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования,  
г. Ровно)

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЗАРЯДКИ ЛИТИЕВОГО АККУМУЛЯТОРА ОТ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ**

**В статье проанализированы основные вопросы зарядки литиевого аккумулятора от солнечной энергии с помощью плат Arduino и солнечной батареи.**

**Ключевые слова:** зарядка, аккумулятор, солнечная энергия, Arduino, солнечная батарея.

Шатний С. В., старший викладач, Шевчук Н. С., студент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне),  
e-mail: sha\_ser@ukr.net

## **РОЗРОБКА ТЕХНІЧНО-ІНФОРМАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ОБРОБКИ ПОТОКІВ РОЗПОДІЛЕНОЇ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ**

**Описано систему збору даних і дистанційної передачі інформації, призначеної для збереження і подальшої обробки. Запропоновано схеми функціональних модулів системи, принципи використання мікропроцесорних засобів і протоколи передачі інформації. Наведено принципи функціонування системи енергозабезпечення на основі мікропроцесорного регулювання енергоспоживання.**

**Ключові слова:** інформаційна система, мікропроцесор, алгоритм керування, функціональний модуль, схемотехнічна реалізація, елементна база.

**Вступ.** Як відомо, основою будь-якої системи автоматичного керування є обробка вхідних даних, за значеннями якими виконується певний алгоритм керування. В поняття обробки даних входить збір сигналів від давачів системи, аналіз отриманих сигналів, їх нормалізація і передача в систему керування.

В основі функціонування системи моніторингу знаходиться програмований мікропроцесорний пристрій або сукупність пристроїв і технічні засоби телемеханіки. Залежно від потреб можлива місцева передача даних провідними каналами зв'язку або їх віддалена передача з використанням безпроводних технічних рішень та інтерфейсів. Оскільки в системі використовується протокол RS-232, тому можливим є розширення цього протоколу за допомогою малодіючих безпроводних модулів BlueTooth. Система має відповідати вимогам надійності функціонування.

Покладемо в основу розробки такий фактор, як універсальність її використання, тобто можливість встановлення системи на будь-які об'єкти керування із внесенням мінімальних змін у вже існуючі конструкції. Відлімо у системі такі рівні:

- базовий рівень, який містить електричний мікропроцесорний пристрій з індикаторами стану, можливістю ручного введення параметрів і самодіагностикою;

- рівень безпроводної передачі даних, що включає в себе радіомодеми промислового діапазону частот 433 МГц, призначені для передачі параметрів на віддалені диспетчерські пункти;

- рівень програмної обробки, який знаходиться на диспетчерському пункті і накопичує передані данні, здійснює обробку даних на основі інтелектуальних алгоритмів.

**Мікропроцесорна система збору та обробки інформації.** Сконструємо пристрій на основі двох мікроконтролерів PIC18F4620 і PIC16F690 виробництва фірми Microchip. Покладемо основну задачу щодо вимірювання параметрів стану об'єкта і задання керуючого параметра на потужний мікроконтролер PIC18F4620. Передбачимо 5 аналогових входів для під'єднання уніфікованих давачів і 7 дискретних виходів для під'єднання силової частини системи керування. Кожен дискретний вихід має логічний буфер, в якості якого фігурує набір із J-K тригерів. Логічні буфери призначені для збереження відповідного логічного рівня на керуючих лініях. Таким чином значно зменшується енергоспоживання, оскільки основний контролер переходить в режим мінімального енергоспоживання, а також з'являється можливість вводу моніторингу логічного стану керуючих ліній. Якщо на будь-якій з ліній виникає обрив або інша неполадка, що призводить до некоректного функціонування усієї системи, тоді у діє вступає допоміжний мікроконтролер PIC16F690.

У процесі роботи цей мікроконтролер аналізує важливі параметри роботи системи: стан ліній керування; процеси прийому/передачі даних з/до інших елементів системи; напругу живлення. Якщо мікроконтролер ідентифікує несправність, тоді відповідне повідомлення про помилку та її код передається на централізований пункт обробки даних. Крім цього, при виникненні помилки передбачене вмикання звукової сигналізації за допомогою високочастотного бузера. Після того, як основний контролер переходить до режиму очікування, логічні стани ліній запам'ятовуються в J-K тригерах і логічні рівні на виходах із J-K тригерів починають контролюватись допоміжним контролером.

Таким чином досягається самодіагностика системи, тобто можливість виявлення помилок. Оскільки в основу алгоритма функціонування регулятора покладено періодичне вмикання головного контролера, тому енергоспоживання, у порівнянні з режимом роботи без допоміжного контролера, не збільшується. Для організації зв'язку регулятора із радіомодулем або GSM модемом у конструкції передбачені комунікаційні інтерфейси RS-232. Інтерфейс RS-232 технічно виконується на основі мікросхеми MAX-232, яка перетворює логічні стани мікроконтролера +5 В та 0 у логічні стани послідовного комунікаційного порта +12 В.

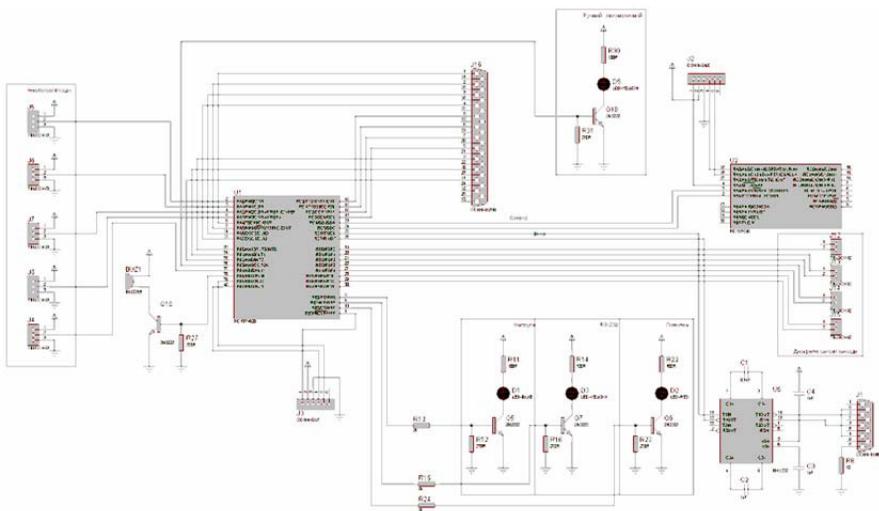


Рис. 1. Загальна схема мікропроцесорної системи збору та обробки даних

У пристрої передбачено роз'єм для підключення переносного пульта оператора, на якому відображаються параметри об'єкта. В режимі за замовчуванням відбувається лише відображення параметрів. Передбачено також режим ручного задання параметрів. Конструктивно пристрій зібраний в уніфікованому корпусі для електротехнічних пристроїв Z104K. Можливий монтаж схеми як на спеціальних щитах, так і на відкритих стінках, оснащених DIN-рейкою. В конструкції використовуються лише уніфіковані деталі, розробка друкованої плати здійснюється у середовищі Sprint Layout, тому конструкцію при необхідності можна модернізувати.

Технологічно контролер здатний сприймати вхідні сигнали з напругою  $0 \dots 5$  В і роздільною здатністю  $2^{10}$  біт. При необхідності використання датчиків з іншим типом вихідного сигналу використовується блок перетворювачів. При функціонуванні системи необхідно періодично проводити огляд її стану, перевірку коректності роботи і т.п. Тому в її конструкції передбачено виносний портативний пульт керування, за допомогою якого оператор має можливість отримувати значення поточних параметрів стану, вводити в регулятор розраховане значення задаючого параметра, діагностувати стан усієї системи.

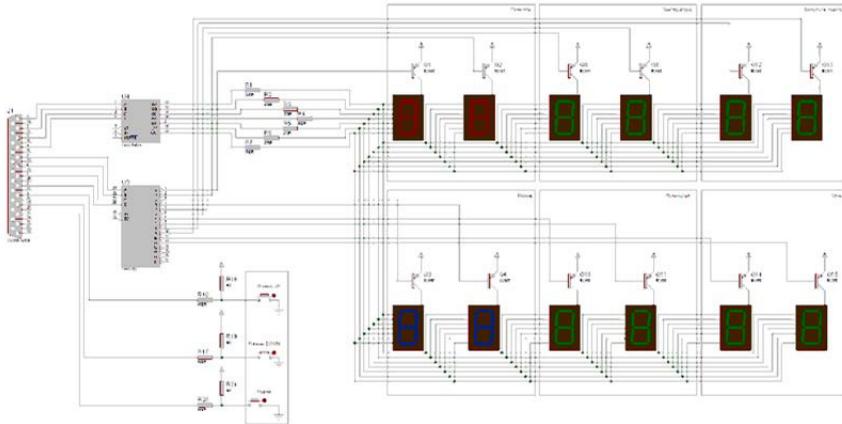


Рис. 2. Виносний пульт керування мікропроцесорної системи

Пульт керування під'єднується за допомогою роз'єму DB25 (LPT). Як тільки пульт під'єднано, на нього починає подаватись напруга й індикатори відображають значення параметрів. При від'єднаному пульті, для економії ресурсів мікроконтролера і зниження енергозатрат на його функціонування, передбачено програмне блокування режиму вводу і виводу даних.

Для виводу необхідної інформації про параметри стану системи використовуються світлодіодні семисегментні індикатори із загальним анодом. Керування ними здійснюється за допомогою двох інтегральних мікросхем K176ИД2 та K155ИД3. Мікросхема K176ИД2 перетворює код, який подається на входи 1-2-4-8, у код десяткового числа семисегментного індикатора. Мікросхема K155ИД3 виконує функцію анодного дешифратора семисегментних індикаторів, тобто, основна її задача полягає в тому, щоб у певний момент часу почергово вмикати відповідний семисегментний індикатор. Оскільки ця мікросхема має 4 входи двійкового коду, тому максимальна кількість індикаторів складе  $n=2^4=16$ . У системі використовується 12 індикаторів, тому вона задовольняє цій вимозі.

Алгоритм відображення параметрів на семисегментних індикаторах полягає у наступному: у певний момент часу мікросхема K155ИД3 активує один індикатор, у той самий час інша мікросхема K146ИД2 генерує на виходах двійково-десятковий код семисегментного індикатора в залежності від того, яке значення при аналогово-цифровому перетворенні отримує контролер. Затримка між перемиканнями індикаторів вибирається експериментальним шляхом, вона залежність від частоти роботи мікроконтролера та параметрів мікросхем дешифраторів. Зазвичай ця затримка не повинна перевищувати 15-20 мкс.

**Мікропроцесорна система керування енергоспоживанням.** Для функціонування системи необхідне постійне електричне живлення. Основою

системи є мікропроцесорний блок, що функціонує на основі контролера PIC16F690. Конструктивно цей блок виконаний в уніфікованому корпусі і має 2 входи для джерел живлення, 1 вихід для навантаження, семисегментний індикатор для введення початкових налаштувань, світлодіодні індикатори для відображення поточного стану роботи. До першого входу під'єднана сонячна акумулятивна панель із послідовним перетворювачем і стабілізатором вихідної напруги типу LM317A, до другого входу під'єднана високоємнісна нікель-кадмієва акумуляторна батарея. У першому режимі модуль функціонує наступним чином: після подання вхідної напруги з сонячної панелі, необхідно здійснити налаштування мікропроцесорного регулятора на чутливість до вхідної напруги з першого входу. Налаштування здійснюються мікрокнопкою з кроком 10%. Після налаштування на вихід блоку подається напруга і вся система починає функціонувати. Мікроконтролер аналізує вхідну напругу і порівнює її з заданим значенням. Якщо напруга знижується до критичної межі, генерується звуковий сигнал, який свідчить про настання «передаварійного» режиму. Після проходження аварійної межі, мікроконтролер подає сигнал на електричний ключ, через який подається напруга на котушку релейного елемента.

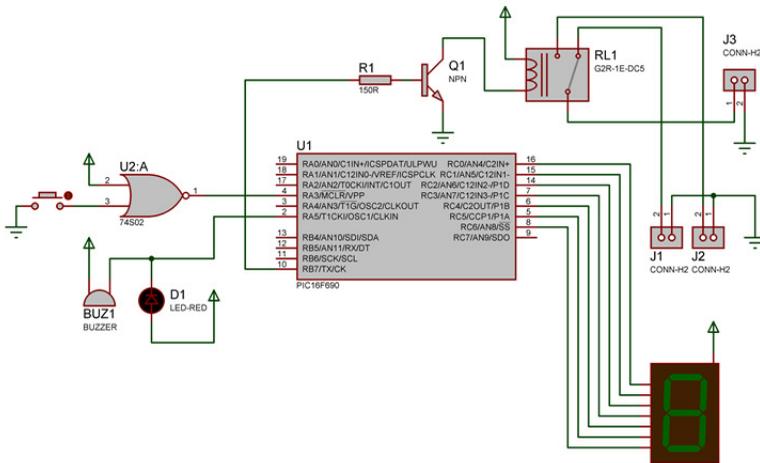


Рис. 3. Схема мікропроцесорного регулятора електроживлення системи

Після перемикання реле на вихід блоку подається напруга із резервної батареї живлення. Оскільки на виході блоку встановлені високоємнісні конденсатори, тому перехідний процес при перемиканні реле згладжується і є не критичним для системи. Після того, як рівень вхідної напруги стабілізується, відбувається автоматична дозарядка нікель-кадмієвого акумулятора. Завдяки цьому досягається автономна і безперервна робота як у

денний, так і в нічний час протягом тривалого періоду часу без втручання людини.

**Висновки.** Результатом роботи є розробка комплексної системи моніторингу та управління віддаленими об'єктами. Були розроблені принципи щодо проектування подібних систем, розглянуті основні технічні засоби та елементна база, що використовувались для побудови мікропроцесорних систем збору та обробки даних. В лабораторних умовах були створені дослідні зразки основних елементів системи моніторингу та апробація в реальних умовах. В результаті цього були виявлені недоліки в роботі системи, визначені подальші шляхи вдосконалення, модернізації та основні підходи для подальшого впровадження на віддалених об'єктах керування.

Результати роботи можна використати для подальшого дрібносерійного виробництва компонентів системи, оскільки були розроблені як принципові електричні схеми, так і друковані плати мікропроцесорних блоків, розроблено розташування елементів в електротехнічних корпусах.

Розроблена система має значний потенціал щодо подальших впроваджень, оскільки в кожному технологічному процесі необхідно проводити збір первинних даних від давачів. Тобто можна застосовувати лише частину елементів системи, які необхідні для виконання конкретної задачі.

Основним застосуванням комплексної системи є проведення комплексного моніторингу екологічного стану проблемних природних об'єктів, виконувати на основі отриманих даних прогнозування екологічних показників. Також можливе застосування системи до будь-яких технологічних потреб де необхідно проводити моніторинг стану та передачу на віддалені пульти керування отриманих даних для подальшої обробки та аналізу.

1. «Neural Network On-Chip Implementation Using NIOS and Softprocessor Technology», S. Shatnyi, P. Tymoschuk Proceedings of the XII-th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD-Systems in Microelectronics p.p. 320-321, Lviv-Polyana, Ukraine, 19-23 February 2013.
2. А. В. Белов «Конструирование устройств на микроконтроллерах». – СПб. : Наука и Техника, 2005. – 457 с.
3. Глинський Я. В. «С++ та С++ Builder». – Львівська політехніка, 2005. – 237 с.
4. Врагов В. О., Домарецький В. А., Шиян П. Л. / Під ред. проф. В. О. Мариниченка «Технологія спирту». – Вінниця : «Поділля-2000», 2003. – 496 с.
5. Тим Уилмсхерст, «Разработка встроенных систем с помощью микроконтроллеров PIC. Принципы и практические примеры». – Київ : МК-Пресс, 2008. – 548 с.
6. В. А. Ульрих «Микроконтроллеры PIC16X7XX. Справочник по КМОП – микросхемам с АЦП». – СПб. : Наука и Техника 2002. – 547 с.
7. “Neural Network Information Technology for Biomedical signal Processing”, S. Shatnyi – Proceedings of 6<sup>th</sup> International Conference Microwave and Radar Week, 16-18 June 2014, Gdansk, Poland.
8. “Circuitry Implementation Using Altera FPGA”, S. Shatnyi – Proceedings of XXII Ukrainian-Polish

Conference on CAD In Machinery Design. Implementations and Issues. 10-11 October 2014, L'viv, Ukraine. **9.** "Neural Network for Dynamic Data Classification Based on Discrete-Time Winner-Takes-All Neural Circuits", P. Tymoshchuk, S. Shatnyi – Proceedings of IX th International Scientific and Technical Conference Computer Sciences and Information Technologies, 18-22 November 2014, L'viv, Ukraine. **10.** "KWTA Neural Network Hardware Implementation Using FPGA for Signals Classification", S. Shatnyi – Proceedings of Xth International Conference Perspective Technologies and Methods in MEMS Design, 22-24 June 2014, L'viv, Ukraine.

---

**Shatnyi S. V., Senior Lecturer, Shevchuk N. S., Senior Student** (The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

### **THE DEVELOPMENT AND PROCESSING INFORMATION COMPLEX OF COMPUTER SYSTEM'S FLOWS**

**A system of data collection and remote transfer of information for storage and further processing is described. Presented diagrams of the functional modules, principles of usage microprocessor unit and data transfer protocols. Principles of the power supply system based on microprocessor control of energy consumption are offered.**

***Keywords:* structure-functional scheme, microprocessor unit, solar power, remote data transmission, remote automated system, element base.**

---

**Шатный С. В., старший преподаватель, Шевчук Н. С., студент**  
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

### **РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИ-ИНФОРМАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА ОБРАБОТКИ ПОТОКОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

**Описана система сбора данных и дистанционной передачи информации, предназначенной для хранения и дальнейшей обработки. Предложены схемы функциональных модулей системы, принципы использования микропроцессорных средств и протоколы передачи информации. Приведены принципы функционирования системы энергообеспечения на основе микропроцессорного регулирования энергопотребления.**  
***Ключевые слова:* информационная система, микропроцессор, алгоритм управления, функциональный модуль, схемотехническая реализация, элементная база.**

Полевщиков О. А., студент, Шатний С. В., старший викладач,  
(Національний університет водного господарства та природокористування,  
м. Рівне), e-mail: [sha\\_ser@ukr.net](mailto:sha_ser@ukr.net)

## **ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ ВАЛЮТНИХ РИНКІВ**

**Робота присвячена розгляду питання спрощеної торгівлі на валютному ринку з допомогою торгового робота. Розглянуто причини використання механічних торгових систем та алгоритм роботи “Forex-MACD+ Fibon channel”.**

**Ключові слова:** механічна торгова система, валютний ринок, індикатор, тренд, ціна, трейдер.

**Вступ.** З кожним днем валютний ринок Форекс ставатиме привабливішим для людей, бажаючих зайнятися інтернет-трейдингом. Це зумовлено декількома факторами. По-перше, умови торгівлі на ринку Форекс стали настільки доступними, що трейдеру достатньо мати смартфон і доступ в інтернет. По-друге, можливість заробити великі гроші за короткий проміжок часу. І по-третє, торгівлю можна розглядати як хороший дозвілля.

Однак професійна торгівля на ринку Форекс – це робота. Трейдер повинен володіти міцними нервами і бути психологічно стійкий для того, щоб заробити. Тому, щоб зменшити вплив людського фактора, багато трейдерів автоматизують свою торгівлю. Одним із прикладів автоматизації торгівлі на ринку Форекс є механічні торгові системи.

Механічна торгова система, також автоматична торговельна система (МТС, АТС), торговий робот – це програма, призначена для повної або часткової автоматизації торговельних процесів. Рівень автоматизації може бути різним – від допомоги трейдеру в прийнятті рішень, до автономного виставлення і зняття заявок на біржі. Також, можливе виконання програмою додаткових функцій – контроль виставлених заявок, моніторинг угод, аналіз торгівлі з наданням графіків і звітів.

Відомо, що інтернет трейдинг дозволяє здійснювати операції на ринку 24 години на добу, п'ять днів на тиждень. Але жоден трейдер, не зможе стежити за ситуацією цілодобово, зате це зможе зробити механічна торгова система. Це є ще однією перевагою, яку дає механічна торгова система трейдерам на ринку Форекс.

Механічна торгова система може стежити за ситуацією на ринку і, якщо потрібно, здійснювати угоди за певним алгоритмом. Таким чином, абсолютно будь-яка людина може бути валютним трейдером і торгувати на ринку

Форекс, незалежно від свого характеру або вміння керувати емоціями і почуттями.

**Алгоритм механічної торгової системи.** Одним з кращих торгових терміналів, який дозволяє автоматизувати торгівлю на ринку Форекс, є Metatrader4. Це програмне додаток дозволяє проводити всі необхідні операції, аналізувати стан ринку, а також створювати і тестувати різні механічні торгові системи.

Для створення механічної торгової системи, Metatrader4 має вбудовану мову програмування MQL4, який дозволяє реалізувати алгоритми будь-якого рівня складності.

Розглянемо приклад створення і тестування механічної торгової системи «Forex-MACD + Fibo channel». Система названа так тому, що в її ґрунтуючись лежать показання індикатора Moving Average Convergence / Divergence (MACD) і канал Фібоначі з рівнями -0,3333 та 0,6666, але для того, щоб виключити помилкові сигнали, система використовує додаткові сигнали, наприклад сигнал індикатора Relative Strength Index (RSI). Індикатор MACD використовується в технічному аналізі з метою прогнозування цінних коливань. Індикатор корисний для визначення точок розвороту, перевірки напрямку і сили пануючого тренда. Індикатор MACD – це різниця між двома експоненціальними ковзаючими середніми ціни. Якщо коротке ковзне середнє перевершує довге (тобто MACD піднімається вище нуля) – значить, очікування інвесторів набувають бичачий характер (тобто лінії попиту / пропозиції змістилися вгору). Додаткове використання простого змінного середнього MACD дозволяє більш точно визначити момент подібних змін в очікуваннях інвесторів (тобто зміщення ліній пропозиції / попиту).

Канал Фібоначі використовується для визначення "коридора", по якому прямує ціна.

Алгоритм механічної торгової системи «Forex-MACD + Fibo channel» можна розбити на два послідовних алгоритму відкриття і закриття ордера. Блок-схема алгоритму відкриття ордера представлена на рисунку 1, де MACD – поточне значення головної лінії індикатора MACD, MACD(S) – поточне значення сигнальної лінії індикатора MACD, RSI (14) – поточне значення індикатора RSI.

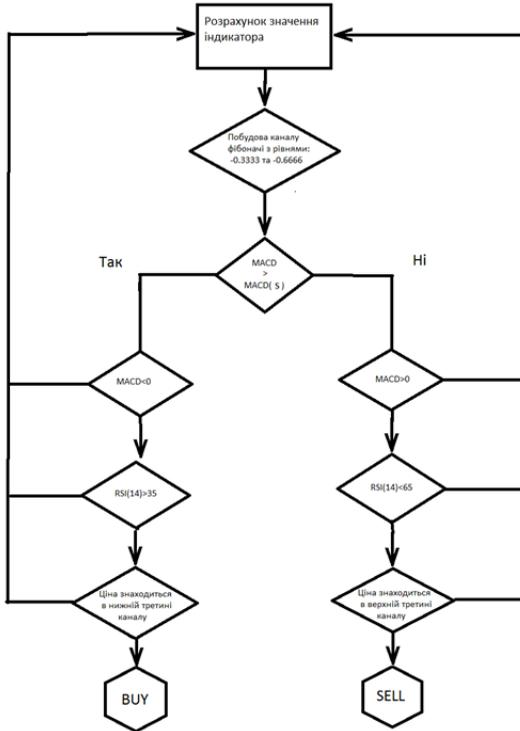


Рис. 1. Блок-схема алгоритму відкриття ордеру

Дана механічна торгова система не може мати більше одного одночасно відкритого ордеру, тому після відкриття ордеру система запускає алгоритм закриття ордеру. Блок-схема алгоритму закриття ордеру представлена на рис. 2.

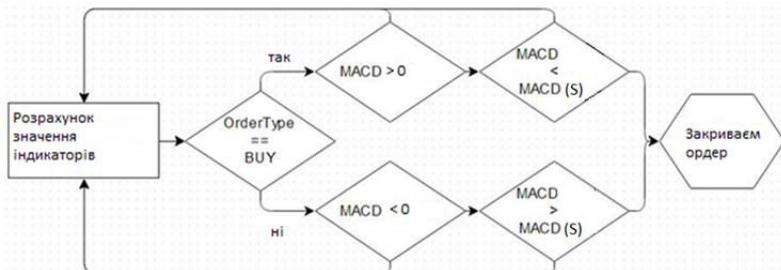


Рис. 2. Блок-схема алгоритму закриття ордеру



Рис. 3. Вигляд неавтоматизованої стратегії на парі AUD/NZD, 4-х годинний графік



Рис. 4. Вигляд неавтоматизованої стратегії на парі AUD/NZD, годинний графік

**Тестування торгової системи.** Далі необхідно протестувати систему на тимчасовому інтервалі, щоб переконатися в її працездатності та ефективності. Для тестування даної системи була обрана валютна пара EURUSD, таймфрейм H1 і період з 01.11.2013 р. по 16.12.2013 р.

На рис. 3 представлена лінія капіталу. Вісь X показує кількість угод, укладених за вибраний часовий період, вісь Y показує суму депозиту в доларів США.

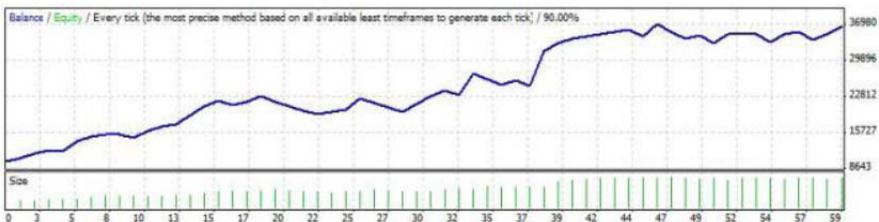


Рис. 5. Графік доходів

При тестуванні механічної торгової системи «Forex-MACD ++» на валютній парі EURUSD чистий прибуток склав 26657.96 доларів США. Загальна кількість угод за даний період – 59, з них 37 прибуткових. Максимальна просадка – 4605,30 (12,27%) доларів США, що є дуже гарним показником для механічних торгових систем.

**Висновки.** Підводячи підсумки, можна зробити висновки про те, що механічна торгова система є хорошим інструментом автоматизації власних торгових стратегій. Вона охоплює весь проміжок торгового часу, а також виключає людський фактор при прийнятті рішень для укладання угод. Механічна торгова система особливо зручна для початківців трейдерів, які більш схильні здійснення помилок, ніж професіонали. Але не варто забувати, що не одна система не замінить здатності трейдера передбачати рух ринку, тому механічну торговельну систему краще використовувати як хорошого помічника, який потребує постійного контролю з боку трейдера.

1. Механічна торгова система / [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://ru.wikipedia.org/wiki/> – дата доступу: 19.12.2013. 2. Інформаційно-торговельна платформа MetaTrader4 / [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.metaquotes.ru/metatrader/> – дата доступу: 20.12.2013.

---

**Polevshchikov O. A., Senior Student, Shatnyi S. V., Senior Lecturer** (The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

## **THE USE OF INFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEM OF FORECASTING CURRENCY MARKETS**

**The work deals with the issue of simplified trading on the currency market through trade work. Described the problems of mechanical trading systems and algorithms for "Forex-MACD + Fibo channel".**

**Keywords:** mechanical trading system, the currency market, indicator, trend, price, trader.

---

**Полевщикова О. А., студент, Шатный С. В., старший преподаватель** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗА ВАЛЮТНЫХ РЫНКОВ**

**Работа посвящена рассмотрению вопроса упрощенной торговли на валютном рынке с помощью торгового робота. Рассмотрены причины использования механических торговых систем и алгоритмы работы "Forex-MACD + Fibo channel".**

**Ключевые слова:** механическая торговая система, валютный рынок, индикатор, тренд, цена, трейдер.

**Тадесв П. О., професор, д.пед.н., к.ф.-м.н.** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне),  
**Кравчук О. А.,** ст. викладач (Хмельницький національний університет, м. Хмельницький)

## ДИФЕРЕНЦІАЛЬНА ГЕОМЕТРІЯ ПОДВІЙНОГО ВЕКТОРНОГО ПОЛЯ В $n$ -ВИМІРНМУ АФІННОМУ ПРОСТОРІ

У статті досліджено диференціальну геометрію подвійного векторного поля в  $n$ -вимірному афінному просторі. Побудовано основну систему диференціальних рівнянь подвійного векторного поля та асоційовані з ним інваріантні геометричні образи. Дослідження проведено в довільній системі координат, що дозволяє автоматично будувати ці геометричні образи в канонічних системах координат.

**Ключові слова:** векторне поле, афінний простір, система координат

**Аналіз проведеного дослідження та одержаних результатів.**

### I. Визначення основних понять

Теорію подвійних векторних полів у тривимірному афінному просторі детально досліджував В. В. Слухаєв. Основи диференціальної геометрії векторних полів у  $n$ -вимірному афінному просторі ми побудували в [4]. Актуальним є дослідження подвійних векторних полів у  $n$ -вимірному проективному просторі.

1. Розглянемо тривимірний афінний простір  $A_3$ , віднесений до нерухомого реперу  $(O, \vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3)$ . Знайдемо диференціальні рівняння, які описують зміну деякого рухомого репера  $(\vec{A}, \vec{e}_1, \vec{e}_2, \vec{e}_3)$ .

Якщо координати рухомого реперу відносно нерухомого мають вигляд  $A(x^i), \vec{e}_i(\alpha_i^j)$ , то дериваційні рівняння афінного простору  $A_3$  мають вигляд

$$\begin{aligned} d\vec{A} &= \omega^i \vec{e}_i \\ d\vec{e}_i &= \omega_i^j \vec{e}_j, \quad i, j, k = 1, 2, 3, \end{aligned} \tag{1.1.1}$$

де  $\omega^i = \beta_j^i dx^j$ ,  $\omega_i^j = \omega_k^j da_i^k$  – лінійні диференціальні форми, які називаються формами Пфаффа.

**Означення.** Розподілом називається відповідність, при якій з кожною точкою афінного простору  $A_3$  зіставляється певним чином визначена площина  $V$ , яка проходить через цю точку.

**Означення.** Векторним полем називається відповідність, при якій кожній точці афінного простору  $A_3$  зіставляється певним чином визначений вектор  $v$ .

**Означення.** Подвійним полем називається відповідність, при якій кожній точці афінного простору  $A_3$  зіставляється певним чином визначена пара, що складається з вектора  $\vec{v}$  і площини  $V$ .

Якщо рухому систему координат вибрати таким чином, щоб вектор  $\vec{e}_3$  збігався з вектором  $\vec{v}$ , а вектори  $\vec{e}_1$  і  $\vec{e}_2$  лежали в площині  $V$ , то основна система диференціальних рівнянь подвійного поля буде мати такий вигляд

$$\begin{aligned}\omega_3^1 &= \Lambda_{31}^1 \omega^1 + \Lambda_{32}^1 \omega^2 + \Lambda_{33}^1 \omega^3, \\ \omega_3^2 &= \Lambda_{31}^2 \omega^1 + \Lambda_{32}^2 \omega^2 + \Lambda_{33}^2 \omega^3, \\ \omega_3^3 &= \Lambda_{31}^3 \omega^1 + \Lambda_{32}^3 \omega^2 + \Lambda_{33}^3 \omega^3, \\ \omega_1^3 &= \Lambda_{11}^3 \omega^1 + \Lambda_{12}^3 \omega^2 + \Lambda_{13}^3 \omega^3, \\ \omega_2^3 &= \Lambda_{21}^3 \omega^1 + \Lambda_{22}^3 \omega^2 + \Lambda_{23}^3 \omega^3,\end{aligned}\tag{1.1.2}$$

З подвійним полем асоціюються такі геометричні образи:

1. Неголономна поверхня, що задається рівнянням  $\omega^3 = 0$ , яка називається базою поля ковекторів  $\{V\}$ .
2. Лінійний комплекс, який складається з прямих

$$\vec{\tau} = \vec{A} + \Lambda \vec{v}.\tag{1.1.3}$$

3. Вектор

$$\vec{\tau} = \Lambda_{33}^i \vec{e}_i = \Lambda_{33}^1 \vec{e}_1 + \Lambda_{33}^2 \vec{e}_2 + \Lambda_{33}^3 \vec{e}_3.\tag{1.1.4}$$

Якщо  $\vec{v}$  – швидкість потоку рідини в точці  $A$ , то  $\vec{\tau}$  є прискоренням в цій точці.

**4. Означення.** Еквідирекційними лініями називаються такі лінії при русі вздовж яких  $d\vec{v} \parallel \vec{v}$ . Вектор, дотичний до еквідирекційної лінії, має координати:

$$\vec{s} = \Delta_{23}\vec{e}_1 + \Delta_{31}\vec{e}_2 + \Delta_{12}\vec{e}_3, \text{ де } \Delta_{ij} = \begin{vmatrix} \Lambda'_{3i} & \Lambda'_{3j} \\ \Lambda''_{3i} & \Lambda''_{3j} \end{vmatrix}. \quad (1.1.5)$$

5. Поле ковекторів:

$$N = \Lambda_{i3}^3 E_i, \quad (1.1.6)$$

$$N = \frac{dV}{dt}, \quad dt = \omega^3 / \omega = \omega^2 = 0.$$

6. Афіненормальне поле ковекторів:

$$\vec{n} = \Delta_{23}^3 \vec{e}_1 + \Delta_{31}^3 \vec{e}_2 + \Delta_{12}^3 \vec{e}_3, \quad (1.1.7)$$

$$\text{де } \Delta_{ij}^3 = \begin{vmatrix} \Lambda_{1i}^3 & \Lambda_{1j}^3 \\ \Lambda_{2i}^3 & \Lambda_{2j}^3 \end{vmatrix}.$$

Вектор  $\vec{n}$  дотикається лінії  $\omega_1^3 = \omega_2^3 = 0$

7. Вихор поля ковекторів:

$$\text{rot } V = \Lambda_{[23]}^3 \vec{e}_1 + \Lambda_{[31]}^3 \vec{e}_2 + \Lambda_{[12]}^3 \vec{e}_3. \quad (1.1.8)$$

**Твердження.** Якщо вектори  $\vec{v}$ ,  $\vec{\tau}$ ,  $\vec{s}$  компланарні, то асоційований комплекс подвійного поля спеціальний, тобто кожне його пряма дотикається деякої поверхні.

**Твердження.** Якщо  $\vec{s} = \vec{0}$ , то існує сім'я поверхонь, всі лінії якої еквідирекційні. У цьому випадку асоційований комплекс циліндричний.

1. Вектори  $\vec{v}$ ,  $\vec{\tau}$ ,  $\vec{s}$  – лінійно незалежні. Цей клас полів самого загального виду

2  $\vec{s} = \vec{0}$ ,  $\vec{\tau}$  непаралельний  $\vec{v}$ . Асоційований комплекс такого поля – циліндричний. Для векторних полів цього класу існує сім'я еквідирекційних поверхонь:

3  $(\vec{v}\vec{\tau}\vec{s}) = 0$  і  $\vec{s} \neq 0$ . Асоційований комплекс такого поля спеціальний.

4  $\vec{\tau} \parallel \vec{v}$  ( $\vec{s} \parallel \vec{v}$ ). Клас містить векторні поля, всі лінії току яких прямі.

2. Узагальнимо одержані результати на афінний простір довільного розміру.

Диференціальні рівняння  $n$  - вимірного афінного простору  $A_n$  відносно рухомого репера  $(\vec{A}, \vec{e}_\alpha)$  мають вигляд:

$$d\vec{A} = \omega^\alpha \vec{e}_\alpha, \quad d\vec{e}_\alpha = \omega_\alpha^\beta \vec{e}_\beta, \quad \alpha, \beta, \gamma = \overline{1, n}. \quad (1.2.1)$$

Лінійні форми Пфаффа  $\omega^\alpha, \omega_\beta^\alpha$ , підпорядковані при цьому рівнянням структури простору  $A_n$ :

$$D\omega^\alpha = [\omega^\beta \omega_\beta^\alpha], \quad D\omega_\beta^\alpha = [\omega_\beta^\gamma \omega_\gamma^\alpha]. \quad (1.2.2)$$

**Означення.** Подвійним векторним полем в  $n$ -вимірному афінному просторі  $A_n$  називається відповідність, при якій кожній точці  $A$  цього простору зіставлено певним чином пару  $(\vec{v}, V)$ , яка складається із вектора  $\vec{v} \in A_n$  та ковектора  $V \in A_n^*$ .

Система диференціальних рівнянь

$$\begin{aligned} \omega_n^\alpha &= \Lambda_{n\beta}^\alpha \omega^\beta, \\ \omega_\alpha^n &= \Lambda_{n\beta}^\alpha \omega^\beta \end{aligned} \quad (1.2.3)$$

називається основною системою диференціальних рівнянь подвійного поля в  $n$ -вимірному афінному просторі. При цьому перші рівняння системи визначають геометрію гіперрозподілу, а другі – геометрію векторного поля.

Продовжуючи цю систему, одержимо:

$$\begin{aligned} d\lambda_{n\beta}^\alpha + \lambda_{n\beta}^\gamma \omega_\gamma^\alpha - \lambda_{n\gamma}^\alpha \omega_\beta^\gamma &= \lambda_{n\beta\gamma}^\alpha \omega^\gamma, \\ d\lambda_{\alpha\beta}^n - \lambda_{\gamma\beta}^n \omega_\alpha^\gamma - \lambda_{\alpha\gamma}^n \omega_\beta^\gamma &= \lambda_{\alpha\beta\gamma}^n \omega^\gamma. \end{aligned} \quad (1.2.4)$$

Із співвідношення (1.2.4) видно, що величини  $\lambda_{n\beta}^\alpha$  і  $\lambda_{\alpha\beta}^n$  утворюють тензори.

Продовжуючи диференціальні рівняння (1.2.4), одержимо послідовність фундаментальних об'єктів  $\{\lambda_{n\beta}^\alpha, \lambda_{\alpha\beta}^n, \lambda_{n\beta\gamma}^\alpha, \lambda_{\alpha\beta\gamma}^n, \dots\}$ , яка лежить в основі диференціальної геометрії подвійного поля в  $n$ -вимірному афінному просторі  $A_n$ .

Виділимо поля лінійних геометричних об'єктів, інваріантно пов'язаних з векторним полем.

А. Поле векторів. Диференціальні рівняння інваріантності вектора  $\vec{v} = v^\alpha \vec{e}_\alpha$  мають вигляд:

$$dv^\alpha + v^\beta \omega_\beta^\alpha = v_\beta^\alpha \omega^\beta. \quad (1.2.5)$$

В. Поле ковекторів. Диференціальні рівняння інваріантності ковектора  $V = V_\alpha E^\alpha$  мають вигляд:  $dV_\alpha + V_\beta \omega_\alpha^\beta = V_{\alpha\beta} \omega^\beta$ .

Виділимо величини  $\lambda_{mn}^\alpha$ . Їх диференціальне рівняння має вигляд:

$$d\lambda_{mn}^\alpha + \lambda_{mn}^\beta \omega_\beta^\alpha = \lambda_{m\beta}^\alpha \omega^\beta. \quad (1.2.6)$$

Таким чином, вектор  $\vec{r} = \lambda_{mn}^\alpha \vec{e}_\alpha$  інваріантно пов'язаний з подвійним полем.

Оскільки поле векторів  $\{\vec{v}\}$  можна трактувати, як поле швидкостей потоку рідини, то векторні лінії цього поля будемо називати в подальшому лініями потоку.

Враховуючи, що  $\vec{v} = \frac{d\vec{A}}{dt}$ , і  $\vec{r} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ ,  $dt = \omega^n |_{\omega^1=\omega^2=\dots=\omega^{n-1}=0}$  вектор  $\vec{\tau}$  є прискоренням потоку рідини в задній точці.

Розглянемо величини  $\lambda_{\alpha n}^n$ . Їх диференціальне рівняння має вигляд:

$$d\lambda_{\alpha n}^n - \lambda_{\beta n}^n \omega_\alpha^\beta = \lambda_{\alpha n \beta}^n \omega^\beta, \quad (1.2.7)$$

а отже, за структурою вони подібні до рівнянь (8). Таким чином, ковектор

$$N = \lambda_{\alpha n}^n E^\alpha,$$

інваріантно пов'язаний з подвійним векторним полем. Геометричний зміст ковектора  $N$  впливає з такої формули  $N = \frac{dV}{dt}$ ,  $dt = \omega^n |_{\omega^1=\omega^2=\dots=\omega^{n-1}=0}$ .

## II. Векторні поля в довільному репері

1. Дериваційні рівняння афінного простору відносно  $A_n$  рухомого реперу  $(\vec{A}, \vec{e}_\alpha)$  мають вигляд

$$\begin{aligned} d\vec{A} &= \omega^\alpha \vec{e}_\alpha, \\ d\vec{e}_\alpha &= \omega_\alpha^\beta \vec{e}_\beta, \quad \alpha, \beta, \gamma = \overline{1, n}. \end{aligned} \quad (2.1.1)$$

Лінійні форми Пфаффа задовольняють рівнянням структури простору  $A_n$ :

$$D\omega^\alpha = [\omega^\beta \omega_\beta^\alpha], \quad D\omega_\beta^\alpha = [\omega_\beta^\gamma \omega_\gamma^\alpha]. \quad (2.1.2)$$

**Означення.** Векторним полем в  $A_4$  називається відповідність, при якій кожній точці  $A$  цього простору зіставлений певним чином визначений вектор  $\vec{a} \in V$ .

Не зменшуючи загальності можемо вважати, що початок вектора  $\vec{a}$  збігається з кінцем вектора  $\vec{A}$ . Це означає, що  $\delta A = 0$  і форми  $\omega^\alpha$  є головними.

Якщо вектор  $\vec{a}$  відносно базису  $(\vec{e}^\alpha)$  має координати  $(a^\alpha)$ , то вони задовольняють диференціальне рівняння

$$da^\alpha + a^\beta \omega_\beta^\alpha = a_\beta^\alpha \omega^\beta. \quad (2.1.3)$$

Продовжуючи рівняння (2.1.3), одержимо

$$da_\beta^\alpha = a_\gamma^\alpha \omega_\beta^\gamma - a_\beta^\gamma \omega_\gamma^\alpha + a_{\beta\gamma}^\alpha \omega^\gamma, \quad (2.1.4)$$

причому  $a_{\beta\gamma}^\alpha = a_{\gamma\beta}^\alpha$ .

Продовжуючи диференціальні рівняння (1.1.4), одержимо послідовність фундаментальних об'єктів  $\{a^\alpha, a_j^\alpha, a_{j\gamma}^\alpha, a_{j\gamma\delta}^\alpha, \dots\}$ , яка лежить в основі диференціальної геометрії векторного поля в афінному просторі  $A_n$ .

**Означення.** Векторне поле називається регулярним, якщо  $\det|a_\beta^\alpha| \neq 0$ .

Це дозволяє ввести в розгляд величини

$$b_\alpha^\gamma a_\gamma^\beta = \delta_\alpha^\beta. \quad (2.1.5)$$

Диференціальні рівняння яких мають вигляд

$$db_\alpha^\beta + b_\beta^\gamma \omega_\gamma^\alpha - b_\gamma^\alpha \omega_\beta^\gamma = b_{\beta\gamma}^\alpha \omega^\gamma. \quad (2.1.6)$$

## Поля інваріантних лінійних геометричних об'єктів, пов'язаних з векторним полем

### А. Поле точок

Диференціальні рівняння інваріантності поля точок  $\vec{P} = \vec{A} + x^\alpha \vec{e}_\alpha$  мають вигляд

$$dx^\alpha + x^\beta \omega_\beta^\alpha = x_\beta^\alpha \omega^\beta. \quad (2.2.1)$$

Побудуємо згортку тензорів  $a^\alpha, a_\beta^\alpha$

$$N^\alpha = a_\beta^\alpha a^\beta. \quad (2.2.2)$$

Диференціальне рівняння цієї згортки має вигляд (1.2.1)

$$dN^\alpha + N^\beta \omega_\beta^\alpha = N_\beta^\alpha \omega^\beta. \quad (2.2.3)$$

Точка  $\vec{N} = \vec{A} + N^\alpha \vec{e}_\alpha$  є інваріантною.

Для регулярного поля розглянемо згортку

$$M^\alpha = b_\beta^\alpha a^\beta. \quad (2.2.4)$$

Диференціальне рівняння цієї згортки має вигляд (1.2.1)

$$dM^\alpha + M^\beta \omega_\beta^\alpha = M_\beta^\alpha \omega^\beta. \quad (2.2.5)$$

Точка  $\vec{M} = \vec{A} + M^\alpha \vec{e}_\alpha$  також є інваріантною.

### В. Поле прямих

Пряму, яка проходить через точку А з направленим вектором  $\vec{R}$ , позначимо через  $l = [A, \vec{R}]$ .

Якщо вектор  $\vec{R} = r^\alpha \vec{e}_\alpha$ , то умови інваріантності прямої будуть мати вигляд

$$\delta r^\alpha + r^\beta \omega_\beta^\alpha = r_\beta^\alpha \omega^\beta. \quad (2.2.6)$$

Очевидно, що прямі  $l_1 = [A, \vec{N}]$  і  $l_2 = [A, \vec{M}]$  є інваріантними.

**Твердження.** В диференціальному околі першого порядку існує дві інваріантні прямі, які визначаються тензорами  $N^\alpha$  і  $M^\alpha$ .

Зауважимо, що у випадку  $A_3$  вектор  $\vec{N}$  вперше з'явився в роботах В. В. Васеніна, однак для системи координат більш жорстко пов'язаної з векторним полем.

### С. Поле гіперплощин

Умови інваріантності гіперплощини  $\Pi$ , заданої рівнянням:

$$p_\alpha x^\alpha + p = 0 \quad (2.2.7)$$

відносно заданого репера мають вигляд

$$\delta p_\alpha + p_\beta \pi_\alpha^\beta = \Theta p_\alpha, \quad (2.2.8)$$

$$\delta p = \Theta p,$$

$\Theta$  – лінійна форма, така, що  $d\Theta = 0$ .

**С1. Гіперплощина, яка не проходить через т. А.**

$$p = 1, \Theta = 0,$$

$$\delta p_\alpha - p_\beta \pi_\alpha^\beta = 0. \quad (2.2.9)$$

**С2. Гіперплощина, що проходить через т. А ( $p=0$ )**

$$\delta p_\alpha - p_\beta \pi_\alpha^\beta = \Theta p_\alpha. \quad (2.2.10)$$

Поклавши  $p_n = 1$ , умови інваріантності гіперплощини запишемо у вигляді

$$\delta p_i - p_j \pi_i^j - p_i \pi_n^n - p_i p_j \pi_n^j - \pi_i^n = 0, \quad (2.2.11)$$

$$(i, j, k = \overline{1, n-1}).$$

Побудуємо тензор

$$g^{\alpha\beta} = N^\alpha M^\beta. \quad (2.2.12)$$

При умові, що  $\det\|g^{\alpha\beta}\| \neq 0$  введемо в розгляд обернений тензор:

$$g^{\alpha\gamma} g_{\gamma\beta} = \delta_\beta^\alpha. \quad (2.2.13)$$

Побудуємо згортку

$$g_\alpha = g_{\alpha\beta} a^\beta. \quad (2.2.14)$$

Диференціальні рівняння цієї згортки мають вигляд (1.2.9):

$$\delta g_\alpha - g_\beta \pi_\alpha^\beta = 0. \quad (2.2.15)$$

Гіперплощина, яка задана рівнянням  $\Pi_1$

$$g_\alpha x^\alpha + 1 = 0 \quad (2.2.16)$$

є інваріантною.

Аналогічно побудуємо тензор

$$h^{\alpha\beta} = M^\alpha N^\beta, \quad (2.2.17)$$

$$h^{\alpha\gamma} h_{\gamma\beta} = \delta_\beta^\alpha \quad (\det\|h^{\alpha\beta}\| \neq 0),$$

$$h_\alpha = g_{\alpha\beta} a^\beta. \quad (2.2.18)$$

Гіперплощина  $\check{I}_2$

$$h_\alpha x^\alpha + 1 = 0 \quad (2.2.19)$$

є інваріантною.

**Твердження.** В диференціальному околі першого порядку векторного поля існує дві інваріантні гіперплощини, які не проходять через його початок.

### Поле інваріантних гіперквадрик

Розглянемо рівняння гіперквадрики, віднесеної до локального репера  $(A, \vec{e}_\alpha)$ .

$$A_{\alpha\beta} X^\alpha X^\beta + 2A_\alpha X^\alpha + A = 0, \text{ де } A_{\alpha\beta} = A_{\beta\alpha} \quad (2.3.1)$$

Умови її інваріантності записуються в такому вигляді:

$$\delta A_{\alpha\beta} - A_{\alpha\gamma} \pi_\beta^\gamma - A_{\gamma\beta} \pi_\alpha^\gamma = \theta A_{\alpha\beta},$$

$$\delta A_\alpha - A_\gamma \pi_\alpha^\gamma = \theta A_\alpha, \quad (2.3.2)$$

$$\delta A = \theta A,$$

де  $\theta$  – лінійна форма, така, що  $d\theta = 0$ .

**А. Квадрика не проходить через початок формуючого векторного елемента.**

В цьому випадку можна покласти  $A=1$ ,  $\Theta=0$ .

Умови інваріантності квадрики приймуть вигляд:

$$\begin{aligned}\delta A_{\alpha\beta} - A_{\alpha\gamma}\pi_{\beta}^{\gamma} - A_{\gamma\beta}\pi_{\alpha}^{\gamma} &= 0, \\ \delta A_{\alpha} - A_{\gamma}\pi_{\alpha}^{\gamma} &= 0.\end{aligned}\tag{2.3.3}$$

**В. Квадрика проходить через початок формуючого векторного елемента**

В цьому випадку можна покласти  $A=0$ .

Умови інваріантності квадрики приймуть вигляд:

$$\begin{aligned}\delta A_{\alpha\beta} - A_{\alpha\gamma}\pi_{\beta}^{\gamma} - A_{\gamma\beta}\pi_{\alpha}^{\gamma} &= \Theta_{\alpha\beta}, \\ \delta A_{\alpha} - A_{\gamma}\pi_{\alpha}^{\gamma} &= \Theta A_{\alpha}.\end{aligned}\tag{2.3.4}$$

Побудуємо тензор

$$\Gamma_{\beta\gamma}^{\alpha} = b_{\delta}^{\alpha} a_{\beta\gamma}^{\delta},\tag{2.3.5}$$

диференціальні рівняння якого мають вигляд

$$\delta \Gamma_{\beta\gamma}^{\alpha} = \Gamma_{\delta\gamma}^{\alpha} \pi_{\beta}^{\delta} + \Gamma_{\beta\delta}^{\alpha} \pi_{\gamma}^{\delta} - \Gamma_{\beta\gamma}^{\delta} \pi_{\delta}^{\alpha}.\tag{2.3.6}$$

Введемо в розгляд тензори

$$\Gamma_{\alpha} = \Gamma_{\beta\alpha}^{\beta},\tag{2.3.7}$$

$$\delta \Gamma_{\alpha} - \Gamma_{\beta} \pi_{\alpha}^{\beta} = 0$$

$$\Gamma_{\alpha\beta} = \Gamma_{\gamma} \Gamma_{\alpha\beta}^{\gamma},\tag{2.3.8}$$

$$\delta \Gamma_{\alpha\beta} - \Gamma_{\gamma\beta} \pi_{\alpha}^{\gamma} - \Gamma_{\alpha\gamma} \pi_{\beta}^{\gamma} = 0.$$

Оскільки диференціальні рівняння (1.3.7) і (2.3.8) мають структуру відповідно першого і другого рівнянь (2.3.3), то рівняння інваріантної квадрики  $Q_1$ , яке не проходить через початок утвореного елемента, буде мати вигляд:  $\Gamma_{\alpha\beta} x^{\alpha} x^{\beta} + 2\Gamma_{\alpha} x^{\alpha} + 1 = 0$ .

**Твердження.** В диференціальному околі другого порядку існує інваріантна квадрика, яка не проходить через початок утворюючого векторного елемента та визначається компонентами фундаментальних об'єктів першого та другого порядку.

Побудуємо інваріантну квадрику, яка не проходить через початок утворюючого векторного елемента за допомогою фундаментального об'єкта другого порядку.

Побудуємо тензори

$$a_{\alpha} = a_{\beta\alpha}^{\beta}, \quad (2.3.9)$$

$$\delta a_{\alpha} - a_{\beta} \pi_{\alpha}^{\beta} = 0,$$

$$a_{\alpha\beta} = a_{\alpha\beta}^{\gamma} a_{\gamma}, \quad (2.3.10)$$

$$\delta a_{\alpha\beta} = a_{\alpha\gamma} \pi_{\beta}^{\gamma} - a_{\gamma\beta} \pi_{\alpha}^{\gamma}.$$

Інваріантна квадратика  $Q_2$  буде мати вигляд

$$a_{\alpha\beta} x^{\alpha} x^{\beta} + 2a_{\alpha} x^{\alpha} + 1 = 0. \quad (2.3.11)$$

**Твердження.** В диференціальному околі другого порядку існує інваріантна квадратика, яка не проходить через початок утворюючого векторного елемента та визначається лише компонентами фундаментального об'єкта другого порядку.

**Висновок.** У роботі досліджено подвійні векторні поля в  $n$ -вимірному афінному просторі з використанням методу зовнішніх форм Е. Картана та інваріантного методу Г. Лаптева.

Побудовано основи диференціальної геометрії подвійних полів. З цією метою побудовано основну систему диференціальних рівнянь подвійного поля та послідовність його фундаментальних об'єктів.

Знайдено інваріантні геометричні образи, асоційовані з векторним полем, до яких належать серії інваріантів, тензорів та квазітензорів. Більшості з них дано геометричну характеристику шляхом побудови інваріантних прямих, гіперплощин та гіперквадрик, асоційованих з векторним полем.

1. Фиников С. П. Метод внешних форм Картана. ОГИЗ ГИТТЛ, М. JL. 1998, 432 с.
2. Лаптев Г. Ф. Дифференциальная геометрия погруженных многообразий. // Труды Московского математического общества. – Т. 2. – М., 1953. – С. 275–382.
3. Слухаев В. В. Эквивариантно-инвариантные неголономные поверхности потока жидкости // Труды Томского университета. – 1967. – Т. 191 – С. 74–80.
4. Тадеєв П. О. До питання про канонічний репер, приєднаний до векторного поля чотиривимірного афінного простору  $A_4$ . / П. О. Тадеєв, О. А. Кравчук // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. В. 4. Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Т. 36. – Мелітополь, 2007. – С. 92–98.
5. Тадеєв П. О. До геометрії векторного поля «-вимірного афінного простору / П. О. Тадеєв, О. А. Кравчук. – Вісник Київського національного університету / Серія фізико-математичні науки, 2006, В.4. – С. 61–69.
6. Широков П. А. Тензорное исчисление / П. Широков. – М.-JL : ОНТП ГТТЛ, 1934.

**Tadeiev P. O., Doctor of Pedagogical Sciences, Candidate of Physical and Mathematical Sciences** (The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne), **Kravchuk O. A., Senior Lecturer** (Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi)

## **DIFFERENTIAL GEOMETRY OF DUAL VECTOR FIELD IN $N$ -DIMENSIONAL AFFINE SPACE**

The article deals with the problems of differential geometry of dual vector field in  $n$ -dimensional affine space. The main system of differential equations of dual vector field and invariant geometric models associated with them have been built. The research has been fulfilled in a coordinate system, which permits automatic construction of these geometric models in canonic coordinate systems.

*Keywords:* vector field, affine space, coordinate system.

---

**Тадеев П. А., д.п.н., к.ф.-м.н., профессор** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

**Кравчук О. А.,** старший преподаватель (Хмельницкий национальный университет, г. Хмельницкий)

## **ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ УДВОЕННОГО ВЕКТОРНОГО ПОЛЯ В $n$ -ИЗМЕРИМОМ АФФИННОМ ПРОСТРАНСТВЕ**

В статье исследовано дифференциальную геометрию удвоенного векторного поля в  $n$ -измеримом аффинном пространстве. Построено основную систему дифференциальных уравнений удвоенного векторного поля и ассоциированы с ним инвариантные геометрические образы. Исследование проведено в произвольной системе координат, что позволяет автоматически строить эти геометрические образы в канонических системах координат.

*Ключевые слова:* векторное поле, аффинное пространство, система координат.

**Харів Н. О., старший викладач, Матвійчук О. О., студент 4 курсу ННІ АКОТ** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## **РОЗРОБКА WEB-РЕСУРСУ ПО ПРАЦЕВЛАШТУВАННЮ ДЛЯ СТУДЕНТІВ ННІ АКОТ**

**Описано основні послуги Web-ресурсу, який призначений для працевлаштування студентів.**

**Ключові слова:** WEB-сайт, робота, практика, працевлаштування, випускники, вищий навчальний заклад.

Проблеми працевлаштування випускників вищих навчальних закладів набули особливого значення у сучасних умовах розвитку економіки і народного господарства. Далеко не всі, хто закінчує інститут, університет чи академію, знаходять роботу за фахом.

Молода людина, вступаючи до вищого навчального закладу, отримує певну кваліфікацію, після чого настає етап працевлаштування і реалізації отриманих знань, навичок і вмінь.

Щороку навчальні заклади випускають молодих спеціалістів, переважна більшість з яких залишаються з проблемою працевлаштування віч-на-віч. Тому одним з найважливіших завдань роботи з молоддю є сприяння працевлаштуванню випускників.

Одним із шляхів рішення даних питань є використання сучасних комп'ютерних технологій. Зокрема, доцільним можна вважати створення і використання сайту, призначеного для пошуку роботи.

Даний ресурс рекомендується для використання як складник сайту навчально-наукового інституту автоматичної, кібернетики та обчислювальної техніки НУВГП. Він призначений, насамперед, як і для студентів, які тут навчаються і шукають перше місце роботи, так і для роботодавців, які зацікавлені у випускниках даного ВНЗ. Така специфіка сайту дозволяє значно спростити пошуки і отримати результат.

Студенти, ще навчаючись, можуть вибрати місце проходження практики або влаштуватись на стажування чи неповний робочий день.

Для локального запуску сайту необхідне встановлення інтегрованого середовища розробки програмного забезпечення компанії Microsoft - Visual Studio. Застосунок здійснює підключення до локальних файлів бази даних SQL Server Express LocalDB. Сайт реалізований з використанням технології створення веб-застосунків і веб-сервісів ASP.NET, і доданого в неї фреймворка ASP.NET MVC, що реалізує шаблон Model-View-Controller. Зв'язок бази даних з концепціями об'єктно-орієнтованої мови

програмування C# здійснено з використання ORM-технології Entity Framework, а взаємодія з самою базою даних основана на використанні підходу Model First. Для здійснення реєстрації користувачів реалізований механізм OAuth-аутентифікації, який при подальшій розробці надасть можливість використовувати в якості логіну на сайт обліковий запис в сервісах і соціальних мережах, таких як Facebook, Google і ін. З його допомогою створюється основна таблиця webpages\_Membership, в якій містяться ключові данні – логін і пароль користувача, і дві інші, webpages\_OAuthMembership (з іменем провайдера) та UserProfile (з ніком користувача), які посилаються на основну. Авторизація можлива через існування таблиці webpages\_Roles, що містить перелік можливих ролей для доступу і управління сайтом, а саме в якості студента, роботодавця і адміністратора, а також таблиці webpages\_UsersIsRoles, яка вже прив'язує зареєстрованих користувачів до відповідних ролей. Дані самого сайту містять таблиці, основними серед яких є Vacansy, з інформацією про пропоновані вакансії, і SearchWork, яка зберігатиме інформацію про користувачів, що бажають знайти певну роботу. Представлення сторінки створено з використанням мова розмітки гіпертекстових документів HTML, і застосована також каскадна таблиця стилів CSS.

Після запуску відкривається головна сторінка сайту(рис. 1).

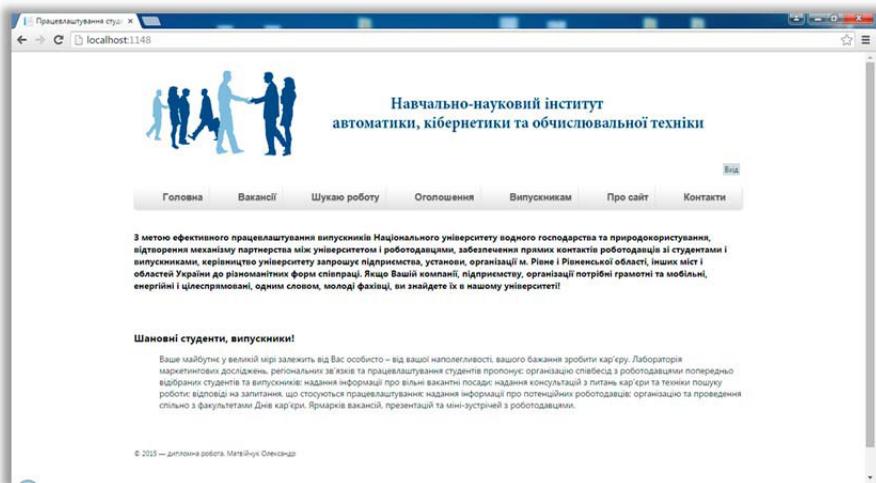


Рис. 1. Головна сторінка

Вона містить наступні пункти меню:

- **Вакансії.** На даній сторінці містяться вакансії, які розміщують роботодавці. Усі вакансії поділені на категорії. Є можливість скористатися пошуком для відшукування потрібної вакансії.

- **Шукаю роботу.** В даному розділі зареєстровані студенти/випускники мають змогу залишити заявку про пошук роботи або для проходження практики, закріпити резюме.
- **Оголошення.** Містить інформацію про зустрічі з роботодавцями.
- **Випускникам.** Містить цікаві та корисні поради для випускників.
- **Про сайт.**
- **Контакти.**

При переході на „Вхід” здійснюється авторизація. Користувач може створити власний акаунт шляхом здійснення реєстрації і в подальшому використовувати його для входу на сайт.

Після реєстрації з’явиться можливість подати заявку на пошук роботи.

Розділ „Вакансії” містить вакансії (рис. 2), котрі розділені на категорії. Для зручності є можливість відкрити вакансії, які відносяться до однієї з категорій, або скористатися пошуком. Нові вакансії позначаються міткою „New”.

Додавати, редагувати, видаляти вакансії може тільки представник компанії роботодавця або адміністратор веб-ресурсу.

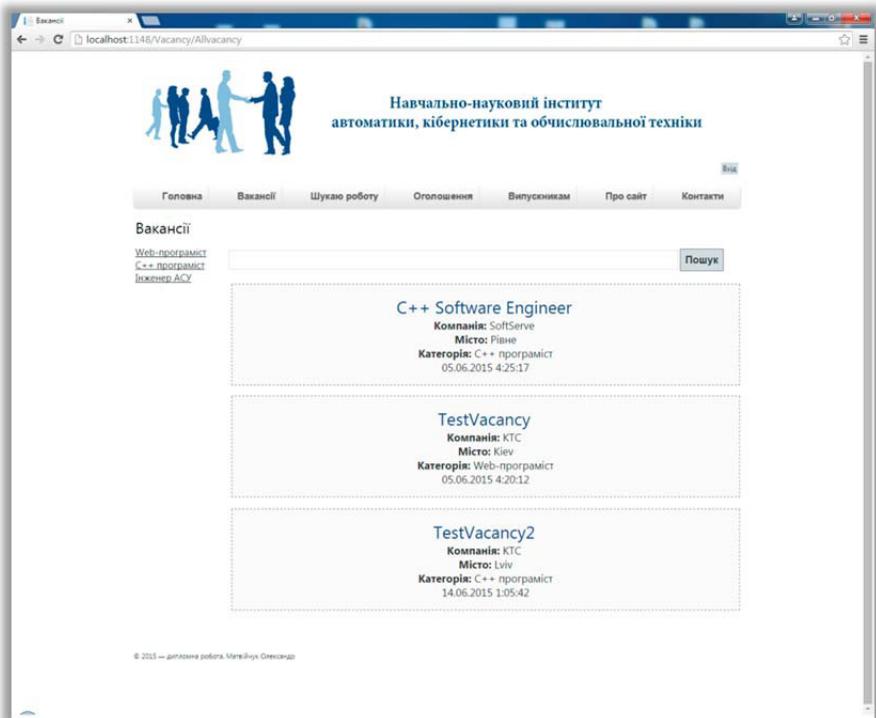


Рис. 2. Розділ „Вакансії”

Вибравши певну вакансію, можна ознайомитись з детальною інформацією про неї (назва компанії, контактний телефон, вимоги і т.д.). Існує можливість задати конкретне запитання через коментар, або відправити своє резюме на розгляд.

Розділ „Шукаю роботу” (рис. 3) створений для студентів та випускників. Студенти можуть залишити заявку на проходження практики, випускники – на пошук роботи тощо. Переглядати розділ можуть всі користувачі, залишати заяву тільки зареєстровані. Роботодавці можуть переглядати заяви та резюме, які прикріпили студенти, та приймати рішення про зарахування їх на роботу чи практику.

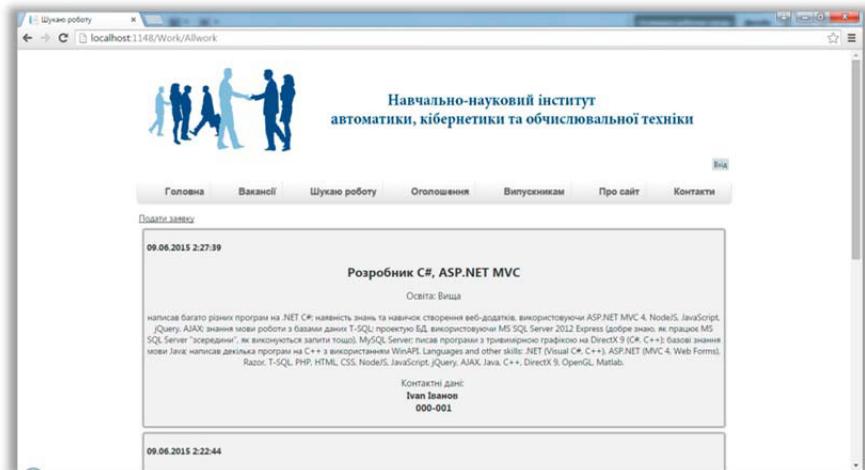


Рис. 3. Розділ „Шукаю роботу”

Розділ „Оголошення” має інформативний характер і створений для сповіщення студентів-випускників про заходи, які проводять роботодавці, такі як, Дні кар’єри, спеціалізовані курси, конкурсні відбори тощо. Доступ до даного розділу має тільки адміністратор, це необхідно для безпеки всього веб-сайту.

Розділ „Випускникам” містить довідкову інформацію, яку повинен знати випускник, наприклад, як правильно написати резюме (можна скачати шаблон написання), які документи потрібно для працевлаштування тощо.

Варто відмітити зручний інтерфейс, який є водночас максимально адаптивним для щойно зареєстрованих користувачів, і комфортним при постійному користуванні.

Таким чином, даний сайт може слугувати хорошим засобом і допомогою для встановлення тісного зв’язку у спілкуванні і співпраці обидвох сторін.

1. Андерсон Р. ASP.NET для профессионалов Т. 1, Т. 2 / Р. Андерсон – Лори, 2005. – 1164 с. 2. Аньен Ф. Основы ASP.NET с примерами на Visual Basic.NET / Ф. Аньен – Binom, 2005. – 400 с. 3. Вилдермьюс Шон. Практическое использование ADO.NET. Доступ к данным в Internet / Шон Вилдермьюс: Пер. с англ. – М. : Издательский дом „Вильямс”, 2003. – 288 с. : ил. 4. Макки А. Введение в .NET 4.0 и Visual Studio 2010 для профессионалов / А. Макки. – М. : „Вильямс”, 2010. – 416 с.

---

**Khariv N. O., Senior Lecturer, Matviichuk O. O., 4<sup>th</sup> year Senior Student**  
(The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

### **WEB-RESOURCE DEVELOPMENT FOR THE STUDENTS OF ACADEMIC AND RESEARCH INSTITUTE OF AUTOMATICS, CYBERNETICS AND COMPUTER SCIENCES**

**Basic services of Web-resource intended for students' employment are described.**

***Keywords:* WEB-site, work, practice, employment, graduates, higher educational establishment.**

---

**Харив Н. А., старший преподаватель, Матвийчук А. А., студент 4 курса**  
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования,  
г. Ровно)

### **РАЗРАБОТКА WEB-РЕСУРСА ПО ТРУДОУСТРОЙСТВУ ДЛЯ СТУДЕНТОВ УНИ АКВТ**

**Рассмотрены основные услуги Web-ресурса, предназначенного для трудоустройства студентов.**

***Ключевые слова:* WEB-сайт, работа, практика, трудоустройство, выпускники, высшее учебное заведение.**

Степанченко О. М., к.т.н., доцент, Бойко М. В., студент 4 курсу ННІ АКОТ (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## **ВИЗНАЧЕННЯ КОНФІГУРАЦІЇ ДАХІВ БУДІВЕЛЬ НА ВИСОКОТОЧНИХ СУПУТНИКОВИХ ТА АЕРОФОТОЗНІМКАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ДАНИХ LIDAR-ЗНІМАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВСТАНОВЛЕННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ**

**В статті розглянуто проблему визначення просторової конфігурації дахів для встановлення доцільності подальшого монтування сонячних панелей, а також запропоновано один із можливих способів автоматизованого вирішення даної проблеми на основі даних супутникового або аерофотознімання та даних LIDAR-знімання земної поверхні з використанням геоінформаційних систем.**

**Ключові слова:** супутникові знімки, визначення будівель, ГІС, обробка зображень.

Енергетичне питання все гостріше постає в умовах сучасного світу. Вичерпність основних джерел енергії, що використовуються сьогодні, змушують науковців зі всього світу працювати над розробкою ефективних та економічно мало затратних у видобуванні альтернативних джерел енергії. І одним із таких видів енергії є невичерпна, екологічно чиста у видобутку сонячна енергія. У деяких країнах величезні площі відведені під надзвичайних розмірів акумулятори, які накопичують і перетворюють енергію Сонця у інші види енергії, зокрема тепло. Провідні європейські країни започаткували проекти, які передбачають величезні дотації від держави на установку сонячних панелей на приватні будинки. Зокрема у Данії, за рахунок сонячної енергії покривається від  $\frac{1}{4}$  до  $\frac{3}{4}$  потреб у тепловій енергетиці приватного житлового сектору. З огляду на вище наведені факти ефективності сонячної енергетики в умовах екологічних і економічних проблем у світі, постає проблема визначення доцільності використання сонячних батарей на певній урбанізованій території.

Установка сонячних панелей саме на дахах будинків має значні переваги. Адже величезні площі дахів у містах залишаються невикористаними і перетворюються на місця проживання для птахів та інших численних представників міської фауни. А встановлення на відповідну площу сонячних акумуляторів дозволить використовувати її з надзвичайною ефективністю, перетворивши на додаткове джерело енергії для певного будинку.

Але перед установкою сонячної панелі на окремий будинок постає дві проблеми: яку частину площі даху використати для установки сонячної панелі та якою буде ефективність установленної панелі з огляду на особливості клімату та погодних умов даної місцевості.

**Метою даної роботи** є пошук автоматизованого вирішення проблеми визначення конфігурації дахів споруд певної території для подальшої оцінки можливості встановлення сонячних акумуляторів на дані споруди.

**Предметом дослідження** є дані, отримані внаслідок супутникового або аерофотознімання та дані LIDAR-знімання земної поверхні, а також можливість їх використання для вирішення поставленої проблеми.

Над проблемою обробки супутникових та аерофотознімків та автоматизацією аналізу отриманих даних працювали багато відомих вчених. Зокрема, А. Бутаков, В. І. Островский підходять до вирішення даної проблеми з точки зору системного аналізу із використанням спеціалізованих систем обробки зображень [1]. А професор О. П. Гук пропонує використовувати для обробки супутникових зображень вейвлет-аналіз із подальшим структурним дешифруванням отриманих даних. У даній роботі пропонується використання геоінформаційної системи QGIS для обробки супутникових зображень та даних LIDAR-знімання із подальшим використанням отриманих даних для визначення просторової конфігурації дахів споруд.

**Завдання дослідження** – визначити просторову та геометричну конфігурацію даху конкретного будинку в обраній місцевості, використовуючи дані супутникового знімання Землі спільно із даними LIDAR – знімання ландшафту.

**Необхідними вихідними даними** для визначення конфігурації даху будівлі є супутниковий або аерофотознімок даної місцевості, а також дані про ландшафт, або ж, так звані, DSM (Digital Surface Model – цифрова модель поверхні) – дані про висоту місцевості разом із усіма присутніми на її поверхні об'єктами (будівлями, деревами і т. д.) та DTM (Digital Terrain Model – цифрова модель ландшафту) – інформація про висоту місцевості БЕЗ присутніх на її поверхні по сторонніх об'єктів [3; 7].



Рис. 1. Приклад чотирьохканалного супутникового знімку земної поверхні

Першим етапом автоматизації визначення конфігурації дахів будівель є побудова DEM (Digital Elevation Model – цифрова модель перевищення). Вона отримується шляхом виконання операції віднімання над растрами DSM та DTM. Отриманий в результаті растр дає інформацію про висоту об'єктів, які знаходяться вище рівня поверхні даної місцевості – споруд, дерев, кущів, та інших об'єктів [8].



Рис. 2. Невідфільтрована DEM

Наступний етап – фільтрація за висотою, яка дозволяє відсіяти всі сторонні об'єкти, висота яких не перевищує задану (або, залежно від місцевості, перевищує задану) [6].



Рис. 3. Відфільтрована за висотою DEM

Дуже важливим етапом є використання індексу NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – нормалізований відносний індекс рослинності). Даний індекс будується на основі вихідного супутникового чи

аерофотознімку і дозволяє диференціювати на знімку рослинність та об'єкти штучного походження. На основі отриманого NDVI для знімку на DEM для відповідної місцевості за допомогою координатної прив'язки відбувається фільтрація високої рослинності. Результатом усіх попередніх кроків є DEM, на якій знаходяться лише об'єкти штучного походження, які належать до даного висотного інтервалу [2].



Рис. 4. Приклад споруди разом із побудованими ізолініями

До отриманої нами DEM застосовується алгоритм побудови ізоліній, які сполучають точки із однаковою висотою. Ізолінії будуються через певний заданий інтервал, достатній для заданої точності [4, 6]. Результатом буде векторне зображення із інформацією про градацію висот для отриманих об'єктів. Використовуючи інформацію про розміщення та частоту ізоліній в конкретній області виділяються об'єкти, які мають замкнуту структуру. Отримані об'єкти, з високою долею ймовірності, і є спорудами в заданій місцевості.

Визначення конфігурації дахів споруд виконується шляхом розв'язання геометричних та стереометричних задач, вихідними умовами в яких є точність та розмірність знімку, інформація про координатну сітку та особливості розміщення ізоліній на DEM.

Для визначення висоти нижнього краю даху над рівнем земної поверхні використовується інформація про висоту найнижчої у виділеному об'єкті ізолінії. Аналогічний метод використовується для визначення найвищої точки (множини точок) у споруді, але використовуються дані ізолінії, що знаходиться найвище.

Отриману шляхом побудови ізоліній інформацію про найнижчі та найвищі точки споруди, а також межові точки, отримані поєднанням

висотної фільтрації та даних про конфігурацію ізоліній використовуємо для визначення кутів нахилу фрагментів даху. Їх можна визначити побудувавши прямокутні трикутники, катетами у яких є різниця між висотами найвищої та найнижчої точок даху та перпендикуляр проведений від висоти, опущеної із найвищої точки, до межової точки найнижчої ізолінії, а гіпотенузою – пряма, що сполучає дані точки. Одержані кути та інформація про межові точки використовуються для визначення площі фрагментів даху

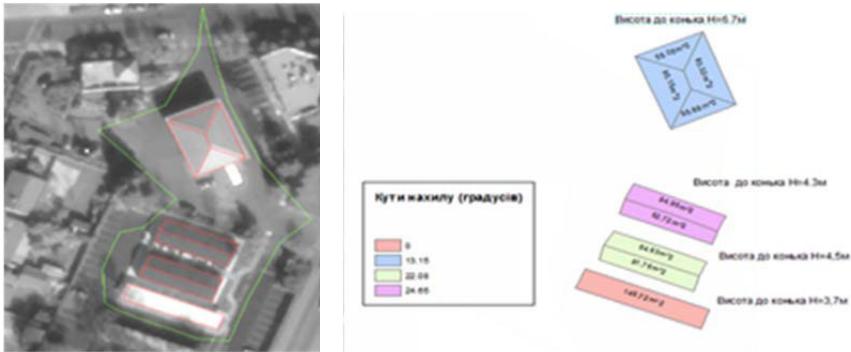


Рис. 5. Стереометричні дані про дах споруд

Останнім кроком є визначення кількості сонячної радіації, що потрапляє на одиницю площі отриманого даху впродовж одиниці часу. Для цього використовуються метеорологічні таблиці про кількість сонячних днів та кількість сонячної радіації у вибраній місцевості, а з отриманих даних робляться висновки про доцільність встановлення сонячних акумуляторів на вибраній споруді [5].

**Отже**, розроблений метод визначення конфігурації дахів споруд у вибраній місцевості може бути використаний на практиці за умови наявності супутникових чи аерофотознімків даної місцевості та даних LIDAR-знімання поверхні. Точність визначення конфігурації та стереометричних даних залежить від вихідної точності знімків та інформації про ландшафт. Метод потребує додаткового доопрацювання на етапі фільтрації, що дозволить суттєво підвищити точність та зменшити вплив сторонніх факторів на кінцеві результати. Отримані значення можуть бути використані для подальшого визначення доцільності встановлення сонячних акумуляторів на конкретну споруду у вибраній місцевості.

1. Бутаков Е. А. Обработка изображений на ЭВМ / Е. А. Бутаков, В. И. Островский, И. Л. Фадеев. – М. : Радио и связь. 1987. – 240 с.
2. Гнатушенко В. В. Розпізнавання даних дистанційного зондування різного просторового розрізнення / В. В. Гнатушенко // Системи обробки інформації. – Х., 2003. – Вип.5. – С. 202–208.
3. Книжников Ю. Ф. Аэрокосмические методы географических исследований / Ю. Ф. Книжников, В. И. Кравцова, О. В. Тутубалина. – Учеб. для студ. высш. учеб.

заведений. – М. : Издательский центр «Академия», 2004. – 336 с. 4. Королев Ю. К. Общая геоинформатика. / Ю. К. Королев. – Вып. 1. – М. : СП Дата+, 1998. – 71 с. 5. Кошкарев А. В. Геоинформатика / А. В. Кошкарев, В. С. Тикунов. – М. : Картоцентр-Геоиздат, 1993. – 213 с. 6. Линник В. Г. Построение геоинформационных систем в физической географии / В. Г. Линник. – М. : Изд. МГУ, 1990. – 80 с. 7. Обиралов А. И. Фотограмметрия и дистанционное зондирование / А. И. Обиралов, А. Н. Лимонов, Л. А. Гаврилова – Учебник для ВУЗов. – М. : КолосС, 2006. – 334 с. 8. Янутш Д. А. Дешифрирование аэрокосмических снимков / Д. А. Янутш. – М. : Недра, 1991. – 240 с.

---

**Stepanchenko O. M., Candidate of Engineering, Associate Professor,  
Boiko M. V., 4<sup>th</sup> year Senior Student, (The National University of Water and  
Environmental Engineering, Rivne)**

#### **DETERMINATION OF THE SPATIAL CONFIGURATION ROOFS ON THE BASIS OF HIGH ACCURACY SATELLITE OR AERIAL PHOTOGRAPHY AND LIDAR- CAPTURE OF DETERMINING INSTALLATION EFFICIENCY OF SOLAR BATTERIES**

**The article is devoted to the problem of determining the spatial configuration of roofs for further possible installation of solar batteries, and suggests a possible automated solution of the problem on the basis of satellite or aerial photography and LIDAR- capture of earth's surface using geoinformation systems.**

***Keywords:* satellite images, building detection, GIS, image processing.**

---

**Степанченко О. Н., к.т.н., доцент, Бойко М. В., студент 4 курса  
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования,  
г. Ровно)**

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНФИГУРАЦИИ КРЫШ СТРОЕНИЙ НА ВЫСОКОТОЧНЫХ СПУТНИКОВЫХ ТА АЭРОФОТОСНИМКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ LIDAR – СЪЕМКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ УСТАНОВКИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ**

**В статье рассмотрена проблема определения пространственной конфигурации крыш для установления целесообразности дальнейшего монтирования солнечных панелей, а также предложен один из возможных способов автоматизированного решения данной проблемы на основе данных спутниковой или аэрофотосъемки и данных LIDAR - съемки земной поверхности с использованием геоинформационных систем.**

***Ключевые слова:* спутниковые снимки, определение сооружений, ГИС, обработка изображений.**

Степанченко О. М., к.т.н., доцент., Громко В. О., студент 5 курсу ННІ АКОТ (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне), Степанченко С. А., студентка 4 курсу групи ІНН4, факультет іноземних мов (Львівський національний університет, м. Львів)

## РОЗРОБКА WEB-САЙТУ ДЛЯ ПОШУКУ СЛІВ ЗА ОКРЕМИМИ МОРФЕМАМИ

У статті розглядається створення веб-сайту для пошуку слів за морфемами з використання програмного пакету Python, фреймворків Django та Bootstrap, а також технологій HTML та CSS 3.0. Створений веб-додаток, доступний і простий у користуванні, з полем для дискусії між зареєстрованими користувачами, та можливістю правити вміст. Встановлений постійний зворотній зв'язок з користувачами.

Використано наступні технології: розробка динамічних веб-сторінок та шаблонів на базі HTML, CSS та шаблонна мова; перенаправлення URL; блочна верстка; розробка веб-дизайну; MVC модель; програмування на мові Python; робота з фреймворками Django та Bootstrap; створення бази даних SQLite; Regular Exressions – регулярні вирази у мові Python.

**Ключові слова:** python, django, морфема, веб-дизайн, веб-сервіс, веб-додаток, html, css, template language.

Морфема – найменша значима частина слова. Залежно від типу морфеми, вона може мати лексичне і граматичне значення, змінювати лексичне значення слова, частину мови, вказувати на рід, число чи відмінок слова, змінювати його часову форму.

Важливою проблемою при аналізі морфологічних одиниць завжди був пошук слів, що містять досліджувану одиницю. Якщо проблем пошуку слів з певним префіксом практично немає, позаяк знайти їх можна у будь-якому складеному за алфавітним показником словнику, то дослідження кореневих морфем, суфіксів та інтерфіксів завжди ускладнювалося ще на етапі відбору слів.

Хоча чимало лінгвістів зіштовхувалися і все ще мають справу з цією проблемою, досі не було створено доступного ресурсу, що допоміг би значно пришвидшити процес відбору слів.

Не лише науковці потребують подібного ресурсу. Він також потенційно корисний для всіх, хто вивчає іноземну мову, особливо для студентів-філологів. Робота з, наприклад, однокореневими словами допомагає якісно розширити словниковий запас, краще засвоїти лексичну тему, тощо [3].

Отже, нашою **метою** є створення web-сайту для пошуку слів за окремими морфемами. Це буде доступний і простий у користуванні ресурс, з полем для дискусії між зареєстрованими користувачами, та можливістю правити вміст.

На нашу думку, важливо буде встановити також постійний зворотній зв'язок з користувачами. Ми розуміємо, що даний сайт буде корисний здебільшого обмеженому колу користувачів-лінгвістів. Тому цікаво було б створити форум для спілкування та обміну думками між користувачами з обов'язковою участю адміністрації сайту.

Для створення ефективного сайту були поставлені такі **завдання**:

- Створити зручний, доступний web-сайт для пошуку слів за морфемами.
- Розробити гнучку систему роботи з словами (з можливістю сортування, відкидання непотрібних слів, тощо).
- Надати можливість зареєстрованим користувачам правити вміст, з остаточним затвердженням таких правок адміністратором ресурсу.
- Розробити форум, як поле для активного обміну думками між користувачами.
- Забезпечити постійний зворотній зв'язок з адміністрацією сайту.

Для реалізації поставлених завдань було обрано мову програмування Python та фреймворк Django, що повністю написаний на Python. З допомогою мови гіпертекстової розмітки HTML були написані шаблони та сторінки, за зовнішній вигляд яких, відповідає технологія CSS. З допомогою регулярних виразів та тегами шаблонної мови готовий результат пошуку повертається на сторінку користувача.

Вибір мови програмування Python та фреймворка Django зумовлений такими чинниками:

1. Веб-розробка – найпопулярніший напрямок для мови Python на даний час.
2. Мова Python має простий синтаксис, швидкість написання програм, великий набір бібліотек, відкритий код та широкий спектр застосування
3. Фреймворк Django обраний через його розповсюдженість та потужність.
4. Відомі сервіси Vimeo, YouTube, DropBox та багато інших – написані на Python із залученням вищевказаного фреймворку [1].

**Програмна реалізація** починається з встановлення програмного середовища Python. За цим слідує створення віртуального середовища (англ. virtual environment або скорочено virtualenv) з ім'ям morpheme. Це ізолює налаштування для Python/Django для кожного окремого проекту.



Рис. 1. Файлова структура розробленого веб-додатку

Іншими словами, будь-які зміни здійснені на одному сайті жодним чином не вплинуть на інші розроблювані вами сайти.

Активізувавши віртуальне середовище, перейдемо до встановлення фреймворку Django за допомогою пайтонівської команди **pip**. В результаті отримали повний набір інструментів для розробки сайту morpheme.com.ua.

Об'єднані разом, описані нижче компоненти програми слідують шаблону Модель-Представлення-Контролер (Model-View-Controller, MVC). Прийmemo, що MVC визначає спосіб розробки програмного забезпечення при якому код для визначення і доступу до даних (модель) відділений від логіки додатка (управління), яка в свою чергу відділена від інтерфейсу користувача (подання). Файл models.py містить опис таблиці бази даних, представлений у вигляді класу Python. Такий клас називається моделлю. За допомогою даного класу можна створювати, одержувати, оновлювати і видаляти записи в таблиці бази даних, використовуючи простий код

мовою Python замість використання повторюваних SQL команд.

Файл views.py містить логіку відображення сторінки у функції search (). Така функція називається поданням [1; 2].

При заповненні форми пошуку бажаними критеріями та при її обробці передаються параметри, такі з яких ясно як буде здійснюватися пошук, по префіксу, суфіксу чи по кореню слова, та найголовніше – сам буквенний критерій. У вищевказаному файлі йде обробка виконаного формою запиту. В залежності від критеріїв пошуку формується регулярний вираз, з яким будуть. За допомогою шаблонної мови, знайдені слова ми повертаємо списком на сторінку з результатами пошуку.

Файл urls.py визначає яке саме подання буде викликано для URL, заданого у вигляді шаблону. В даному випадку URL / search / буде оброблено функцією search().

Іншими словами, якщо ім'я вашого домену morpheme.com.ua, то будь-який доступ до <http://morpheme.com.ua/search/> буде оброблений функцією search ().

Файл morpheme-search.html є HTML шаблоном, який описує дизайн сторінки. Він використовує шаблонну мову з основними логічними операторами – { % for word in dictionary % }.

Основна перевага такого підходу полягає у свободі об'єднання вищевказаних компонентів. Отже, кожна окрема частина програми,

створеного за допомогою Django, має одне призначення і може бути змінена незалежно, тобто, без впливу на інші компоненти. Наприклад, розробник може змінити URL для даної частини програми без зміни решти коду. Дизайнер може змінити HTML сторінки без внесення змін в код, який відображає сторінку. Адміністратор бази даних може перейменувати таблицю і визначити ці зміни в одному місці, замість того, щоб шукати і вносити зміни в безліч файлів [4; 5].

Розроблений веб-додаток для пошуку слів за морфемами із назвою morpheme.com.ua має наступні можливості:

для зареєстрованих користувачів:

- Створення нових постів.

Щоб створити новий пост, користувачу необхідно заповнити поля з назвою та текстом матеріалу.

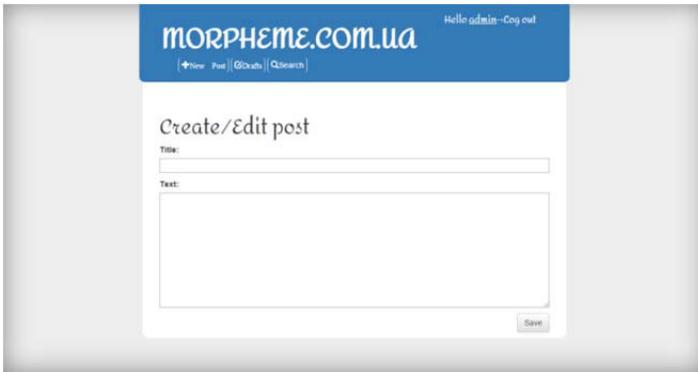


Рис. 2. Створення нового посту

- Додавання коментарів.

Коментарі додаються до будь-якого посту всіма користувачами, навіть не зареєстрованими. Але вони повинні пройти модерацию, тобто перевірку.



Рис. 3. Відкритий пост та додавання коментарів до нього

для адміністратора:

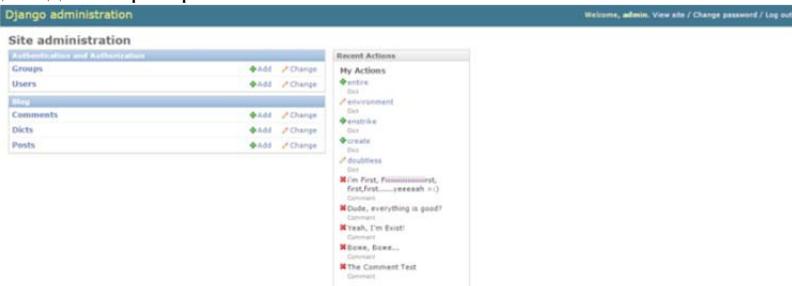


Рис. 4. Сторінка адміністратора сайту

- Створювати нові пости;

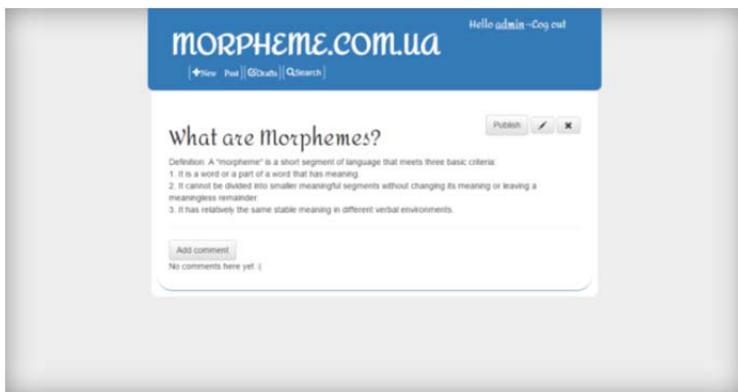


Рис. 5. Публікація неопублікованого посту

- Публікувати пости-чернетки;

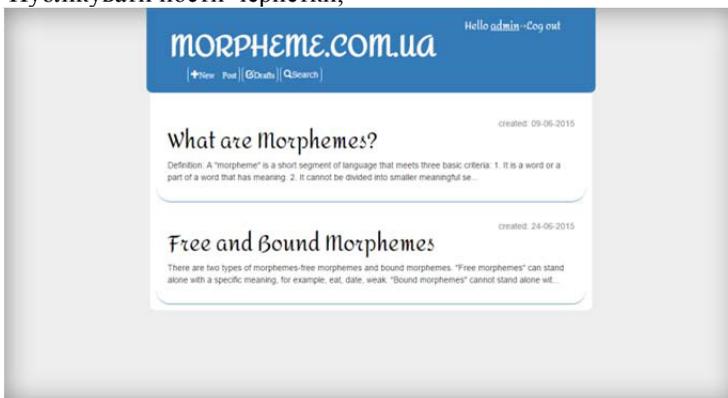


Рис. 6. Неопубліковані пости

- Знищувати опубліковані пости, пости-чернетки та коментарі будь-яких користувачів;
- Додавати нові слова у словник.

При заповненні форми пошуку бажаними критеріями та при її обробці передаються параметри, такі з яких ясно як буде здійснюватися пошук, по префіксу, суфіксу чи по кореню слова, та найголовніше – сам буквенний критерій. У вищевказаному файлі йде обробка виконаного формою запиту. В залежності від критеріїв пошуку формується регулярний вираз, з яким будуть За допомогою шаблонної мови, знайдені слова ми повертаємо списком на сторінку з результатами пошуку [6].

Пошук слів за морфемами може бути здійсненим будь-яким користувачем веб-сервісу. Пошук слів можна здійснювати за такими морфемами: префіксом, суфіксом, коренем. Також реалізований пошук за алфавітом.

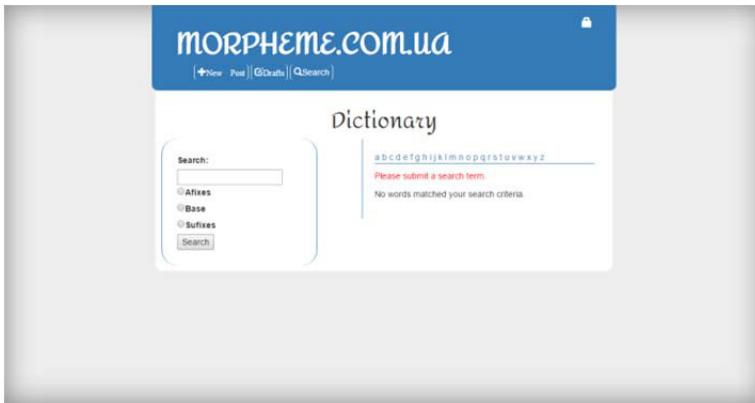


Рис. 7. Сторінка пошуку слів без результатів

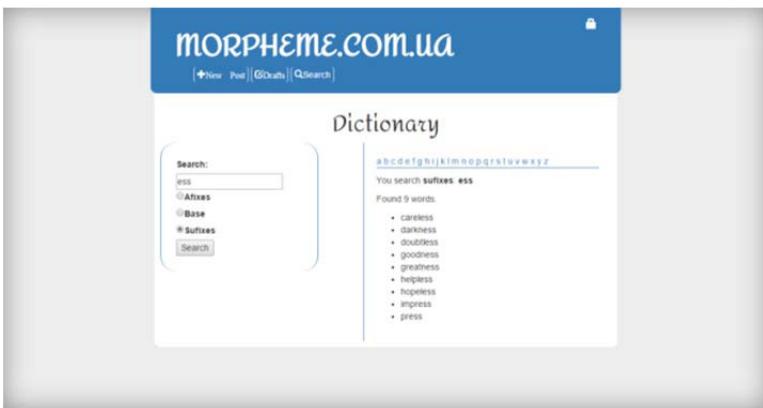


Рис. 8. Сторінка пошуку слів з результатами

**В статті отримані наступні основні результати роботи:** **1.** Створено тематичний web-сервіс «morpheme.com.ua» з використанням технологій програмування Python, HTML, CSS, фреймворків Django та Bootstrap, який складається з 9-и web-сторінок. **2.** Було розроблено адаптивний, сучасний, зручний і зрозумілий для користувача інтерфейс. **3.** Доведено, що цей сайт може значно зекономити час користувачу.

1. Марк Лутц. Изучаем Python / Марк Лутц. – [4-е видання] – 2000. – 516 с. 2. Марк Лутц. Программирование на Python / Марк Лутц. – [4-е видання] – 2000. – 660 с. 3. Сучасна українська мова: Морфологія: Підручник. Затверджено МОН / За ред. А. К. Мойсієнка. – К., 2013. – 524 с. 4. Макфарланд, Девід. Большая книга CSS : [переклад з англійської] / Девід Сойер Макфарланд. – Санкт-Петербург [и др.] : – Питер : Питер Пресс, 2009. – 512 с. : ил., табл. ; 24 см. 5. Стефанов С. JavaScript. Шаблоны / Стоян Стефанов – Пер. с англ. – СПб : Символ\_Плюс, 2011. – 272 с., ил. 6. Каллахан И. К. Ваша WEB-страница. Проблемы и решения / И. К. Каллахан. – М. : «ЭКОМ», 2001. – 290 с.

---

**Stepanchenko O. M., Candidate of Engineering, Associate Professor,**  
**Hromko V. O., 5<sup>th</sup> year Senior Student,** (The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne), **Stepanchenko S. A., 4<sup>th</sup> year Senior Student** (Lviv National University, Lviv)

## **THE CREATION OF A WEBSITE FOR SEARCHING WORDS BY A MORPHEME**

**This article describes the creation of a website for searching words by a morpheme. In the process, the software package Python, Django frameworks and Bootstrap, as well as technologies HTML and CSS 3.0 were used. The goal was to create an application that will be simple and easy to use, with an opportunity for discussing by the authorized users, and a possibility to edit the content. The importance of receiving feedback from the users was also taken into consideration. The used technologies include: the development of dynamic web pages and templates based on HTML, CSS and template language; Redirect URL; block layout; web development design; MVC model; programming in Python; Work with Django frameworks and Bootstrap; creating a database SQLite; Regular Expressions - regular expressions in Python.**

**Keywords:** python, Django, morpheme, web design, web service, web-applications, html, css, template language.

---

**Степанченко О. Н.**, к.т.н., доцент, **Громко В. О.**, студент 5 курса (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно), **Степанченко С.А.**, студентка 4 курса (Львовский национальный университет, г. Львов)

## **СОЗДАНИЕ ВЕБ-САЙТА ДЛЯ ПОИСКА СЛОВ ЗА ОТДЕЛЬНЫМИ МОРФЕМАМИ**

**В статье рассматривается создание веб-сайта для поиска слов по морфемах, с использованием программного пакета Python, фреймворков Django и Bootstrap, а также технологий HTML и CSS 3.0. Создан веб-приложение, доступное и простое в использовании, с полем для дискуссии между зарегистрированными пользователями и возможностью править содержимое. Установлена постоянная обратная связь с пользователями. Использованы следующие технологии: разработка динамических веб-страниц и шаблонов на базе HTML, CSS и шаблонного языка; перенаправление URL; блочная верстка; разработка веб-дизайна; MVC модель; программирование на языке Python; работа с фреймворками Django и Bootstrap; создание базы данных SQLite; Regular Exressions - регулярные выражения в языке Python.**  
*Ключевые слова:* python, django, морфема, веб-дизайн, веб-сервис, веб-приложение, html, css, template language.

Бачишина Л. Д., ст. викладач, Ільчук М. П., магістр (Національний університет водного господарства і природокористування)

## РЕАЛІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ REALTIME В ASP.NET

**В роботі розглядається застосування технології реального часу ASP.NET SignalR для створювати асинхронних веб-додатків, які мають найбільш сучасний тип інфраструктури для створення сайтів та відправлення контенту з серверів до клієнтів.**

**Ключові слова:** ASP.NET MVC, JavaScript (JS), SPA, SignalR.

Інтернет є одним з найважливіших винаходів в історії людства, який кардинально змінив наше життя. Для членів соціуму нічого не може бути краще, ніж швидкий спосіб спілкування зі світом, який забезпечує доставку мультимедійного контенту практично без затримки.

За ці декілька десятиліть існування Інтернет розвинувся з сукупності простих мереж з елементарними операціями до масштабного проекту, що поєднав усю інформацію, доступну людству, даючи можливість заробляти на ньому мільйони доларів.

Технологія ASP.NET SignalR дозволяє створювати асинхронні веб-додатки в реальному часі, які мають найбільш сучасний тип інфраструктури для створення сайтів та відправлення контенту з серверів до клієнтів в режимі реального часу.

Клієнти, переглядаючи сторінки на сайті, отримують нові оновлення в режимі реального часу без необхідності натискати що-небудь або оновлювати сторінку.

Всі тенденції в Інтернеті зосереджені на наданні кращого користувачам найкращих сервіс-послуг. Розробники перейшли від обслуговування статичних HTML веб-сторінок в динамічні сторінки, які можуть бути оновлені на основі дій користувача. З'явилася можливість використовувати на стороні клієнта мови (в основному JavaScript) для обробки певних подій в браузері, для зменшення необхідності оновлення веб-сторінки, щоб отримати новий контент. В даний час існує більш сучасний підхід: доставка в режимі реального часу контенту з серверів клієнтам, тобто застосовуються серверні технології в поєднанні з JavaScript. Це область, в якій SignalR вступає в гру.

Компільований код виконується швидше, більшість помилок знаходиться ще на стадії розробки

Значно поліпшена обробка помилок часу виконання, з використанням блоків try ... catch. Користувальницькі елементи управління (controls) дозволяють виділяти часто використовувані шаблони, такі як меню сайту.

ASP.NET спирається на багатомовні можливості .NET, що дозволяє писати код сторінок на VB.NET, Delphi.NET, Visual C/C++ тощо.

Кешування всієї сторінки або її частини для збільшення продуктивності.

Можливість поділу візуальної частини та бізнес-логіки з різних файлів («code behind»), розширювана модель обробки запитів, розширена модель, розширювана модель серверних елементів керування, наявність master-сторінок для завдання шаблонів оформлення сторінок, підтримка CRUD-операцій при роботі з таблицями через GridView, вбудована підтримка AJAX.

ASP.NET має перевагу у швидкості в порівнянні з іншими технологіями, заснованими на скриптах.

Тут можна навести певні порівняння. Так, ASP – похідна від Win32, XML і HTML; PHP – від XML, HTML, Java і CDI, тоді ASP.NET – від HTML і .NET (XML і XAML відповідно). При цьому, якщо зазвичай Rich Media Application створюють за допомогою Flash, тепер це робиться за допомогою модуля Silverlight, так само через сам ASP.NET. ASP.NET – багатше середовище для розробки та розгортання веб-ресурсів. У ASP.NET можна працювати з будь-якою .NET мовою, аж до Managed C++ і Visual Basic, що дозволяє не замислюватися про перехід на C#.

**Насправді, SignalR – це не що інше, як бібліотека на верхньому шарі .NET Framework і JQuery (або якоїсь іншої технології на стороні клієнта).**

Іншими словами, ASP.NET SignalR полегшує роботу деяких розробників у створенні веб-додатків в режимі реального часу, надаючи інтерфейси прикладного програмування (API), які готові до використання.

Можна написати свою власну реалізацію для веб-розробки в реальному часі у верхньому шарі .NET Framework на основі своїх потреб. Це називається SignalR Prime, KeyvanR або APressR, але SignalR є готовою бібліотекою, яка призначена для вирішення майже будь-яких сценаріїв в веб-розробці в режимі реального часу. Таким чином, це більш економічний, ефективний і безризиковий спосіб застосовувати SignalR для реального часу у веб-додатках.

З SignalR легко будувати додатки, які складаються з клієнтських і серверних сторін. ASP.NET SignalR забезпечує обидві частини з коробки, пропонуючи бібліотеки, які можуть бути інтегровані у особисті проекти. Слід відзначити, що на стороні клієнта використання серверних компонентів в ASP.NET SignalR є дуже схожим один до одного, так що знаючи концепції JavaScript, можна відносно легко досягти будь-якого іншого типу клієнта.

Отже, ASP.NET SignalR – це набір бібліотек для .NET Framework, JavaScript / JQuery, IOS, та інших платформ. Це забезпечує серверні і клієнтські реалізації, для побудови веб-додатків в реальному часі. SignalR спрощує розробку систем реального часу, приховуючи деталі реалізації та допоміжну інфраструктуру. Це також ефективна і розширювальна бібліотека, яка готова до використання для широкого діапазону застосувань.

SignalR поставляється з трьома основними характеристиками:

- гнучкий SignalR (flexible): це забезпечує різні шари інструментів, щоб дозволити розробникам будувати свої користувацькі додатки. З одного боку, ASP.NET SignalR пропонує концентратори, які надають простий і швидкий спосіб створення веб-додатків в режимі реального часу і приховують деякі деталі, щоб полегшити роботу веб-розробників. З іншого боку, постійні з'єднання є основним інструментом створення додатків, які дають більше гнучкості, однак це вимагає більше зусиль, щоб впоратися з цими речами самостійно, про це турбується концентратор SignalR .

- розширювальна SignalR (extensible): багато компонентів в ASP.NET SignalR призначені для того, щоб замінювалися користувацькою реалізацією, якщо це необхідно. ASP.NET SignalR інтегрувала впровадження залежностей у своїй внутрішній структурі, щоб запропонувати хороший рівень розширюваності. Ці компоненти легко можна змінити.

- масштабований SignalR (scalable): ASP.NET надає SignalR деякі вбудовані механізми для того, щоб веб-розробники могли масштабувати додаток легко. Серверний додаток SignalR на кількох серверах може ввести набір загальних проблем, але ці проблеми вирішуються за допомогою набору розширюваних функцій в SignalR.

Крім цих основних характеристик, ASP.NET SignalR надає набір функцій для вирішення загальних проблем. SignalR пропонує хороший набір налагодження і трасування функцій. Точно так само, SignalR легко налаштувати і безпечно використовувати у хмарних хостингах, що є гарячою темою в сучасному програмному забезпеченні. Windows Azure є популярним варіантом Microsoft для хмарних хостингів.

Коли ми говоримо про архітектуру, ми маємо на увазі архітектуру серверної частини ASP.NET SignalR, тому загальна архітектура високого рівня для всієї технології SignalR є архітектура клієнт-сервера. Але на стороні сервера бібліотека SignalR складається з складної архітектури, яка використовує одну з чотирьох платформ. Залежно від мережевої інфраструктури та доступності, одна з цих чотирьох платформ використовується в порядку черговості. Якщо точкою зв'язку є хаб, це дозволяє спростити логіку для клієнтів і викликати основні функції постійного з'єднання в SignalR. Якщо постійне підключення використовуються безпосередньо, розробники повинні подбати про отримання вихідних даних від клієнтів і вилучення метаданих.

HTTP є протоколом, що не забезпечує механізм зворотного виклику для серверів і клієнтів. Це головна проблема для веб-розробки в реальному часі, оскільки потрібно, передавати інформацію з серверів до клієнтів, коли з'являється нова. Більшість зусиль побудови додатків в режимі реального часу присвячені вирішенню цього завдання.

Щоб вирішити цю проблему, використовуються різні методи, щоб помістити вміст з сервера (іv) на клієнта (іv), ці методи можуть бути розділені на дві групи:

- традиційні підходи: в основному покладаються на використання хаків і трюків, щоб досягти цієї мети. Ці підходи будуються на основі концепції довгих зв'язків між серверами HTTP і клієнтами, які також відомі як Comet.

- сучасні підходи: використовуються функції, що з'явилися в HTML5.

Чотири варіанти транспорту, які потрапляють в ці дві категорії:

- Long polling
- Forever frame
- Server-sent events
- WebSockets.

Інші проблеми для веб-розробки, пов'язані з режимом реального часу, викликані традиційними підходами (тобто, Comet), бо тривале з'єднання HTTP може виснажувати батареї на мобільних пристроях і споживати інші ресурси на клієнті і сервері. Таким чином, реалізації Comet мають вирішальне значення для досягнення максимальної ефективності.

Хоча таке завдання існує і для традиційного Comet, нові підходи, засновані на HTML5 також мають обмеження з поточним станом мережі Інтернет. Наприклад, використання WebSockets залежить від апаратного та програмного забезпечення між клієнтом і сервером. Так вся мережева інфраструктура між клієнтом та сервером базується на підтримці WebSockets і інфраструктура програмного забезпечення в приймаючій операційній системі також повинна підтримувати їх. В даний час, функція WebSockets підтримується тільки в Windows Server 2012.

Останньою проблемою для веб-розробки в реальному часі – це реалізація режиму жорсткого реального часу.

Якщо припустити, що всі ці проблеми вирішуються, контент від сервера до клієнта повинен бути доставлений протягом дуже короткого періоду часу (як правило, менш ніж за 1 секунду), це і є режим реального часу. Таке обмеження зобов'язує розробників створювати легкі і ефективні реалізації.

В наш час важко уявити інтернет-сервіси без режиму реального часу, які дають змогу користувачам отримувати оновлення безпосередньо після їх появи не оновлюючи сторінки. З появою сучасних технологій таких як Server-Sent Events, WebSockets реалізація системи реального часу стає доступнішою та легшою, тому все більше сайтів використовують її у своїй розробці. Це виводить інтернет-користувачів на новий рівень спілкування.

**Нами розроблено сайт соціальної мережі Ukrainci.** Архітектура всього сайту побудована за допомогою механізму груп SignalR. В першу чергу, це зроблено з метою оптимізації. Для розробки нашої соціальної мережі найбільше підійшов SignalR, як кращий додаток для організації режиму реального часу на платформі ASP.NET, адже він дає можливість створювати

системи обміну повідомленнями, багатокористувацькі чат-кімнати, отримання сповіщень, оновлення новин. А також потрібно не забувати про старі браузери, які не підтримують нові технології HTML5, в цьому і є корисний SignalR, написавши один інтерфейс, який буде працювати всюди на всіх типах клієнтів.

Сайт соціальної мережі Ukrainci розділено на логічні групи (Рис.1): загальні новини; новини друзів; сторінка користувача.

Зі сторінки “Загальні новини” можна перейти в будь-який хеш-тег за допомогою пошуку по хештегах у верхній частині сторінки, або перейти у вже підписані хеш-теги. Користувач може і не знаходитися на сторінці “Загальних новин”, але йому все одно придуть оновлення кількості лайків, що відносяться до його постів. Потрібно відправляти оновлення тільки до тих користувачів, які саме в цей час переглядають контент.

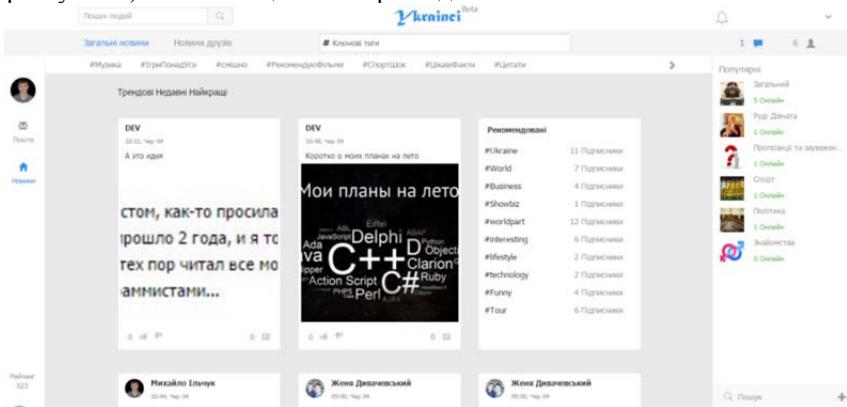


Рис. 1. Головна сторінка сайту Ukrainci

Коли користувач переходить на сторінку “Новини друзів”, він отримує лише ті оновлення, що пов’язані з цією сторінкою. Всі коментарі, лайки, дизлайки до постів та фотографій оновлюються в режимі реального часу.

Кожен зареєстрований користувач має свою персональну сторінку на якій містяться фотографії, пости та список друзів.

Сторінка кожного користувача – це логічна група “user/userId”. Коли користувач переходить на сторінку будь-якого іншого користувача, він автоматично приєднується до логічної групи “user/userId”.

У трьох, описаних вище сторінках сайту, весь контент відкривається у модальному вікні. Це допомагає краще сконцентруватися на перегляді певного контенту. Наприклад, коли користувач дивиться фото, відео, читає інформацію у модальному вікні, то бачить тільки цей контент, фон сайту затемнюється, щоб нічим не відволікати користувача

Всі доступні чат-кімнати знаходяться в правій колонці на сторінці сайту. Ця колонка доступна на усіх сторінках сайту для авторизованих

користувачів. Чат-кімната – це місце, де можуть спілкуватися багато людей на певну тему, обговорювати якусь подію, просто розповідати історії, висловлюючи свої думки. Чат-кімнату може створити будь-який користувач за допомогою кнопки, що знаходиться в низу цієї колонки.

Всі користувачі цієї мережі можуть писати один одному повідомлення, вести діалоги, легко перемикаючись на розмови з різними людьми. Повідомлення відправляються в режимі реально часу.

Система обліку користувачів-онлайн також організована за допомогою SignalR, що дозволяє в режимі реального часу показувати коли користувач зайшов на сайт і коли вийшов. Якщо користувач є онлайн, біля його фотографії міститься зелена позначка.

Коли будь-який користувач заходить на сайт, виконується функція SignalR OnConnected() – це одна з базових функцій SignalR. Крім OnConnected(), є ще функції OnReconnected() та OnDisconnected(). Саме за допомогою цих трьох функцій і побудована система обліку онлайн-користувачів на сайті.

Дані методи API SignalR побудовані за допомогою Task Parallel Library, тому вони можуть бути асинхронними. В методі OnConnected() пишуть код, який повинен виконатися, коли користувач заходить на сайт, наприклад, зберегти користувача в список, зберегти його ідентифікатор з'єднання, оновити щось.

Все таки потрібно розрізняти SignalR-з'єднання, транспортне з'єднання та фізичне з'єднання:

- **SignalR-з'єднання** відноситься до логічного взаємозв'язку між клієнтом і сервером, підтримуваним API SignalR і однозначно ідентифікується по ідентифікатору з'єднання. Дані про цей зв'язок підтримуються SignalR і використовуються для встановлення транспортного з'єднання. Коли з'єднання переривається, або пройшло обмеження по таймауту SignalR намагається відновити втрачене транспортне з'єднання.

- **Транспортне з'єднання** відноситься до логічного взаємозв'язку між клієнтом і сервером, підтримується одним з чотирьох транспортних інтерфейсів: WebSockets, server-sent events, forever frame, або long polling. SignalR використовує транспортний інтерфейс API, щоб створити транспортне з'єднання, і транспортний API залежить від існування фізичного мережевого з'єднання, щоб створити транспортне з'єднання. Транспортне з'єднання закінчується, коли закінчується робота SignalR, або коли транспортний API виявляє, що фізичне з'єднання розривається.

- **Фізичне з'єднання** відноситься до фізичної мережі зв'язку – дроти, бездротові сигнали, маршрутизатори і т.д., які полегшують спілкування між клієнтським комп'ютером і комп'ютером-сервером. Фізичне з'єднання повинне бути присутнім для того, щоб встановити транспортне з'єднання, а транспортне з'єднання повинно бути встановлено для того, щоб встановити

з'єднання SignalR. Однак, подолавши фізичний зв'язок не завжди можна негайно припинити транспортне сполучення або з'єднання SignalR.

На наступній діаграмі (рис. 2), підключення SignalR представлений API концентратором і PersistentConnection API, фізичне з'єднання представлено лініями між сервером і клієнтами.

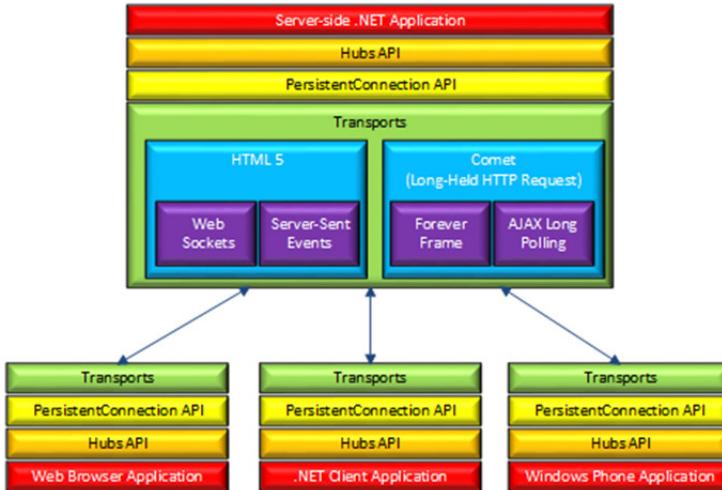


Рис. 2. Діаграма підключення SignalR API концентратора і PersistentConnection API

Розглянемо детальніше, що відбувається коли користувач заходить на сайт.

В першу чергу, на клієнті ініціалізується з'єднання та посилається запит на сервер, де одразу ж виконується метод OnConnected(), в якому користувач додається до списку онлайн користувачів та сигналізує всім своїм друзям, що він уже онлайн. При закритті з'єднання все відбувається з точністю навпаки – видаляється з списку та сигналізує друзям, що він вже офлайн.

Кількість онлайн друзів перераховується також при авторизації користувача.

**Висновки.** В наш час важко уявити інтернет-сервіси без режиму реального часу, які дають змогу користувачам отримувати оновлення безпосередньо після їх появи не оновлюючи сторінки. З появою сучасних технологій таких як Server-Sent Events, WebSockets реалізація системи реального часу стає доступнішою та легшою, тому все більше сайтів використовують її у своїй розробці. Це виводить інтернет-користувачів на новий рівень спілкування.

У ході виконання роботи була побудована архітектура системи реального часу. Ми використали для розробки додаток SignalR, який показав себе добре

з усіх сторін. Основною перевагою є простота та швидкість роботи з ним. Програміст-розробник може навіть не задумуватися про кросплатформенність і про те чи підтримує певний клієнт якусь технологію, чи ні. Все це бере на себе SignalR, маючи можливість підбирати технологію, яка підтримується на клієнті найкраще, та можливість працювати з багатьма клієнтами на різних транспортних опціях.

1. SignalR: Real-time Application Development Paperback – June 7, 2013 by Einar Ingebrigtsen. 2. SignalR Programming in Microsoft ASP.NET (Developer Reference) Paperback – February 25, 2014 by José M. Aguilar. 3. Pro ASP.NET MVC 4 Paperback – January 16, 2013 by Adam Freeman. 4. <http://www.asp.net/mvc>. 5. <http://www.asp.net/signalr>. 6. Pro ASP.NET MVC 5 (Expert's Voice in ASP.Net) Paperback – December 20, 2013 by Adam Freeman. 7. <http://metanit.com/sharp/mvc5/>. 8. Эндрю Троелсен. Язык программирования C# 5.0 и платформа .NET 4.5. – 6-е издание, 3 кв.; Вильямс, 2015. – 1312 с. 9. Джозеф Албахари, Бен Албахари. C# 5.0. Справочник. Полное описание языка. – 5-е издание (2014, DjVu).

---

**Bachyshyna L. D., Senior Lecturer, Ilchuk M. P., Master's-degree Student**  
(The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

## **REAL-TIME TECHNOLOGIES IMPLEMENTATION IN ASP.NET**

**The application of real-time technologies ASP.NET. SignalR is considered in the paper to create asynchronous web applications. These technologies have the most modern type of infrastructure for creating websites and sending content from servers to clients.**

***Keywords:* ASP.NET MVC, JavaScript (JS), SPA, SignalR.**

---

**Бачишина Л. Д., старший преподаватель, Ильчук М. П., магистр**  
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования,  
г. Ровно)

## **РЕАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ REALTIME В ASP.NET**

**В работе представлено использование технологий реального времени ASP.NET SignalR для создания асинхронных веб-приложений, которые имеют наиболее современный тип инфраструктуры для создания сайтов и отправки контента с серверов к клиентам.**

***Ключевые слова:* ASP.NET MVC, JavaScript (JS), SPA, SignalR.**

Матус С. К., к.т.н., доцент, Груша К. М., студентка 4 курсу ННІ АКОТ (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## ОПЕРАТИВНИЙ КОНТРОЛЬ ЗА ВОЛОГОЗАПАСАМИ ҐРУНТУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕНЗІОМЕТРИЧНОГО МЕТОДУ

У роботі запропоновані методика розрахунку вмісту вологи за величиною потенціалу ґрунтової вологи та ідентифікація основної гідрофізичної характеристики із застосуванням тензіометричних вологомірів.

**Ключові слова:** вологість, ґрунт, гідрофізична характеристика, тензіометр

Здатність ґрунту проводити воду є важливим показником, необхідним для різних меліоративних розрахунків. Вивченням кількісних закономірностей переміщення вологи в ґрунті займалися А. М. Алпатьєв, А. Д. Воронін, А. М. Глобус, М. О. Муромцев, А. А. Роде, І. І. Судніцин та ін. [1-4].

Інформація про вологопровідність може бути використана для математичного (кількісного) аналізу різних випадків переміщення ґрунтової вологи, що відбувається в природних умовах: фільтрації води через ґрунт, надходження вологи від рівня ґрунтових вод до поверхні, поглинання вологи ґрунтом, надходження ґрунтової вологи до коріння рослин.

Так, використання рівняння вологопереносу для прогнозування руху вологи в зоні аерації передбачає наявність достовірної інформації про гідрофізичні властивості ґрунту, тим самим виникає необхідність у визначенні ряду функцій, які описують властивості ґрунтів утримувати і проводити ґрунтову вологу під дією термодинамічних сил та їх градієнтів. До таких функцій відносяться: функція водоутримання або основна гідрофізична характеристика (ОГХ), це залежність всмоктуючого тиску ґрунту від його вологості  $\psi(W)$  і функція вологопровідності ненасичених ґрунтів. ОГХ характеризує енергетичний стан вологи в ґрунті і безпосередньо пов'язана з його основними гідрофізичними і фізико-механічними властивостями. Через вплив гистерезису вона неоднозначна для процесів осушення і зволоження. Говорячи про функцію вологопровідності, розрізняють характеристику вологопровідності, що пов'язує коефіцієнт вологопровідності і потенціал ґрунтової вологи  $k(\psi)$  та характеристику, яка пов'язує коефіцієнт вологопровідності ґрунту і його вологість  $k(W)$ . Ці характеристики є відображенням будови порового простору ґрунту і тому пов'язані між собою.

На основі уявлення про будову порового простору і феноменології руху води в порах ґрунту було багато спроб встановити аналітично зв'язок між цими характеристиками [2].

Універсальною функцією, що відображає вплив усіх факторів, які можуть впливати на енергетичний стан води в ґрунті, є потенціал води. Як відомо, вода переміщується завжди від більшого потенціалу до меншого. Діноючою силою при цьому є градієнт вільної енергії або потенціалу ґрунтової води, що відображає сили, які викликають ізотермічний потік води. В ізотермічних умовах складниками потенціалу води є: капілярний тиск, осмотичні і гравітаційні сили. Внаслідок цього гідравлічна провідність ненасичених вологою ґрунтів (капілярна провідність  $k$ , м/добу) характеризується не одним значенням (як при насиченому вологоперенесенні), а є функцією від всмоктуючого тиску  $k = k(\psi)$  або від вологості ґрунту  $k = k(W)$ .

З точки зору вологопровідності ґрунтовий профіль ділиться на дві частини: знизу – область повного насичення, де рух вільної води відбувається під впливом сили тяжіння, згідно із законами фільтрації, а зверху – область з рухом води у ненасиченому ґрунті.

На практиці немає єдиного методу, який би дозволив одержати ОГХ  $\psi(W)$  в межах діапазону природної вологості. Для одержання такої залежності звичайно застосовують декілька експериментальних методів: тензіометричний – в діапазоні від 0 до 80 кПа; мембранного пресу або вимірювання в центрифугі – 0...1000 кПа [3; 5]; гігроскопічний – 3000...230000 кПа.

У діапазоні води від повної вологомісткості (ПВ) до 50-60% найменшої (НВ) основна роль у взаємодії води з твердою фазою ґрунту належить капілярно-сорбційним силам. Тому при контролі стану й доступності ґрунтової води для рослин нами розглядався тензіометричний метод, який реалізовувався за допомогою тензіометричних вологомірів.

Тензіометри прості за конструкцією і надійні в експлуатації. Але вони мають свої недоліки – необхідність постійної перезаправки водою та необхідність постійного перерахунку тиску на вологість ґрунту.

Дослідженнями Інституту водних проблем і меліорації НААН України (ІВПіМ) [6] і ряду інших науковців встановлено, що використання тензіометрів для контролю вологості кореневого шару ґрунту забезпечує необхідну точність і оперативність порівняно з іншими методами.

Тому, запропоновано конструкцію тензіометра з автоматичною дозаправкою [7], яка конструктивно складається із двокамерної пластикової труби із вимірювальним 1 та підживлюючим 2 керамічними фільтрами (рис. 1).

Розроблено програмне забезпечення для мікроконтролера, яке забезпечує залежно від призначення датчика роботу в двох режимах: в режимі вимірювання вологості кореневого шару ґрунту з автоматичною дозаправкою або в режимі періодичного вимірювання на двох глибинах ґрунтового профілю.

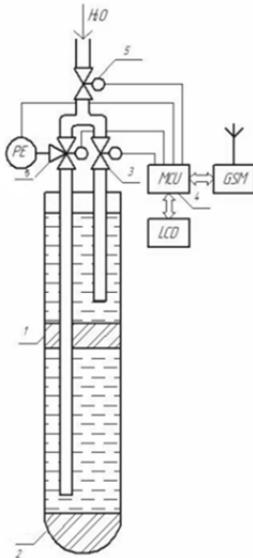


Рис. 1. Конструкція тензіометра з автоматичною дозаправкою:

- 1 – вимірювальний фільтр;
- 2 – підживлюючий фільтр;
- 3, 5 – двоходові електромагнітні клапани;
- 4 – мікропроцесорний пристрій;
- 6 – трьохходовий електромагнітний клапан.

Дані про всмоктуючий тиск ґрунту по безпровідному каналу зв'язку передаються на диспетчерський пункт. Пристрій має можливість передавати дані як по радіоканалу, так і з використанням GSM-мережі.

При використанні тензіометрів, актуальною є задача розрахунку вологості за їх показами. Залежність всмоктуючого тиску ґрунту від його вологості  $\psi(W)$  чутлива до зміни механічного складу ґрунту. Так, в роботі [8] запропонована методика розрахунку вмісту води в ґрунті за величиною потенціалу (тиску) ґрунтової води при нормуванні ґрунтів за питомою поверхнею, але не враховується механічний склад ґрунтів, що вносить додаткову похибку, особливо в області високих вологостей. Тому, враховуючи викладене, *методика розрахунку вмісту води за величиною потенціалу ґрунтової води* передбачає відповідно до основного закону термодинаміки [9], використання аналітичної функціональної залежності між капілярним потенціалом (тиском)  $\Psi$  і

вмістом води  $W$  в ґрунті різного механічного складу

$$\psi = -\left(\text{ctg}(\overline{W} + c) - d\right), \quad (1)$$

де  $\Psi$  – потенціал ґрунтової води (покази тензіометра, атм);  $\overline{W}$  – показник ґрунтової води, рад (табл. 1);  $c$  і  $d$  – параметри, що визначаються за експериментальними даними (табл. 2).

Таблиця 1

Показники ґрунтової вологи  $\overline{W}$ , рад при різних тисках

Ґрунт	Тиск, атм	
	0,33	0,8
1. Ґрунти легкосуглинистого механічного складу	0,99	0,67
2. Торфові ґрунти	1,00	0,68
3. Дерново-підзолисті глеєві ґрунти супіщаного механічного складу	0,99	0,7

Виходячи з цих міркувань, проведені розрахунки коефіцієнтів рівняння (1)  $c$  і  $d$ , для кожного ґрунту (табл. 2), використовуючи системи рівнянь

$$\begin{cases} 0,33 = ctg(0,99 + c) + d \\ 0,8 = ctg(0,67 + c) + d \end{cases} \quad \begin{cases} 0,33 = ctg(1,00 + c) + d \\ 0,8 = ctg(0,68 + c) + d \end{cases} \quad \begin{cases} 0,33 = ctg(0,99 + c) + d \\ 0,8 = ctg(0,70 + c) + d \end{cases} \quad (2)$$

Таблиця 2

Коефіцієнти рівняння для різних типів ґрунтів

Ґрунт	$c$	$d$
1. Ґрунти легкосуглинистого механічного складу	0,1554	0,1231
2. Торфові ґрунти	0,1762	0,1174
3. Дерново-підзолисті глеєві ґрунти супіщаного механічного складу	0,0712	0,2289

За цією методикою, при використанні тензіометрів, значення вологості розраховуємо за формулою

$$W = (W_{0,33} - W_{15}) \cdot (\text{arcctg}(\psi + c) - d) + W_{15}, \quad (3)$$

де  $c, d$  – параметри рівняння, що визначаються за експериментальними даними, наведені в табл. 2;  $W_{0,33}$  і  $W_{15}$  – вологості ґрунту при тисках відповідно рівних 15 атм і 0,33 атм (використовувалися експериментальні дані ОГХ для досліджуваних ґрунтів в інтервалі від низьких до високих значень вологості).

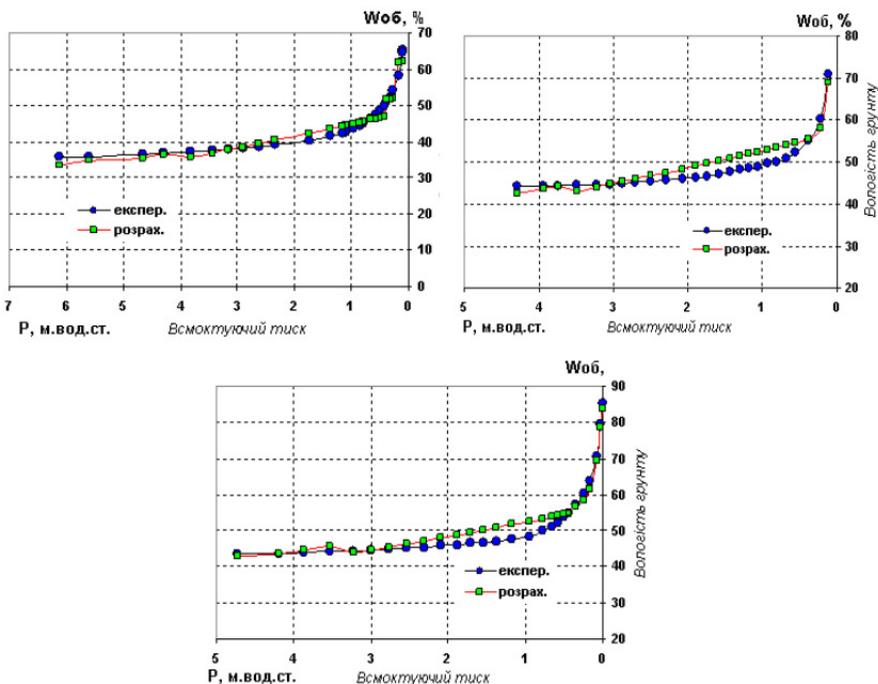


Рис. 2. Залежність всмоктуючого тиску ґрунту від його вологості (торфові ґрунти) для різних горизонтів:  
 а) 0...0,3 м; б) 0,3...0,5 м; в) 0,5...1,0 м

Таблиця 3

Результати розрахунку вмісту вологи за величиною потенціалу ґрунтової вологи для торфового ґрунту (тензіометричний діапазон від 0...1 атм або 0...10 м.в.ст.)

Торфовий ґрунт		
Середньоквадратичне відхилення		
0,05...0,25 м	0,3...0,5 м	0,6...0,9 м
1,761	2,312	2,084

**Отже, запропоновані методика розрахунку вмісту вологи за величиною потенціалу ґрунтової вологи, яка передбачає відповідно до основного закону термодинаміки, використання аналітичної функціональної залежності між капілярним потенціалом і вмістом вологи в ґрунті різного механічного складу, тим самим забезпечуючи високу точність і оперативність достовірної інформації про гідрофізичні властивості ґрунту.**

1. Воронин А. Д. Основы физики почв: учеб. пособие / А. Д. Воронин – М. : Изд-во Моск. Ун-та, 1986. – 244 с. 2. Глобус А. М. Почвенно-гидрофизическое обеспечение агроэкологических математических моделей: Монография / А. М. Глобус – Л. : Гидрометеиздат, 1987. – 427 с. 3. Муромцев Н. А. Мелиоративная гидрофизика почв / Н. А. Муромцев – Л. : Гидрометеиздат, 1991. – 265 с. 4. Судницын И. И. Движение почвенной влаги и водопотребление растений / И. И. Судницын – М. : МГУ, 1979. – 254 с. 5. Смагин А. В. Определение основной гидрофизической характеристики почв методом центрифугирования / А. В. Смагин, Н. В. Садовникова, Мизури Маауиа Бен Али // Почвоведение. – 1998. – М. : Наука. – № 11. – С. 1362–1370. 6. Рекомендації з оперативного контролю та управління режимом зрошення сільськогосподарських культур із застосуванням тензіометричного методу / М. І. Ромашенко, В. М. Корюненко, М. М. Муромцев. – К. : ІВПіМ, 2012. – 71 с. 7. Патент на корисну модель 00073 Україна, G01N 33/24. Тензіометр з автоматичною дозправкою / В. Й. Пастушенко, С. К. Матус, В. П. Червінко (Україна). – № 8038; 15.07.2005. – Бюл. № 7. 8. Баховец Б. А. Унификация тарирования тензиометрических влагомеров для почв различного механического состава / Б. А. Баховец, Г. П. Горюнов, В. И. Пастушенко, Я. В. Ткачук // Почвоведение. – 1979. – М. : Наука. – № 5. – С. 117–120. 9. Степанов Л. И. Соотношение между капиллярным потенциалом (давлением) и количеством почвенной влаги / Л. И. Степанов // Почвоведение. – 1979. – М. : Наука. – № 5. – С. 57–63.
- 

**Matus S. K., Candidate of Engineering, Associate Professor, Hrusha K. M., 4<sup>th</sup> year Senior Student** (The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

## **SOIL MOISTURE RESERVES MONITORING WITH THE APPLICATION OF TENSIOMETRIC METHOD**

**In this paper the method for calculation the moisture content by the value of soil moisture potential value has been suggested. It also offers the identification technique of the basic hydrophysical characteristics using tensiometric moisture meters.**

***Keywords:* moisture, soil, hydrophysical functions.**

---

**Матус С. К., к.т.н., доцент, Груша К. Н., студентка 4 курса** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

## **ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ПОЧВ**

**В работе предложены методика расчета влажности за величиной потенциала почвенной влаги, идентификация основной гидрофизической характеристики с использованием тензиометрических влагомеров.**

***Ключевые слова:* влажность, почва, гидрофизические характеристики, тензиометр.**

Клепач М. І., к.ф.-м.н. доцент, Филипчук Л. В., к.т.н., старший викладач  
(Національний університет водного господарства та природокористування,  
м. Рівне)

## АНАЛІЗ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ рН ТА Eh ПРОМИСЛОВИХ СТИЧНИХ ВОД У ЗМІШУВАЧІ-РЕАКТОРІ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ

Наведено результати дослідження і комп'ютерного моделювання процесів автоматичного комплексного регулювання параметрів рН та Eh багатокомпонентних стічних вод в механічних змішувачах-реакторах при реагентному способі обробки стоків

**Ключові слова:** стічні води, комплексне регулювання рН та Eh стоків, реагентна обробка стоків, комп'ютерне моделювання

Підвищення ефективності очищення багатокомпонентних промислових і господарських стічних вод потребує удосконалення систем автоматизованого управління вузлами реагентної обробки стоків. Складність автоматизації цих об'єктів зв'язана з великою різноманітністю домішок у стоках, кількість і склад яких може змінюватися з часом чи внаслідок появи нових виробництв і технологій. Розробка сучасних систем автоматичного управління потребує вдосконалення існуючих способів та алгоритмів функціонування систем автоматичного регулювання, побудови адекватних математичних моделей контурів регулювання та проведення комп'ютерного моделювання як засобу оптимізації параметрів системи.

Основними способами впливу на процеси очищення багатокомпонентних стічних вод є регулювання активної реакції (рН) та окисно-відновного потенціалу (Eh) шляхом дозування різних реагентів: кислот, лугів, окисників чи відновників. Зокрема, луги використовуються для осадження важких металів, окисники – для руйнування ціанідів та органічних домішок, відновники – для знешкодження такого токсичного елементу, як шестивалентний хром. Існуючі способи окислення та відновлення забруднюючих домішок мають суттєві недоліки. Так, при дозуванні реагентів відбувається зміна Eh водного середовища під дією окисників або відновників, однак введення цих реагентів призводить і до зміни рН середовища та, навпаки, коригування величини рН викликає зміну величини Eh. Це негативно впливає на протікання окисно-відновних процесів і потребує додаткового уведення реагентів для підтримування оптимальних значень рН та Eh.

Вирішення проблеми полягає в застосуванні ступінчастого введення хімічних реагентів для регулювання рН та Eh стічних вод [1] та автоматизації

процесу. Це дозволить підтримувати оптимальні значення цих параметрів на протязі всього періоду протікання хімічного процесу окислення-відновлення домішок і тим самим досягати необхідної швидкості хімічної реакції при мінімальній витраті хімічних реагентів.

На рис. 1 наведено експериментальні дані зміни величини Eh при відновленні хрому лужним сульфідом натрію та з корекцією величини pH водного середовища соляною кислотою.

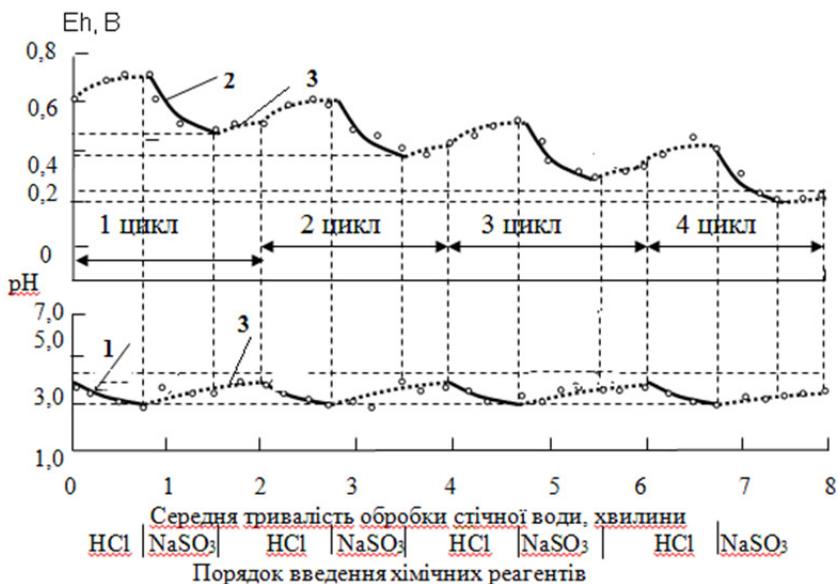


Рис. 1. Експериментальні дані процесу обробки хромвмісних стоків

В механічний змішувач-реактор на обробку поступають стоки з  $Eh=0,55...0,60$  В та  $pH=4$ . Спочатку їх підкислюють соляною кислотою для зниження  $pH$  до оптимальної величини  $pH \leq 3,0$  (рис. 1, відрізок 1), при якій ефективно протікає реакція відновлення, при цьому величина  $Eh$  води підвищується до  $0,70...0,75$  В. Далі у воду вводять розчин сульфїту натрію для зниження величини  $Eh$  до першого стабільного проміжного значення потенціалу  $Eh=0,5$  В (рис.1, відрізок 2), при якому починається реакція відновлення. З цього моменту подача реагентів припиняється і протікає реакція відновлення хрому (VI). У процесі реакції споживаються іони водню  $pH$  води, в результаті чого величина  $pH$  стічної води підвищується (рис. 1, відрізок 3), вище критичного значення  $pH > 3,0$ , що призводить до її гальмування. Далі цикли почергового дозування реагентів для зниження в  $Eh$  та стабілізації  $pH$  повторюються до повного відновлення хрому(VI). Реакція відновлення хрому(VI) вважається закінченою, якщо на відрізку часу стабілізації процесів  $pH$  та  $Eh$  не будуть підвищуватись. Ступінчасте

регулювання параметрів рН і Eh забезпечує оптимальне дозволяє зменшити кількість сульфїту натрію для відновлення хрому (VI) – на 15-25%.

Для реалізації алгоритму управління та розробки систем автоматичного комплексного регулювання величин Eh та рН стоків [2] за наведеними експериментальними даними складемо математичну модель процесів хімічної обробки стоків в механічному змішувачі-реакторі періодичної дії як об'єкті автоматизації. На основі отриманої моделі проведено комп'ютерне моделювання систем автоматичного регулювання процесами відновленням домішок стічних вод за допомогою програмного середовища MatLAB Simulink.

Аналіз експериментальних даних показує, що об'єкт є багатомірним із двома взаємопов'язаними входами і виходами. За даними експерименту знайдемо передаточні функції прямих і перехресних зв'язків між вхідними і вихідними параметрами:

Передаточна функція прямого каналу регулювання рН, що відображає вплив витрати кислоти на зміну рН у реакторі-змішувачі:

$$W_{11}(s) = \frac{0.01}{22.3s + 1}. \quad (1)$$

Передаточна функція перехресного каналу зв'язку, яка характеризує вплив витрати кислоти на зміну рН

$$W_{12}(s) = \frac{-0.0012}{15.4s + 1}. \quad (2)$$

Знак «-» показує, що зростання показника рН призводить до зменшення показника Eh.

Передаточна функція каналу регулювання Eh

$$W_{22}(s) = \frac{-0.0025}{17.1s + 1}. \quad (3)$$

Передаточна функція впливу витрати окисника на зміну Eh стічної води:

$$W_{21}(s) = \frac{-0.01}{32.6s + 1}. \quad (4)$$

На основі знайдених передаточних функцій здійснимо моделювання експерименту в середовищі прикладного програмного забезпечення Simulink (рис. 2)

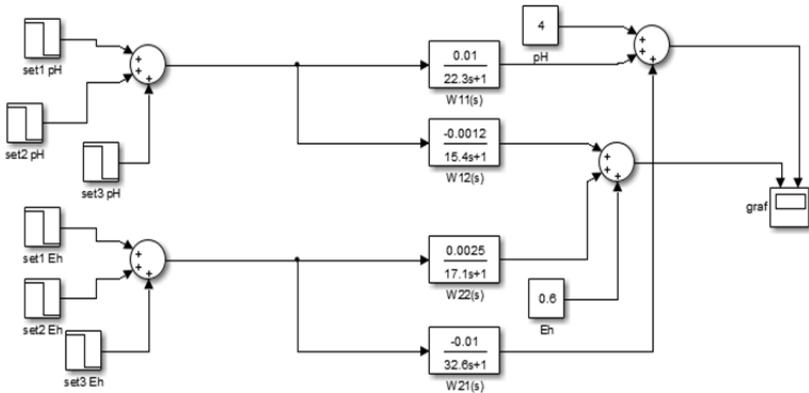


Рис. 2. MatLab модель процесів ступінчастого регулювання параметрів pH та Eh хромвмісних стічних вод

По суті, модель представлена на рис. 2 є розімкнутою системою програмного автоматичного управління, що реалізує алгоритм комплексного регулювання величин Eh та pH багатокомпонентних стічних вод в змішувачі-реакторі періодичної дії. Результати моделювання наведено на рис. 3.

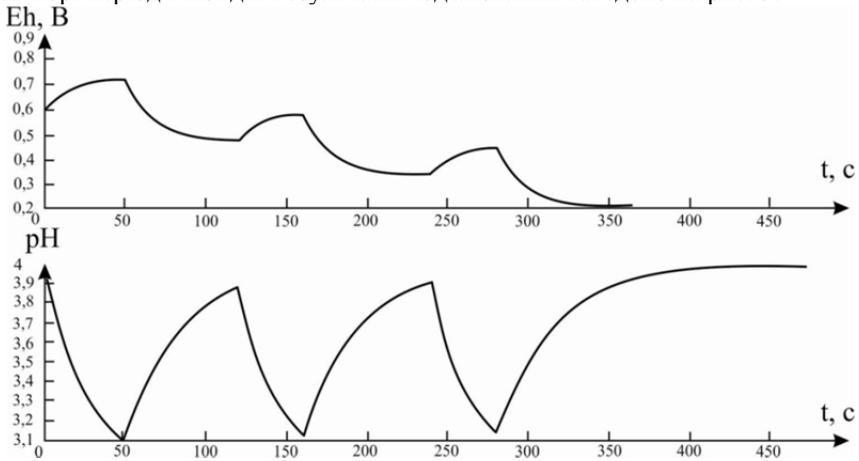


Рис. 3. Перехідні характеристики об'єкта регулювання: а) по каналу Eh, б) по каналу pH

Як видно з рис. 3 результати комп'ютерного моделювання повністю відповідають експериментальним даним (рис. 1), а побудована модель об'єкта може бути використана для відпрацювання алгоритмів управління.

Добитися регулювання технологічних параметрів без усталеної помилки та суттєво зменшити коливання величини рН можна за рахунок використання замкнутих систем автоматизації (рис. 4).

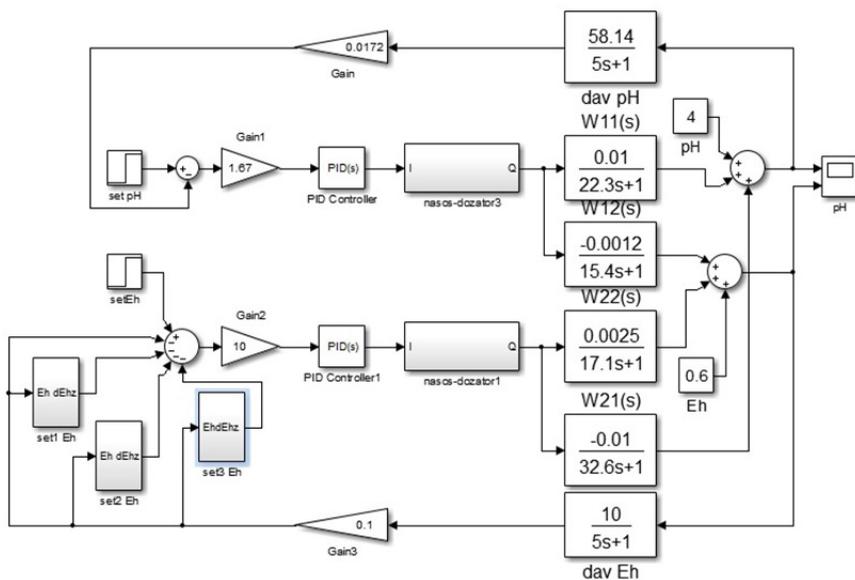


Рис. 4. Модель замкнутої системи автоматичного регулювання параметрів Eh та рН

Для дозування реагентів використано мембранний насос-дозатор з електромагнітним приводом і мікропроцесорним управлінням. З технічних характеристик знаходимо коефіцієнт передачі насоса-дозатора  $K_H=0,046\ \text{мл/с}$ .

Впровадження сучасних систем автоматичного регулювання (САР) параметрів рН та Eh у процесах дозування реагентів дозволяє значно зменшити кількість хімічних речовин, що дозуються у стічні води, і розширити можливості повторного використання вод у виробничих процесах. Окрім того, ступінчасте регулювання рН і Eh дозволяє контролювати хід хімічної реакції, досягти повного окислення чи відновлення забруднюючих домішок у режимі автоматизованого дозування хімічних реагентів.

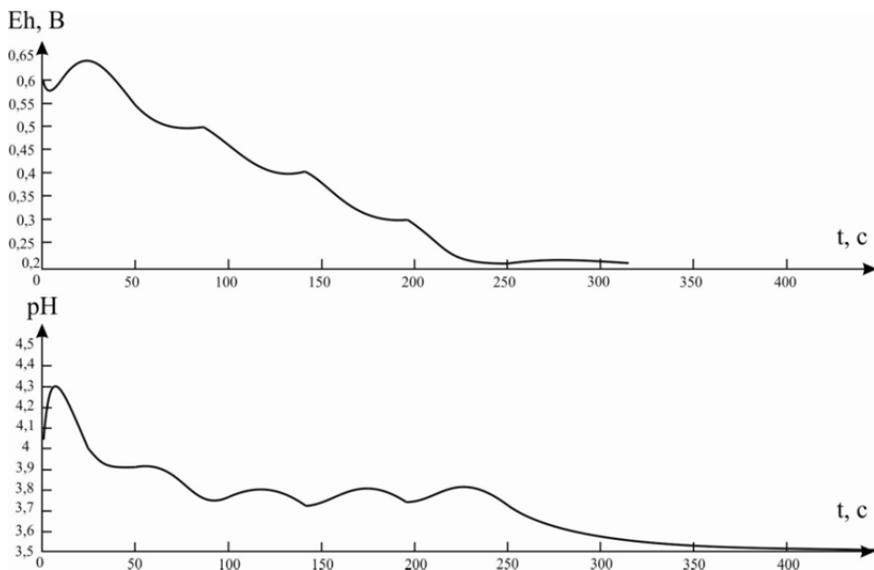


Рис. 3. Перехідні характеристики замкнутої системи автоматичного регулювання

**Ступінчасте регулювання** параметрів рН і Eh водного середовища під час окислення-відновлення забруднень дозволяє забезпечити мінімальну кількість введених реагентів, яка відповідає їх стехіометричним витратам. Так, у порівнянні із комплексним регулюванням рН та Eh під час ступінчастого введення реагентів кількість гіпохлориту натрію на окислення сечовини додатково зменшено на 30-40%, а кількість сульфіту натрію на відновлення хрому(VI) – на 15-25%. Окрім того, ступінчасте регулювання рН і Eh дозволяє контролювати хід хімічної реакції, досягти повного окислення або відновлення забруднюючих домішок в режимі автоматизованого дозування хімічних реагентів.

1. Филипчук В. Л. Очищення багатоконпонентних металовміщуючих стічних вод промислових підприємств. – Рівне : УДУВГП, 2004. – 232 с. 2. Филипчук В. Л., Клепач М. І., Филипчук Л. В. Спосіб автоматизації процесу регулювання величин рН та Eh багатоконпонентних стічних вод. – Патент України на КМ № 65459, Бюл. № 23, 2011. 3. Л. В. Филипчук, ст. викладач, М. І. Клепач, к.ф.-м.н., доцент. Автоматичне регулювання параметрів рН та Eh в процесах очищення стічних вод. Тези шостої міжнародної науково-практичної конференції “Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси”. – Київ : НАУ, 2013. – С. 235–236.

**Klepach M. I., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Fylypchuk L. V., Candidate of Engineering, Senior Lecturer**  
(The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

**ANALYSIS AND COMPUTER MODELING OF AUTOMATIC INDUSTRIAL CONTROL OF pH AND Eh PARAMETERS OF WASTEWATER IN MECHANICAL MIXERS-REACTORS**

The results of research and computer processes modeling of automatic complex control of pH and Eh parameters of multicomponent wastewater in mechanical mixers-reactors in reagent method of water sewage are shown.

*Keywords:* wastewater, complex control OF pH and Eh, reagent method, computer modeling.

---

**Клепач Н. И., к.ф.-м.н., доцент, Филипчук Л. В., к.т.н., старший преподаватель** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

**АНАЛИЗ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ pH И Eh ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД В СМЕСИТЕЛИ-РЕАКТОРЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ**

Приведены результаты исследования и компьютерного моделирования процессов автоматического комплексного регулирования параметров pH и Eh многокомпонентных сточных вод в механических смесителях-реакторах при реагентном способе обработки стоков.

*Ключевые слова:* сточные воды, комплексное регулирование pH и Eh стоков, реагентная обработка стоков, компьютерное моделирование.

**Христюк А. О., аспірант** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## **МОДЕЛЮВАННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ СВЕРДЛОВИННОГО ГІДРОВИДОБУТКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН**

**Розглянуто основні системи автоматизації та моделювання свердловинного гідровидобутку корисних копалин.**

**Ключові слова:** свердловинний гідровидобуток, корисні копалини, автоматизація, моделювання, гідромонітор.

Зростаюча потреба у всіх видах мінеральної сировини та палива вимагає залучення до розробки все більшої кількості родовищ, у тому числі і більш бідних та розміщених у складних гідрогеологічних умовах. Експлуатація таких родовищ традиційним підземним методом є неефективною та затратною. Пов'язано це з гірничо-геологічними умовами на значних глибинах, небезпечними проявами гірського тиску, високими температурами і, як наслідок, значним збільшенням затрат на підтримання та вентиляцію виробіток. Ефективно розроблювати такі родовища дозволяє свердловинний гідровидобуток (СГВ) корисних копалин, який здійснюється через свердловини за допомогою гідравлічної енергії, яка використовується для руйнування гірських порід, доставки зруйнованих порід до свердловини та піднімання їх на поверхню. Ця технологія завдає значно меншої екологічної шкоди, не змінює рельєф місцевості та повністю виключає перебування людини під землею. На даний час ця технологія дозволяє розробку ряду родовищ, а також виконувати ряд різноманітних робіт в будівельній галузі. Найбільшого поширення технологія СГВ отримала при виконанні геологорозвідувальних робіт – відборі проб значного об'єму на родовищах рихлих та слабозв'язаних корисних копалин. Удосконалення технології СГВ дозволить значно знизити вартість геологічної розвідки та підвищити її якість.

Руйнування породи є основним елементом процесу свердловинного гідровидобутку. Він полягає в порушенні цілісності масиву корисної копалини гідравлічним струменем високого тиску з одночасним переміщенням гідросуміші до підйомного пристрою. Оптимізація технологічних параметрів та автоматизація процесу розвитку є важливими чинниками для досягнення високих техніко-економічних показників.

Через складність процесів та різноманітність факторів загальна теорія руйнування породи гідравлічним струменем не розроблена. Значний вклад у розвиток теорії руйнування породи гідравлічним способом внесли



ерліфта (модель процесу підйому пульпи на поверхню), втрати напору робочої рідини (модель забезпечення достатнього тиску, швидкості та витрати на вході в гідромоніторну насадку), окрім того доцільно організувати замкнутий цикл забезпечення процесу робочою рідиною (модель відстоювання пульпи, фільтрування отриманої рідини та повернення її в резервуар забору води для гідромонітора) (рис. 2).

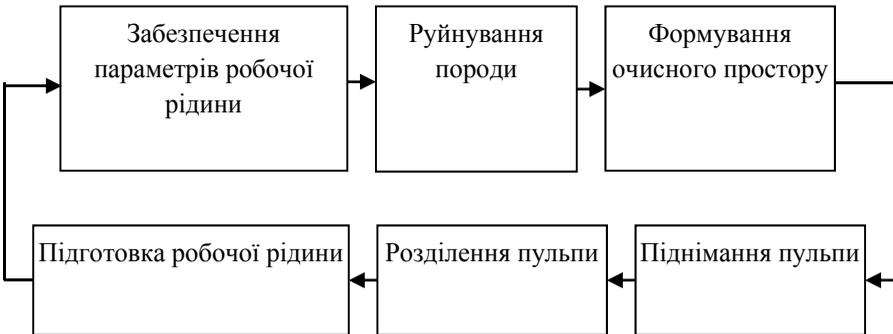


Рис. 2. Структура математичної моделі СГВ

**Синтез системи** управління гідромоніторним розмивом потребує встановлення структурних зв'язків між вхідними та вихідними параметрами, вибору контрольованих параметрів, керуючих впливів, розробки структури системи автоматизації та підбору сучасних технічних засобів автоматизації. Керуючими впливами при гідромоніторному розмиві є тиск і витрата води, швидкість руху струменя по стінці вибою та кут повороту гідромонітора, подача секцій телескопічного гідромонітора в забій.

Необхідність в керуванні тиском виникає із ряду причин:

- керування тиском необхідне для забезпечення ефективності процесу розмиву і енергозбереження, так як надлишковий тиск створює вруб в породу;
- надлишковий тиск розкидає розмиту породу по камері, що утруднює транспортування породи до піднімального пристрою;
- при оптимальному значенні тиску створюються умови для отримання пульпи з певною фракцією породи, необхідною для її ефективного транспортування та підйому;
- керування тиском при малих відстанях від насадки до стінки вибою запобігає заваленню каналу транспортування породи до піднімального пристрою.

Складність і умови проведення технологічного процесу підземного гідророзмиву створюють проблеми оперативного контролю за технологічними параметрами. Пропонується здійснювати управління процесом гідромоніторного розмиву на основі контролю відстані між

насадкою гідромонітора і стінкою вибою та швидкості розмиву породи. Контроль за зміною розмірів камери виймання несе також інформацію про продуктивність процесу розмиву. Сучасні ультразвукові, акустичні та лазерні дальноміри дають змогу проводити вимірювання відстані безконтактним способом з високою точністю та швидкістю. Використання ПЛК дозволить реалізовувати програмним способом складні закони регулювання та логічні схеми обробки інформації, будувати складні системи керування процесами свердловинного гідровидобутку.

**Для управління технологією** процесу СГВ в оптимальному режимі необхідний раціональний вибір способів і засобів контролю його основних параметрів.

При аналізі процесів свердловинного гідровидобутку як об'єкта автоматизації все технологічне обладнання можна поділити на дві групи. До першої відноситься обладнання компресорної, насосної і т.п., для яких розроблені і використовуються стандартні схеми і рівні автоматизації.

До другої групи можна віднести видобувне обладнання СГВ (свердловинний гідромонітор, ерліфт, гідроелеватор), для якого, практично, немає розроблених схем автоматизації.

При створенні проекту автоматизації необхідно встановити структурні зв'язки між вхідними (керуючими) і вихідними (керованими) параметрами, вибрати способи та засоби реєстрації і передачі інформації в пункти управління, зняти статичні і динамічні характеристики об'єктів та визначити їх вид як об'єкта автоматизації, розробити й виконати схеми автоматизації та встановити необхідну частоту вимірювання і передачі даних.

Керуючими параметрами гідромонітору є тиск і витрата енергетичної води в насадці, а також швидкість повороту і подачі насадки в забій. Вихідними (оціночними) параметрами є густина гідросуміші і її витрата, що визначають продуктивність по твердому компоненту.

Вхідними параметрами гідроелеватора є тиск і витрата робочої води, а вихідними продуктивність гідроелеватора по гідросуміші.

**При розробці сучасних складних систем** автоматизації технологічних процесів з використанням складної логіки та законів керування доцільно проводити моделювання цих систем на етапі проектування. Одним з найбільш потужних методів моделювання систем автоматизації є імітаційне моделювання з використанням спеціалізованих програмних продуктів, наприклад SIAM, LabVIEW, пакета MatLab/Simulink [3]. Програмний додаток Simulink, із пакету MatLab фірми MathSoft, є одним з найпотужніших засобів імітаційного моделювання які орієнтовані на моделювання систем автоматизації. Імітаційна Simulink-модель системи керування гідромоніторним розмивом при свердловинному гідровидобутку корисних копалин показана на рис. 3.

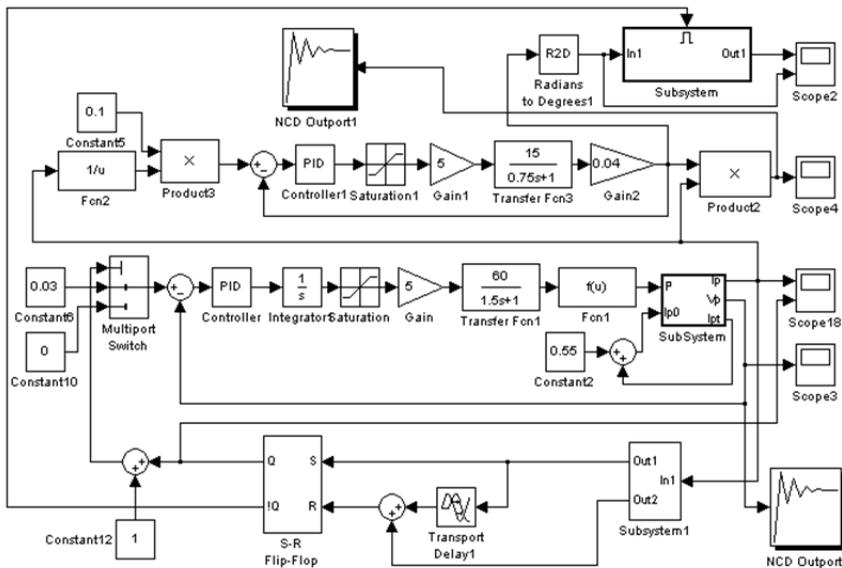


Рис. 3. Структурна схема системи керування гідромоніторингом розмивом

Моделювання системи керування гідромоніторингом розмивом при свердловинному гідровидобутку корисних копалин дозволить побудувати та дослідити логіку керування процесом, вибрати необхідні закони керування, що програмно реалізовуватимуться в ПЛК, а також здійснити пошук оптимальних налаштувань регуляторів.

**Результатом моделювання** системи керування гідромоніторингом розмивом є перехідні характеристики та графіки переключень технологічних режимів роботи, зняті при завданні швидкості розмиву 0.03 м/с та при налаштуваннях ПІД-регулятора швидкості розмиву  $K_p = 30$ ,  $K_i = 4$ ,  $K_d = 25$ ; завданні ПІ-регулятора швидкості руху струменя по стінці вибою 0.1 м/с та налаштуваннях  $K_p = 3.3$ ,  $K_i = 5.75$ . Пошук налаштувань регуляторів проводився з допомогою блоків параметричної оптимізації NCD Output та NCD Output1 із бібліотеки Simulink.

Перехідна характеристики системи по дальності розмиву (рис. 4, а) показує динаміку зміни дальності розмиву  $l_p$  і відповідний їй графік керування подачею секцій телескопічного гідромонітора (рис. 4, б).

Наведена імітаційна Simulink-модель може бути використана при проектуванні та розрахунку систем управління процесом гідромоніторингового розмиву та основою для побудови гнучких систем управління з використанням адаптивних, екстремальних, самонастроювальних та нечітких методів керування, що дозволить використовувати їх для видобутку різних корисних копалин.

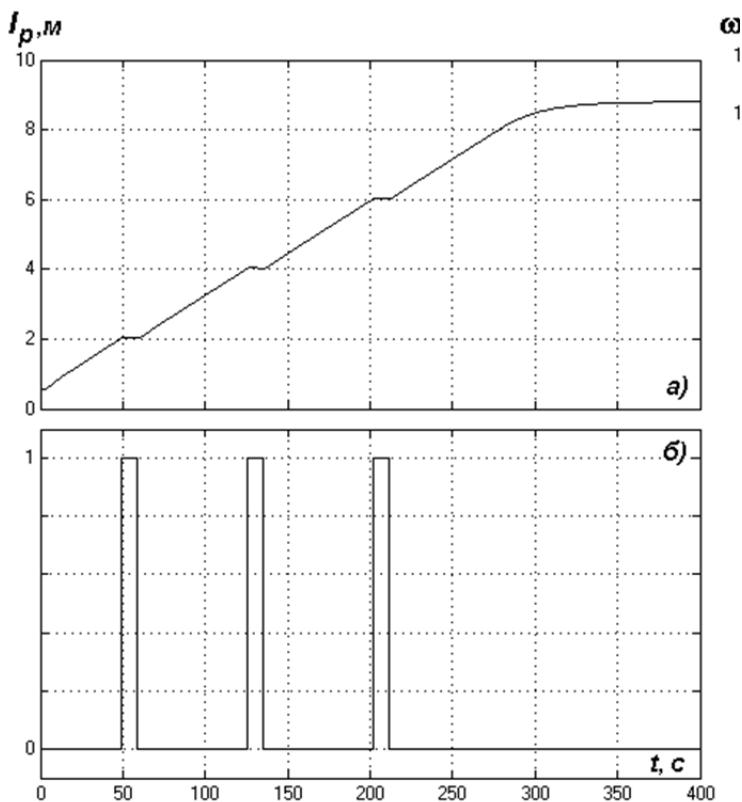


Рис. 4. Перехідні характеристики системи: а) по дальності розмиву; б) управління подачею секцій телескопічного гідромонітора

Результатом моделювання системи є динамічні характеристики системи в перехідних режимах та діаграми переключень станів системи. Реалізація даної системи забезпечить високі техніко-економічні показники процесу гідромоніторного розмиву.

1. Арнс В. Ж. Физико-химическая геотехнология: учебное пособие. – М. : Изд-во Московского гос. Горного ун-та, 2001. – 656 с. 2. Маланчук З. Р. Научные основы скважинной гидротехнологии. – Ровно : РГТУ, 2002. – 372 с. 3. MatLab в инженерных и научных расчетах / О. Ф. Дашенко, В. Х. Кириллов, Л. В. Коломиец, В. Ф. Оробей. – Одесса : Астропринт, 2003. – 214 с.

**Khrystiuk A. O., Post-graduate Student** (The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

## **MODELING AND AUTOMATION OF THE HYDRAULIC BOREHOLE MINERALS MINING**

**The basic systems of automation and modeling of the hydraulic borehole minerals mining are reviewed.**

***Keywords:* hydraulic borehole mining, minerals, automation, modeling, hydromonitor.**

---

**Хрыстюк А. А., аспирант** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СКВАЖИННОЙ ГИДРОДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

**Рассмотрены основные системы автоматизации и моделирования скважинной гидродобычи полезных ископаемых.**

***Ключевые слова:* скважинная гидродобыча, полезные ископаемые, автоматизация, моделирование, гидромонитор.**

Тарас Б. І., старший викладач, Мартинюк Ю. М., студент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## ВИМІРЮВАННЯ ККД ВОДОГРІЙНОГО КОТЛОАГРЕГАТУ НА ГАЗОВОМУ ПАЛИВІ З ПЕРСПЕКТИВОЮ КЕРУВАННЯ ПО ЙОГО ЕКСТРЕМУМУ

В роботі поставлена задача вимірювання ККД водогрійного котлоагрегату з перспективою застосування екстремального керування співвідношенням паливо-повітря за даним критерієм. Запропоновано та проаналізовано структурну схему вимірювання ККД на основі вимірювання витрати природного газу та теплової енергії, що передається теплоносію.

**Ключові слова:** автоматизація, котлоагрегати, екстремальне управління

**Огляд проблеми.** Основним критерієм ефективності роботи котлоагрегату є його коефіцієнт корисної дії (ККД). Відомі й основні шляхи підвищення ККД [1]:

- Зниження втрат тепла з відхідними газами, шляхом збільшення площі нагріву, яка визначається при проектуванні котла на основі техніко-економічних розрахунків.
- зниження втрат тепла за рахунок зовнішнього охолодження, шляхом підвищення теплоізоляції зовнішніх поверхонь топки, газоходів, колекторів екранів і економайзерів, трубопроводів і повітрепроводів;
- зниження втрат тепла, пов'язаних з "підсмоктуванням" холодного повітря, шляхом покращення герметичності трактів котла;
- зниження втрат за рахунок механічної неповноти згорання палива, шляхом покращення аеродинамічних характеристик котла, застосування сучасних пальників і т.п.
- підвищення хімічної повноти згорання палива, шляхом відповідного регулювання співвідношення паливо/повітря.

Слід відзначити, що із названих вище, саме останній напрямок представляє інтерес при розробці систем автоматичного керування котлами, оскільки дозволяє підвищити ККД котла, не вносячи змін у його конструкцію безпосередньо, а лише за рахунок модернізації технічних засобів автоматизації та зміни алгоритмів керування ним.

Втрати тепла від хімічної неповноти згорання газового палива (природного газу) виникають в зв'язку з тим, що для забезпечення його повного згорання, повітря в топку котла подається з надлишком, що обумовлено неможливістю повного змішування палива з повітрям. Надлишок повітря характеризує коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha$ , який рівний

відношенню дійсної кількості повітря, що подається в топку, до теоретично необхідної, і для котлів на газовому паливі становить 1...1,1. При недостатньому надлишку повітря утворюються продукти неповного згорання палива такі як чадний газ CO і водень H<sub>2</sub>, а в відхідних газах може з'явитися і метан CH<sub>4</sub>, для згорання якого не вистачило кисню (повітря). А у випадку надто великого надлишку повітря, має місце вищезгадане "видування тепла з топки" – тобто безпотрібне нагрівання цього надлишкового повітря, а, відповідно, і атмосфери.

**Аналіз останніх досліджень.** На теперішній час регулювання співвідношення газ/повітря здійснюється на основі аналізу хімічного складу відхідних газів. Наявність чадного газу (CO) у відхідних газах свідчить про неповноту згорання (замалий коефіцієнт надлишку повітря), а наявність кисню (O<sub>2</sub>) – про надлишок повітря в топці. Для цього, під час налагодження контуру регулювання співвідношення газ/повітря вимірюють вміст кисню і чадного газу для заданих певних навантажень котла (наприклад 25%, 50%, 75%, 100% від номінальної потужності). Для кожного із цих режимів, добиваючись найнижчої концентрації кисню та відсутності чадного газу у відхідних газах, встановлюють оптимальне співвідношення газ/повітря. На базі отриманих значень знаходять шляхом інтерполявання значення оптимального співвідношення газ/повітря і для проміжних навантажень. Отримані значення співвідношень газ/повітря для певного навантаження котла вносять в алгоритм керування котлом. Однак реалізувати керування співвідношенням газ/повітря на основі безперервного вимірювання складу відхідних газів внаслідок ненадійної роботи газоаналізаторів, значного часу запізнення в їх вимірювальних каналах та проблем з відбором газових проб для аналізу, на сьогодні відносно складно.

**Постановка задачі.** До недоліків даного підходу щодо керування процесом горіння в котлоагрегатах також варто віднести:

1. Даний метод не є універсальним для всіх котлів водогрійного типу середньої потужності і вимагає "індивідуального" підходу до кожного конкретного котлоагрегату.
2. Налаштування здійснюється при певному складі природного газу, і у випадку зміни хімічного складу природного газу, встановлені налаштування перестають бути оптимальними.
3. Налаштування здійснюється при певній температурі навколишнього середовища, а отже й при певній температурі природного газу, які в процесі експлуатації котла змінюються, вносячи додаткові відхилення від оптимального коефіцієнту надлишку повітря.
4. Успішність якісного налаштування процесу горіння значною мірою залежить від кваліфікованості та досвідченості інженера-налагоджувальника.
5. Існує похибка оптимального співвідношення газ/повітря в проміжних точках, пов'язана з методикою їх розрахунку.

6. Навіть у випадку найкращого налагодження процесу горіння, підібране співвідношення газ/повітря через певний термін експлуатації котлоагрегату не буде оптимальним, оскільки мають місце зношуваність та старіння деталей котлоагрегату, утворення нагару на пальниках, погіршення теплопередачі тепла теплоносію і т.п. Тому виникає необхідність повторного переналагоджування котлоагрегату (як правило під час профілактичних робіт).

В зв'язку з цим нами пропонується реалізувати систему екстремального керування співвідношенням газ/повітря за критерієм ККД, де в якості цільової функції буде ККД котлоагрегату, який весь час буде підтримуватися на максимумі, а змінюваним параметром – співвідношення газ/повітря.

**Результати досліджень.** Для реалізації такої системи екстремального керування необхідно розробити систему реального часу для безперервного вимірювання ККД котлоагрегату.

В загальному випадку рівняння теплового балансу котлоагрегату в усталеному режимі роботи записується у вигляді [1]:

$$Q_0^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5, \quad (1)$$

де  $Q_0^p$  – доступне тепло на  $1 \text{ м}^3$  палива (природного газу),  $\text{Дж}/\text{м}^3$ ;

$Q_1$  – корисно використане тепло, що витрачається на підігрів теплоносія (для водогрійних котлів – води),  $\text{Дж}/\text{м}^3$ ;

$Q_2$  – втрати тепла з відхідними газами,  $\text{Дж}/\text{м}^3$ ;

$Q_3$  – втрати тепла від хімічної неповноти згорання палива,  $\text{Дж}/\text{м}^3$ ;

$Q_4$  – втрати тепла від механічної неповноти згорання палива,  $\text{Дж}/\text{м}^3$ ;

$Q_5$  – втрати тепла від зовнішнього охолодження котлоагрегату,  $\text{Дж}/\text{м}^3$ .

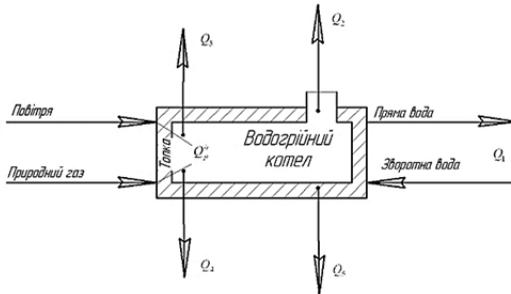


Рис. 1. Тепловий баланс водогрійного котла в усталеному режимі

Таким чином, ККД котлоагрегату буде визначатися відношенням:

$$\eta_{к.а.} = \frac{Q_1}{Q_0^p}. \quad (2)$$

Отже, для вимірювання ККД, необхідно вимірювати кількість доступного тепла від згорання  $1 \text{ м}^3$  газу і корисне тепло, витрачене на підігрів теплоносія.

Вимірювання доступного тепла полягає у вимірюванні об'єму газу, що поступає в топку котла і у визначенні його теплотворної здатності. Вимірювання ж корисного тепла полягає у вимірюванні об'єму теплоносія, що проходить через котел, та різниці температур на вході та на виході з котла. Таким чином, система вимірювання ККД котлоагрегату буде мати таку функціональну схему:

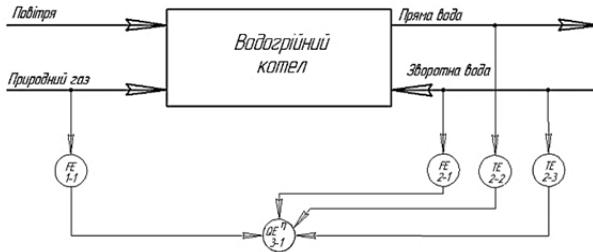


Рис. 2. Функціональна схема вимірювання ККД котлоагрегату водогрійного типу на газовому паливі

FE1-1 – вимірювальний перетворювач витрати природного газу; FE2-1 – вимірювальний перетворювач витрати теплоносія; TE2-2 – вимірювальний перетворювач температури прямої води; TE2-3 – вимірювальний перетворювач температури зворотної води; QE3-1 – обчислювальний пристрій ККД.

Визначення теплотворної здатності природного газу регламентується в [2]. Аналіз складу природного газу здійснюється в хімічних лабораторіях і його теплотворна здатність є відомою і суттєво не змінюється з часом, тому її можна вважати сталою величиною, передбачивши можливість введення даного значення в обчислювальний пристрій. В цілому ж теплотворна здатність газового палива не буде впливати на якість роботи контуру регулювання співвідношення паливо/повітря, оскільки в ньому будуть використовуватися принципи екстремального керування. Інформація ж про склад палива необхідна буде для визначення початкового співвідношення паливо/повітря.

Для вимірювання температур прямої і зворотної води можна скористатися стандартними вимірювальними перетворювачами температури. Обчислення теплової енергії регламентується в [3].

Для вимірювання витрат природного газу і теплоносія доцільно скористатися вимірюванням витрат рідин і газів методом змінного перепаду тисків [4].

*Динаміка процесу.* Вищеописані процеси стосувалися усталеного режиму роботи котлоагрегату, тобто при постійній витраті палива та незмінному тепловому навантаженні котла. У випадку ж зміни хоча б одного з вищеперахованих факторів, зміниться температура теплоносія і обчислюючий пристрій повинен наново розрахувати ККД котла, враховуючи

інерційність самого котлоагрегату, а також інерційність вимірювальних перетворювачів.

Теоретичний розрахунок динаміки котла по каналу витрата палива-температура прямої води є досить складним, оскільки необхідно математично описати процеси горіння та теплообмінні процеси випромінювання та конвекції. Простіше ж скористатися розгінними характеристиками котлів, котрі знімаються експериментально. Для цього ступінчато змінюють витрату палива, що надходить в топку котла, вимірюючи при цьому температуру прямої води на виході з котла. З розгінної характеристики можна встановити сталу часу та час запізнення для конкретного котла. Так, наприклад, розгінна характеристика по каналу витрата палива – температура прямої води для котла марки Колві 4500 (потужністю 4,5 МВт), має вигляд (рис. 3):

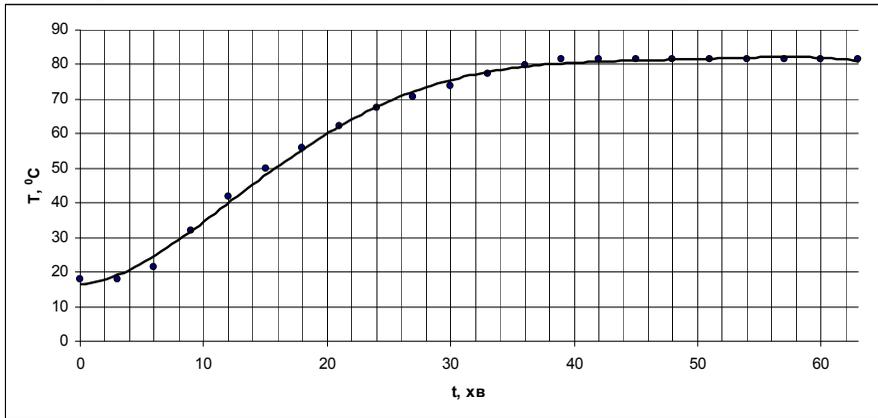


Рис. 3. Розгінна характеристика котла Колві 4500 по каналу витрата газу – температура прямої води

Як бачимо з кривої розгону, вона має аперіодичний характер з запізненням. Дана залежність описується функцією передачі:

$$W_{к.а.}(s) = \frac{K_{к.а.}}{T_{к.а.}s + 1} e^{-\tau s}, \quad (3)$$

де  $K_{к.а.}$  – коефіцієнт передачі котлоагрегату,  $\frac{^{\circ}C}{m^3 / год}$ ;

$T_{к.а.}$  – стала часу котлоагрегату, хв.

Крім того, певну інерційність мають вимірювальні перетворювачі температури. Значення інерційності перетворювача наводиться в його паспортних даних. Так, для перетворювача марки ТСМ-1088 інерційність з

гільзою становить не більше 120 секунд. Функція передачі даного перетворювача буде аперіодичною:

$$W_{e.n.t}(s) = \frac{K_{e.n.t}}{T_{e.n.t}s + 1}, \quad (4)$$

де  $K_{e.n.t} = \frac{R_{e.n.t}}{t}$  – коефіцієнт передачі вимірювального перетворювача температури,  $\frac{Oм}{^{\circ}C}$ ;  $T_{e.n.t}$  – стала часу вимірювального перетворювача температури, хв.

Вимірювання витрати рідин і газів методом змінного перепаду тисків полягає в наступному. У вимірювальному трубопроводі за допомогою звужуючого пристрою (ЗП) створюється звуження потоку, і частина потенціальної енергії переходить в кінетичну енергію, внаслідок чого середня швидкість потоку в місці його звуження збільшується, а статичний тиск стає меншим в місці до ЗП. Різниця тисків (перепад тиску) тим більша, чим більша витрата середовища, а отже вона може служити мірою витрати. Масова витрата при цьому розраховується за формулою [4]:

$$q_m = \frac{\pi d^2}{4} \cdot C \cdot E \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta p}, \quad (5)$$

де  $d$  – діаметр отвору ЗП, м;  $C$  – коефіцієнт витікання;  $K$  – коефіцієнт швидкості входу;  $\varepsilon$  – коефіцієнт розширення;  $\rho$  – густина середовища, кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta p$  – перепад тиску на ЗП.

В свою чергу для газів, густина яких залежить від температури і тиску газу, слід враховувати коефіцієнт стисливості газу, розрахунок якого приведено в [5].

Таким чином, функціональна схема вимірювання витрати за методом змінного перепаду тиску матиме функціональну схему, наведену на рис. 4.

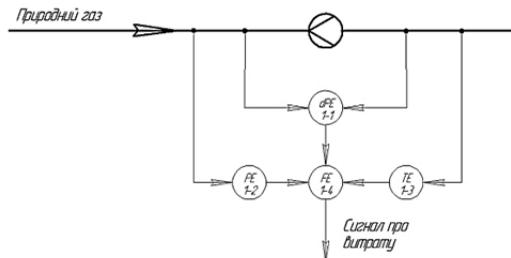


Рис. 4. Функціональна схема вимірювання витрати газу методом змінного перепаду тиску

 – звужуючий пристрій; dPE1-1 – вимірювальний перетворювач

перепаду тиску (дифманометр); PE1-2 – вимірювальний перетворювач тиску газу; TE1-3 – вимірювальний перетворювач температури газу; FE1-4 – обчислювач витрати газу.

Як бачимо зі схеми, інерційність у вимірювання будуть вносити: імпульсні лінії вимірювання тиску, давчак перепаду тиску на ЗП, давчак тиску газу, давчак температури газу.

Принцип дії сучасних вимірювальних перетворювачів тиску та перепаду тиску ґрунтується на явищі п'єзо ефекту, і для них час перехідного процесу надзвичайно малий. В зв'язку з цим ним можна знехтувати, описавши ці перетворювачі пропорційною ланкою із функцією передачі:

$$W_{в.н.р}(s) = K_{в.н.р} \cdot s \tag{6}$$

де  $K_{в.н.р} = \frac{I_{вих}}{\Delta P_{вх}}$  – коефіцієнт передачі вимірювального перетворювача тиску,

$\frac{mA}{Pa}$ ;  $I_{вих}$  – сила струму вимірювального перетворювача тиску, мА;  $\Delta P_{вх}$  – перепад тиску на вимірювальному перетворювачі, Па.

Кожна імпульсна лінія вимірювання являє собою середовище заповнене стиснутим газом, і при різкій зміні тиску буде поводити себе як коливна ланка. Але при встановленні вимірювального перетворювача тиску по місцю, об'єм газу у такій лінії (трубці) буде незначним і в такому випадку її функцію передачі можна прийняти рівною одиниці.

Таким чином, структурна схема системи вимірювання ККД водогрійного котла наведена на рис. 5.

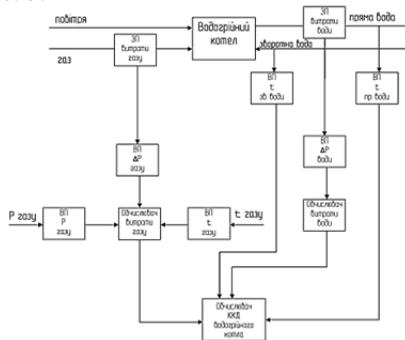


Рис. 5. Структурна схема системи вимірювання ККД водогрійного котла на газовому паливі

Як бачимо зі структурної схеми, маємо три технологічні параметри, що вимірюються перед котлом та три технологічні параметри, що вимірюються після нього. Найбільшу інерційність в процес вимірювання вносить сам водогрійний котел. Таким чином, для визначення ККД котлоагрегату, вимірювання необхідно здійснювати після закінчення перехідних процесів. При зміні витрати газового палива (внаслідок роботи контуру регулювання температури теплоносія), необхідно ініціювати обрахунок ККД після

закінчення перехідного процесу в системі на основі нових, вимірних в установленому режимі, технологічних параметрів.

**Висновки.** В даній статті запропоновано систему вимірювання ККД водогрійного котла на основі вимірювання витрати газового палива та витрати теплоносія методом змінного перепаду тиску. Вказано посилання на методики розрахунку витрат рідин і газів методом змінного перепаду тиску, розрахунку теплової енергії та теплотворної здатності природного газу. Наведено структурну схему вимірювальної системи та описано її ланки. Наведені рекомендації щодо проведення вимірювань.

1. Сидельковский Л. Н., Юренев В. Н. Котельные установки промышленных предприятий. – М. : "Энергоатомиздат", 1988. – 528 с. 2. ГОСТ 22667-82 Газы горючие природные. Расчетный метод определения теплоты сгорания, относительной плотности и числа Воббе. 3. ДСТУ 1434-1:2006 Теплолічильники. Загальні вимоги. 4. ГОСТ 8.586.1-2005 (ИСО 5167-1:2003) Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. 5. ГОСТ 30319.2-96 Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение коэффициента сжимаемости.

---

**Taras B. I., Senior Lecturer, Martyniuk Y. M., 4<sup>th</sup> year Senior Student**  
(The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

## **MEASUREMENT OF BOILER EFFICIENCY WITH THE PROSPECT OF EXTREME CONTROL**

**The paper sets the task to measure the efficiency of boiler with the prospect of extreme control of fuel-air ratio by this criterion. The structural scheme of measuring efficiency by measuring the consumption of natural gas and heat energy transferred to the coolant is suggested and analyzed.**

**Keywords:** automation, boilers, extreme control.

---

**Тарас Б. И., старший преподаватель, Мартынюк Ю. Н., студент 4 курса**  
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования,  
г. Ровно)

## **ИЗМЕРЕНИЯ КПД ВОДОГРЕЮЩЕГО КОТЛОАГРЕГАТА НА ГАЗОВОМ ТОПЛИВЕ С ПЕРСПЕКТИВОЙ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ**

**В работе поставлена задача измерения КПД водогреющего котлоагрегата с перспективой применения экстремального управления соотношением топливо-воздух за данным критерием. Предложена и проанализирована структурная схема измерения КПД на основе измерения расхода природного газа и тепловой энергии, которая передается теплоносителю.**

**Ключевые слова:** автоматизация, котлоагрегаты, экстремальное управление.

**Маркопольський В. О., студент 4 курсу ННІ АКОТ, Кутя В. М., старший викладач, Матус С. К., к.т.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)**

## **РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ТЕПЛИЦІ**

**Розглянуто основні вимоги до автоматизованих систем управління теплицями. Розроблено технічне та програмне забезпечення для автоматизованої системи керування мікрокліматом теплиці.**

**Ключові слова:** автоматизована система управління, теплиця, мікроконтролер.

### **Вступ**

Питання побудови ефективних і недорогих систем автоматизації теплиць є актуальним впродовж останніх десятиліть. Особливістю сучасної теплиці як об'єкта керування є велика інерційність, значний вплив зовнішніх збурень і нестабільність контрольованих і регульованих параметрів [1]. Поряд з цим, автоматизовані системи керування тепличними господарствами повинні забезпечувати дотримання агротехнічних норм вирощування рослин та максимальну економію енергоносіїв. А це, в свою чергу, накладає високі вимоги до функціонування та технічного вдосконалення апаратного та програмного забезпечення систем керування теплицями.

Зазвичай комплексна автоматизована система управління тепличним господарством включає: управління системами зрошення, освітлення, управління мікрокліматом і його похідними, управління газовим складом повітря, енергосистемою тощо. Типова система автоматизованого керування (АСК) мікрокліматом теплиці включає:

- системи автоматичного регулювання (САР) температури і відносної вологості повітря (відкривання вентиляційних фрамуг на заданий кут, регулювання витрати теплоносія, керування роботою системи оприскування);
- підігрів ґрунту;
- регулювання вмісту парникових газів;
- зашторювання (зменшення інтенсивності сонячних променів);
- а також керування роботою різних пристроїв, таких як: котел і насоси опалення, лампи освітлення, вентилятори припливу, витяжки та циркуляції повітря, клапани поливу тощо.

Тобто для автоматизації теплиці необхідно вирішити кілька типових завдань: автоматичне регулювання, програмно-логічне управління, автоматичні блокування та сигналізації.

Впровадження автоматизованих систем керування мікрокліматом у теплицях дозволяє економити 15-30% тепла, забезпечити контроль і регулювання мікрокліматичних умов теплиці за заданою програмою, регулювати подачу води і поживних речовин рослинам, збільшуючи їх врожайність [1-3].

АСК мікрокліматом в теплицях відіграє важливу роль при вирощуванні квітів, сільськогосподарських культур, садівництва та навіть у домашньому господарстві [3; 4].

**Метою роботи** є розробка недорогої та енергоефективної автоматизованої системи керування мікрокліматом теплиці, яка б мала зручний інтерфейс користувача і забезпечувала заданий режим вирощування сільськогосподарських культур.

**Основні результати досліджень**

У результаті аналізу аграрної теплиці як об'єкта автоматизації було сформовано основні вимоги до АСК мікрокліматом теплиці, визначено її функціональні ознаки та спроектовано схему автоматизації (рис. 1).

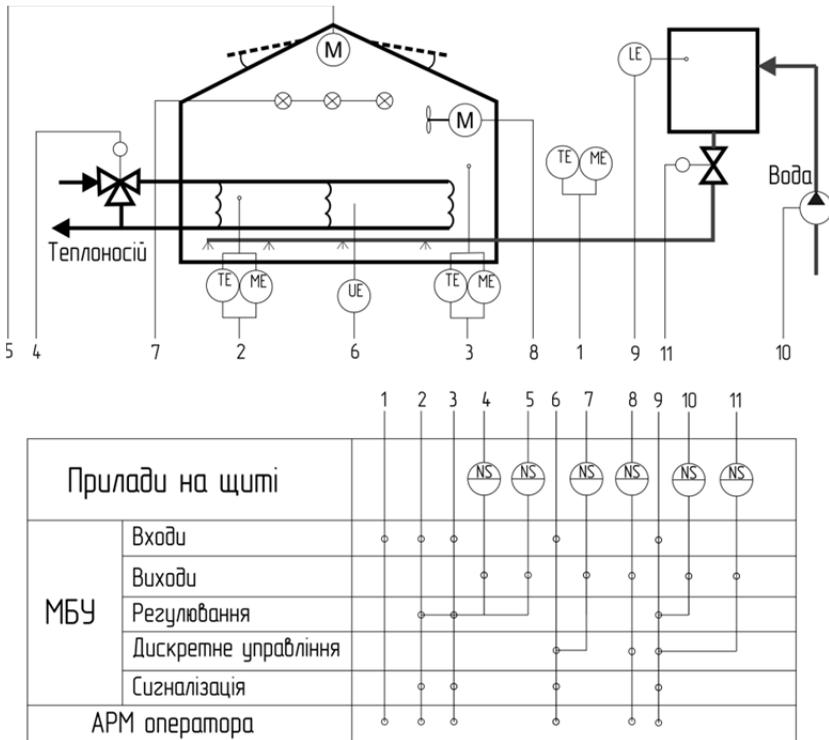


Рис. 1. Схема автоматизації теплиці

Технічна реалізація АСК виконана на базі мікроконтролерної плати Arduino Mega 2560, основним елементом якої є мікроконтролер ATmega2560. Вибір цієї плати обґрунтований її низькою вартістю, наявністю необхідної кількості каналів введення/виведення та комунікаційних портів, низьким енергоспоживанням, простотою розробки програмного забезпечення. На основі плати Arduino Mega 2560 розроблено мікропроцесорний блок управління (МБУ), який має рідкокристалічний дисплей та клавіатуру.

Система управління є дворівневою: перший рівень представляє власне МБУ, а другий – автоматизоване робоче місце (АРМ), тобто ПК оператора.

Для вимірювання температури і відносної вологості повітря всередині і зовні теплиці використано цифрові датчі DHT22. Вимірювання рівня освітленості здійснюється за допомогою фоторезисторних датчів. Виміряні значення параметрів мікроклімату обробляються мікроконтролерною платою Arduino та передаються на ПК оператора по інтерфейсу RS-485. Мікропроцесорний блок управління забезпечує автоматичне регулювання температури і відносної вологості повітря в теплиці, дискретне керування вентиляторами, лампами освітлення, клапанами поливу, відкриванням вентиляційних фрагуг.

Програмне забезпечення розробленої АСК складається з програми для плати Arduino Mega 2560 та програмного додатку для ПК. Програмний додаток для ПК оператора, розроблений в середовищі C++ Builder, має зручний графічний інтерфейс користувача та містить ряд вкладок (рис. 2-3), що дозволяють налаштовувати параметри зв'язку з мікроконтролерним блоком управління по послідовному інтерфейсу, контролювати параметри та змінювати завдання регулятора, змінювати режим роботи АСК (ручний/автоматичний).

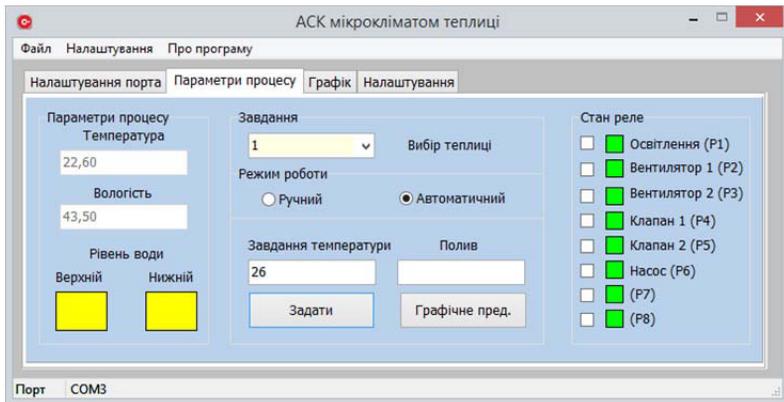


Рис. 2. Вікно відображення основних параметрів процесу



Рис. 3. Графіки зміни регульованих параметрів у часі

Також розроблено графічне представлення (мнемосхему) теплиці з динамічним відображенням контрольованих параметрів та індикаторами роботи обладнання (рис. 4).

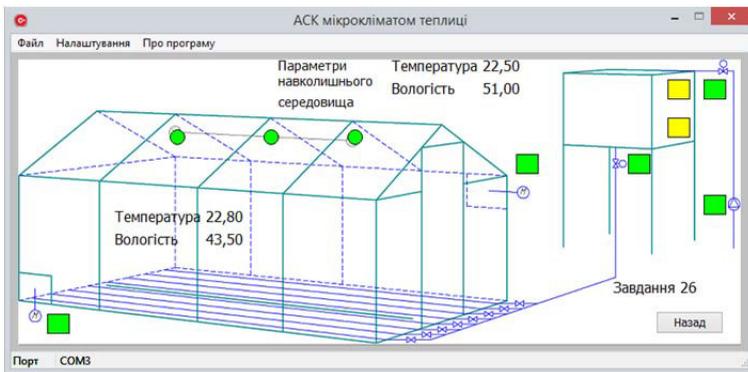


Рис. 4. Мнемосхема АСК мікрокліматом теплиці

Розроблена АСК мікрокліматом теплиці відповідає основним вимоги, які ставляться до автоматизованих систем [5]: модульність структури, що дає можливість підключення розширення функціональних можливостей системи; наявність автоматичного і ручного режимів роботи; збір, обробка та зберігання вимірювальної інформації; зміна завдання та параметрів регуляторів; зручний графічний інтерфейс користувача.

**Висновки.** Отже, запропонована АСК мікрокліматом теплиці є зручною і простою в реалізації, включає функції контролю, регулювання, дискретного управління, сигналізації, блокування, реєстрації та архівування інформації про стан параметрів мікроклімату в теплицях. Крім того, застосування розробленого мікропроцесорного блока управління сприяє зниженню енергоспоживання та вартості пристрою.

1. Сацик В. О. Апаратне забезпечення автоматизованого регулювання мікроклімату теплиці / В. О. Сацик, Д. П. Карпук // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". – 2013. – Вип. №40. – С. 245–250. 2. Економічне обґрунтування впровадження робототехнічних систем у тепличні господарства / В. П. Лисенко, І. М. Болбот, І. І. Чернов // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. – 2012. – Вип. 174(2). – С. 53–59. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau\\_tech\\_2012\\_174\(2\)\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_tech_2012_174(2)_10). 3. Коломієць Т. І. Автоматизована система управління параметрами мікроклімату в теплицях / Т. І. Коломієць // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку: матеріали Всеукраїнської науково-практичної Internet-конференції. – Черкаси, 2014. – С. 32–33. 4. Лисенко В. П. Програмно-апаратне забезпечення системи фітотиторингу в теплиці / В. П. Лисенко, І. М. Болбот, Т. І. Лендел, І. І. Чернов // Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК. – 2014. – № 2. – С. 65–68. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekit\\_2014\\_2\\_22](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekit_2014_2_22). 5. Speetjens S. L. Methodic design of a measurement and control system for climate control in horticulture / S. L. Speetjens, H. J. J. Janssen, G. van Straten, Th. H. Gieling, J. D. Stigter // *Comput. Electron. Agric.* – 2008. – Vol.64. – № 2 (December 2008). – P. 162–172.
- 

**Markopolskyi V. O., 4<sup>th</sup> year Senior Student, Kutia V. M., Senior Lecturer, Matus S. K., Candidate of Engineering, Associate Professor** (The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

## **DEVELOPMENT OF AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF THE GREENHOUSE MICROCLIMATE**

**The main requirements for greenhouse control system were considered. The hardware and software for greenhouse automated climate control system were developed and described.**

***Keywords:* automated control system, greenhouse, microcontroller.**

---

**Маркопольський В. О., студент 4 курсу, Кутя В. Н., старший преподаватель, Матус С. К., к.т.н., доцент** (Національний університет водного господарства и природопользования, г. Ровно)

## **РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ ТЕПЛИЦЫ**

**Рассмотрены основные требования к автоматизированным системам управления теплицами. Разработано техническое и программное обеспечение для автоматизированной системы управления микроклиматом теплицы.**

***Ключевые слова:* автоматизированная система управления, теплица, микроконтроллер.**

Рошенюк А. М., старший викладач (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## **ТВОРЧА САМОРЕАЛІЗАЦІЯ ФАХІВЦІВ З ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**У статті висвітлено окремі аспекти проблеми творчої самореалізації особистості фахівця з інформаційних технологій. Акцентується увага на розвитку й реалізації здібностей, поступовому особистісному зростанню, розкритті внутрішнього потенціалу і прагненні до максимально повної самореалізації.**

**Ключові слова:** творчість, самореалізація, творча особистість, творча самореалізація особистості.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми.** Теоретичну основу дослідження проблеми творчої самореалізації вчителя становлять: філософське осмислення творчості як форми буття людини, у результаті якої відбувається її розвиток, самовдосконалення, самореалізація (Г. С. Батішев, В. І. Муляр, В. Д. Шинкарук та ін.); погляди вчених на творчу діяльність вчителя як детермінанти його професійної самореалізації (В. І. Андреев, В. І. Загвязинський, С. О. Сисоева та ін.); педагогічне тлумачення самореалізації вчителя як активної пізнавальної та творчої його діяльності у нових умовах освітнього процесу (І. Д. Бех, О. В. Киричук, Г. П. Пустовіт та ін.). З середини ХХ століття вивчалися різні аспекти самореалізації: потребнісно-мотиваційна основа самореалізації (А. Маслоу, К. Роджерс, Д. Леонт'єв, В. Созонов); самореалізація як процес (Л. Виготський, О. Вітковська, В. Демиденко, О. Киричук); об'єктивний і суб'єктивний результат самореалізації (Д. Леонт'єв); особистісні якості, необхідні для самореалізації (А. Бодалев, Л. Рудкович).

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У системі вищої освіти України за останні роки під впливом зовнішніх чинників відбулися суттєві зміни. Багато проблем модернізації професійної освіти в Україні вирішуються з використанням досвіду європейської профосвіти. Серед найважливіших завдань навчального процесу є формування професійної мобільності, здатності до гнучких змін видів діяльності, вміння переучуватися та самонавчатися у відповідності з ринковими потребами. Ці навички є показником самореалізації людини.

Проблема самореалізації особистості бере початок у філософії, і перші роздуми на тему розвитку людини можна зустріти в роботах Арістотеля. Він говорив про взаємозв'язок розвитку людини з його способом життя [1]. Пізніше подібні ідеї потребували вдосконалення, оскільки під розвитком людини в основному розумілося його дозрівання.

Вперше саме ж поняття самореалізації вжив Ф. Г. Бредлі в книзі по етиці ("Этические исследования", 1876), зокрема ціль людського життя, по Бредлі, є "самореализация в бесконечной и всеохватывающей целосности" [2].

Розробкою проблеми самореалізації займалися у прагматизмі (Дж. Дьюї – поєднав пізнання і діяльність, спирався на метод експерименту), інтуїтивізмі (А. Бергсон, В. Кандинський, К. Малевич – естетичне відношення до дійсності, художня творчість, мистецтво, це самовираження), утилітаризмі (Д. Бертам, П. Сінгер – моральні цінності, поняття щастя).

Дослідження проблеми самореалізації можна знайти в роботах таких вчених як К. Юнг – архетип, індивідуалізація – певна спадкова структура психіки, яка змушує переживати і реалізовувати життєвий досвід цілком визначеним чином; Е.Фром – про продуктивний характер на благо і відвернення людських страждань; Адлер, який вважає рушійною силою психіки "прагнення до влади". За А.Адлером механізм самореалізації працює, з прагнення "почуття неповноцінності", весь процес формування особистості її характеру є результатом протесту проти цієї "неповноцінності" [3].

У "Великому тлумачному словнику української мови" знаходимо: самовиявлення – розкриття свого "Я", виявлення своїх думок, настроїв, переконань, своїх індивідуальних особливостей; прояв своєї індивідуальності [4]; самореалізація – реалізація свого творчого, людського потенціалу [5].

С. Гончаренко, автор "Українського педагогічного словника", вживає слово "самореалізація", однак пояснення його не дає [6].

Дослідженням сутності творчості, умов її розвитку та інших аспектів займалися і займаються різні науки, в тому числі філософія, психологія та педагогіка.

Творчі можливості особистості реалізуються в процесі життя людини, у результаті її самоутвердження – через самовираження й саморозвиток (Л. Сохань, В. Тихонович, В. Шинкарук, О. Феоктистова). При цьому під творчим самовираженням розуміють здатність людини будувати свій внутрішній світ, своє світовідчуття, самого себе в цьому світі [7].

С. Рубінштейн, підкреслюючи суспільну значущість процесу творчості, відзначав її як діяльність у створенні нового, оригінального, що входить не тільки в історію розвитку творця, а й в історію розвитку науки, мистецтва тощо [8]. Визначаючи виняткову значущість творчого розвитку особистості, Л.Виготський писав, що творчість – це діяльність людини, спрямована на створення нового: чи то речей зовнішнього світу, чи умовиводів або почуттів, властивих самій людині [9].

Як стверджує М. П. Лещенко, Макаренків ідеал – це самореалізована особистість, яка виявила власний творчий потенціал, розвинула його і відповідно до цього здобула професійну освіту, одержала особистісно привабливу соціальну роль [10]. Згідно з підходом А. С. Макаренка, саме в колективі відбувається реалізація творчих потенцій особистості за відповідних умов. Ця думка підтверджується педагогічними поглядами і

практикою В. О. Сухомлинського. Видається доцільним визначити, що термін "самовираження" учений ставить в один ряд з такими термінами, як "самооцінка", "самопостереження", "самовиховання", що є складовим такого поняття, як самоутвердження [11].

В. О. Сухомлинський ототожнює поняття "творчість" і "самовиявлення" [12]. Так само трактує поняття "творчість" і О. В. Киричук: творчість – це відкриття себе, самовираження власного "Я", самореалізація [13].

Самореалізація характеризує життєву активність особистості як загальне, і як особливе, у якому проявляється багатство одиничного й індивідуального [14]. Особливе у самореалізації може бути розкрито через її суб'єктивні складові: самоуправління і саморегуляцію.

Самоуправління розглядається, як здатність до внутрішнього контролю особистості над своїми багатогранними видами діяльності. Саморегуляція виступає, як здатність до динамічного коригування власної поведінки і власних дій [15]. Самоуправління і саморегуляція відіграють важливе значення у житті людини у соціумі та її професійній діяльності, оскільки в процесі перетворення зовнішніх вимог у контрольовану гармонію внутрішнього "я" створюється власний досвід індивідуальної траєкторії особистості, вибудовується "Я" – концепція [16]. Самореалізація особистості проявляється зовнішньо як моделювання особистістю своєї життєвої траєкторії, яка орієнтована на успіх. Самореалізація особистості залежить від рівня, способу, характеру включеності особистості у соціум. Завдяки діяльності і власним зусиллям людини створюється середовище, сприятливе для саморозвитку і самореалізації особистості, а через розширення соціальних зв'язків, включення її у новий вид діяльності створюються принципово нові внутрішні можливості для розвитку.

Домінантними якостями особистості фахівця з інформаційних технологій, які формують його здатність до самореалізації, є творчі якості особистості. До них слід віднести, перш за все, ті, що сприяють самореалізації особистості (самоуправління, саморегуляція, комунікативність, самовизначення, самоствердження, самовираження, творча діяльність). Це такі "базові", підсистемні якості:

1. Підсистема цілеспрямованості: позитивне уявлення про себе (адекватна оцінка), бажання пізнати себе; творчий інтерес, потяг до пошуку нової інформації, фактів; мотивація досягнення.

2. Підсистема характерологічних особливостей особистості: сміливість у прийнятті рішень, готовність до ризику; самостійність; ініціативність; впевненість у своїх силах та здібностях; цілеспрямованість; наполегливість; вміння довести почату справу до кінця; працелюбність; емоційна активність.

3. Підсистема творчих умінь: проблемне бачення; здатність до висування гіпотез, оригінальних ідей; здатність до дослідницької діяльності; розвинуте уявлення, здатність до виявлення протиріч; здатність до подолання інерції мислення; вміння аналізувати, інтегрувати та синтезувати інформацію.

4. Підсистема індивідуальних особливостей психічних процесів: альтернативність та дивергентність мислення; точність мислення; асоціативність пам'яті; цілісність, синтетичність, самостійність сприйняття; пошуково-перетворюючий стиль мислення [17].

З метою виявлення готовності до творчої самореалізації ІТ-спеціалістів було проведено анкетування студентів з використання методики "Незакінчені речення".

Аналіз даних анкетування дав можливість виявити, що 53% студентів готові до творчої самореалізації; 40% готові долати труднощі та звертатися по допомогу 53% (табл. 1).

Таблиця 1

Запитання	Варіанти відповідей	%
<b>1. Самореалізація – це</b>	вираження себе як особистості	40
	прояв своїх талантів, здібностей	33
	самостійне досягнення поставленої цілі	13
	фінансова незалежність, статус у суспільстві	14
<b>2. Оцінюючи свою готовність до самореалізації</b>	готовий	53
	не готовий	47
<b>3. Моє майбутнє залежить від</b>	мене	73
	знань, вмінь та навичок	27
<b>4. Коли виникають труднощі, я</b>	намагаюсь вирішити сам	40
	засмучуюсь	7
	звертаюсь по допомогу	53
<b>5. Перш ніж почати справу я</b>	прораховую план дій	40
	обдумую необхідність	20
	без відповіді	7
	планую	33
<b>6. Якщо я активно й самостійно плануватиму, вибиратиму і досягатиму цілей, то</b>	досягну бажаного	53
	буду самореалізованою людиною	33
	буду зациклений на кар'єрі егоїст	13
<b>7. Коли я думаю, що сам маю планувати майбутнє і досягати поставлених цілей, то відчуваю</b>	відповідальність	40
	дорослим, сам керую своїм життям	20
	сильним	7
	піднесення	13
	самостійність	20

<b>8. Коли мені потрібно вирішити будь-яке питання, я</b>	раджуюся	20
	вирішую його	67
	відкладаю на завтра	13
<b>9. Якщо для досягнення цілей мені треба буде розвивати власних здібностей, то я</b>	буду розвивати їх	80
	звернуся по допомогу	20
<b>10. Коли мене просять вирішити питання самостійно, я</b>	вирішую його	60
	відчуваю відповідальність	7
	намагаюсь його вирішити	33

Таким чином, аналіз відповідей респондентів дозволив зробити висновок, що студенти мають ширші уявлення про форми, способи і засоби творчої самореалізації, тобто є орієнтованими на активну реалізацію власних здібностей, втілення творчих задумів та отримання значущих результатів.

Наше дослідження також передбачало вивчення ставлення ІТ-спеціалістів до самостійного досягнення успіхів і реалізації власних здібностей. Значна частина підтвердила, що планування власного майбутнього розглядається респондентами, як умова життєвого успіху. Ситуація прийняття відповідальності за створення власного майбутнього викликає у респондентів інтерес і задоволення від усвідомлення компетентності ("почуваюсь дорослим, відчуваю вагомість того, що все залежить від мене").

Отже, на сьогоднішній день інтерес до питання самореалізації помітно зростає, це пов'язано з тим, що у сучасному світі високо цінується особа, здатна до самовдосконалення, розвитку та успішної адаптації до нових умов життя.

**Висновок.** Виділяється система характеристик потреби в самореалізації: потреба в самореалізації належить до розряду вищих потреб; вона є якісною характеристикою особистості; дана потреба актуалізує потенційні можливості особистості; вона сприяє розвитку особистості; потреба в самореалізації підтримує внутрішній стан напруження індивіда, вона має суперечливу природу; потреба в самореалізації існує у варіанті "для інших", тобто має соціальний характер; потреба в самореалізації - це цінність; вона має постійний, безперервний характер, потреба в самореалізації володіє здатністю цілеспрямованого формування в процесі оволодіння новими інформаційними технологіями.

1. Пантелеєва, В. В. О самореализации личности / В. В. Пантелеєва / Сборник по материалам Всероссийской научно-практической конференции, 2008. 2. Новая философская энциклопедия. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://iph.ras.ru/elib/0488.html> 3. Вільна енциклопедія. Вікіпедія. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Альфред\\_Адлер](https://uk.wikipedia.org/wiki/Альфред_Адлер) 4. Великий тлумачний словник сучасної української мови / Уклад. І голов. ред. В. Т. Бусел. – К. Ірпінь : ВТФ «Перун», 2001. – С. 1098. 5. Великий тлумачний словник сучасної української мови / Уклад. І голов. ред. В. Т. Бусел. – К. Ірпінь : ВТФ «Перун», 2001. – С. 1101.

6. Гончаренко С. Український педагогічний словник. – К. : Либідь, 1997. – 376 с.
7. Психология творчества / Под ред. Я. А. Пономарева. – М., 1990. – С. 350.
8. Рубинштейн С. А. Проблемы общей психологии. – М., 1976.
9. Щербакова К. І. Вступ до спеціальності: Навчальний посібник. – К., 1990. – 166 с.
10. Лещенко М. П. Педагогіка "щастя і поезії дитячого життя" // Педагогіка і психологія. – 1998. – № 1. – С. 54–55.
11. Сухомлинський В. О. Народження громадянина. Вибрані твори в 5 т. – К. : Рад. школа, 1977. – Т. 3. – С. 342.
12. Сухомлинський В. О. Народження громадянина. Вибрані твори в 5 т. – К. : Рад. школа, 1977. – Т. 3. – С. 566.
13. Основи психології: Підручник / За заг. редакцією О. В. Киричука, В. А. Роменця. – М. : Либідь, 1996. – С. 115.
14. Жизнь как творчество: социально-психологический анализ / В. И. Шинкарук, Л. В. Сохань, Н. А. Шульга и др. ; отв. ред. Л. В. Сохань, В. А. Тихонович. – К. : Наук. думка, 1985. – 302 с.
15. Творча самореалізація особистості державного службовця: стан та проблеми теоретико-правового забезпечення: наук. розробка / авт. кол. : Р. А. Науменко, Л. М. Гогіна, О. В. Серов, Г. І. Тодосова. – К. : НАДУ, 2012. – 60 с.
16. Фурман А. В. Психология Я-концепції : навч. посіб. / А. В. Фурман, О. Є. Гуменюк. – Львів : Новий Світ, 2006. – 360 с.
17. Сисоева С. О. Проблема формування особистості, здатної до творчої самореалізації / С. О. Сисоева // Наук. пр. : зб. – Миколаїв : МФ НаУКМА, 2000. – Т. 7: Педагогіка. – С. 13–19.
- 

**Roshcheniuk A. M., Senior Lecturer** (The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

### **CREATIVE SELF-IDENTITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES SPECIALISTS**

**The article highlights some aspects of creative self-identity problems of IT specialists. The attention is focused on the development and implementation of capabilities, the gradual personal growth, the disclosure of internal capacity and striving to maximize their full potential.**

**Keywords:** creativity, self-identity, creative person, creative self-identity of the individual.

---

**Рощенко А. М., старший преподаватель** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

### **ТВОРЧЕСКАЯ САМОРЕАЛИЗАЦИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ИНФОРМАЦИОННЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ**

**В статье освещены отдельные аспекты проблемы творческой самореализации личности специалиста по информационным технологиям. Акцентируется внимание на развитии и реализации способностей, постепенному личностному росту, раскрытию внутреннего потенциала и стремлении к максимально полной самореализации.**

**Ключевые слова:** творчество, самореализация, творческая личность, творческая самореализация личности.

## ЗМІСТ

Остапчук О. П., Прадищук О. А.	Математичне моделювання переносу сольових розчинів при фільтрації підземних вод у неізотермічних умовах .....	3
Остапчук О. П., Боровська М. О.	Математичне моделювання міграції радіонуклідів при плановій фільтрації до водного басейну .....	11
Цветкова Т. П., Олійник С. О.	Математичне моделювання масоперенесення солей при нестационарній фільтрації та вологоперенесенні у насичено-ненасиченому ґрунтовому масиві .....	19
Цветкова Т. П., Патрикей Г. П.	Числовое моделирование солепереноса при совместимой нестационарной фильтрации и влагопереносе в насыщено-ненасыщенных грунтах в одномерном случае.....	26
Жуковский В. В., Михальчук О. А.	Реалізація механізму завантаження медіа файлів у хмарний сервіс Microsoft Azure .....	35
Жуковський В. В., Цупер А. В.	Проектування системи реєстрації з використанням API соціальних мереж .....	41
Водяна С. П.	Задача про контакт штампа та пружного тіла при заданому навантаженні. Еквівалентні варіаційні постановки задачі .....	46
Брушковський О.Л., Дубчак І. В.	До визначення полів напружень і деформацій у анізотропних елементах силових конструкцій теоретико-експериментальним методом .....	51
Кушнір О. О., Кушнір В. П.	Дослідження властивостей високонадійної системи із захистом .....	60

Мартинюк П. М., Чеховська Н. В.	Чисельне розв'язання одновимірної задачі взаємозв'язаних процесів фільтраційної консолідації та контактної суфозії ґрунтів.....	67
Мартинюк П. М., Чуй Ю. В.	Математичне моделювання процесів фільтраційної консолідації ґрунтів з напівпроникними включеннями (двовимірна задача).....	76
Сидор А. І.	Сучасні методи шифрування інформації.....	87
Турбал Ю. В., Шах А. К.	Система автоматизованого проектування складу бетонної суміші .....	93
Зубик Л. В.	Дослідження проблеми надійності засвоєння технічних знань студентами вчз.....	99
Реут Д. Т., Коваль А. О.	Керування приводом камери для відстеження обличчя.....	104
Соломко М. Т., Гончарук Л. Ю.	Розробка комп'ютерної системи моніторингу руху персоналу вищого навчального закладу.....	108
Круліковський Б. Б., Дераженко В. В.	Розробка обчислювальної мережі комп'ютерного класу №128 кафедри обчислювальної техніки.....	113
Соломко М. Т., Крохмаль Д. А.	Розробка локально-обчислювальної мережі відділення ошадбанку в місті Новоград-Волинську.....	118
Николайчук Я. М., Федорчук О. М.	Розробка обчислювальної в м. Хмельницький ...	123
Николайчук Я. М., Хлян Б. Т.	Розробка системи безпеки будинку на базі технології ETHERNET .....	127

Круліковський Б. Б., Шутюк П. І.	Організація локальної обчислювальної мережі магазинів комп'ютерної техніки ..... 131
Круліковський Б. Б., Якобчук Д. Ю.	Розробка системи керування процесом зарядки літєвого акумулятора від сонячної енергії..... 136
Шатний С. В., Шевчук Н. С.	Розробка технічно-інформаційного комплексу обробки потоків розподіленої обчислювальної системи ..... 141
Полевщиков О. А., Шатний С.В.	Використання інформаційно-аналітичної системи прогнозування валютних ринків..... 148
Тадеєв П. О., Кравчук О. А.	Диференціальна геометрія подвійного векторного поля в $n$ -вимірному афінному просторі ..... 153
Харів Н. О., Матвійчук О. О.	Розробка WEB-ресурсу по працевлаштуванню для студентів ННІ АКOT ..... 164
Степанченко О. М., Бойко М. В.	Визначення конфігурації дахів будівель на високоточних супутникових та аерофотознімках з використанням даних LIDAR-знімання для визначення доцільності встановлення сонячних панелей..... 169
Степанченко О. М., Громко В. О., Степанченко С. А.	Розробка WEB-сайту для пошуку слів за окремими морфемами ..... 175
Бачишина Л. Д., Ільчук М. П.	Реалізація функціональності REALTIME в ASP.NET ..... 183
Матус С. К., Груша К. М.	Оперативний контроль за вологозапасами грунту із застосуванням тензіометричного методу..... 191
Клепач М. І. Филипчук Л. В.	Аналіз та комп'ютерне моделювання автоматичного регулювання параметрів рН та Еh промислових стічних вод у змішувачі- реакторі періодичної дії ..... 197

Христюк А. О.	Моделювання та автоматизація процесу свердловинного гідровидобутку корисних копалин.....	204
Тарас Б. І. Мартинюк Ю. М.	Вимірювання ККД водогрійного котлоагрегату на газовому паливі з перспективою керування по його екстремуму....	211
Маркопольський В.О., Кутя В. М., Матус С. К.	Розробка автоматизованої системи керування мікрокліматом теплиці .....	219
Рощенко А. М.	Творча самореалізація фахівців з інформаційних технологій.....	224

## CONTENT

Ostapchuk O. P., Pradyshchuk O. A.	The mathematical model of salt solutions transfer under groundwater filtration in nonisothermal conditions.....	3
Ostapchuk O. P., Borovska M. O.	The mathematical model of radionuclides migration under groundwater filtration to waterpool.....	11
Tsvetkova T. P., Oliinyk S. O.	The mathematical modeling of salts mass transfer process under non-stationary filtration and moisture transfer in saturated-non-saturated soil.....	19
Tsvetkova T. P., Petryckei H. P.	The numerical modeling of salts mass transfer process under non-stationary filtration and moisture transfer in saturated-non-saturated soil in one-dimensional case.....	26
Zhukovskiy V. V., Mykhalchuk O. A.	Image upload implementation to Microsoft Azure cloud.....	35
Zhukovskiy V. V., Tsuper A. V.	Authorization mechanism through social networks API.....	41
Vodyana S. P.	A problem of absolutely solid body (stamp) and elastic body contact at the given load.....	46
Brushkovskiy A. L., Dubchak I. V.	Determining tension and strains in power designs anisotropic elements by theoretical experimental methods.....	51
Kushnir O. O., Kushnir V. P.	Studying of highly reliable system qualities with protection.....	60

Martyniuk P. M., Chehovska N. V.	The mathematical solution of one-dimensional problem between correlated processes of filtration consolidation and contact suffusion soil.	67
Martyniuk P. M., Chui Y. V.	The mathematical model of soil filtration consolidation with semipermeable inclusions (two-dimensional problems).....	76
Sydor A. I.	Modern information encryption methods.....	87
Turbal Y. V., Shakh A. K.	Automated system of concrete mixture composition design.....	93
Zubyk L. V.	Studying of reliability problem of mastering technical knowledge among university students.....	99
Reut D. T., Koval A. O.	Face tracking camera drive control.....	104
Solomko M. T., Honcharuk L. Y.	Development of personnel computer monitoring system in higher educational institution.....	108
Krulikovskyi B. B., Derazhenko V. V.	Computer networks development in room № 128 of computer science department.....	113
Solomko M. T., Krokhmal D. A.	Computer networks development of sberbank in Novograd-Volynsk.....	118
Nykolaichuk Y. M., Fedorchuk O. M.	The development of computer network's branch in Khmelnytskyi.....	123
Nykolaichuk Y. M., Khlian B. T.	The development of house's security system on the base of technology Ethernet.....	127
Krulikovskyi B. B., Shutiuk P. I.	The organization of local network computer shops.....	131
Krulikovskyi B. B., Yakobchuk D. Y.	The development of system engineering process's management of charging from solar energy.....	136

Shatnyi S. V., Shevchuk N. S.	The development and processing information complex of computer system's flows.....	141
Polevshchikov O. A., Shatnyi S. V.	The use of information and analytical system of forecasting currency markets.....	148
Tadeiev P. O., Kravchuk O.A.	Differential geometry of dual vector field in <i>n</i> -dimensional affine space.....	153
Khariv N. O., Matviichuk O. O.	Web-resource development for the students of academic and research institute of automatics, cybernetics and computer sciences.....	164
Stepanchenko O. M., Boiko M. V.	Determination of the spatial configuration roofs on the basis of high accuracy satellite or aerial photography and LIDAR-capture of determining installation efficiency of solar batteries.....	169
Stepanchenko O. M., Hromko V. O., Stepanchenko S. A.	The creation of a website for searching words by a morpheme.....	175
Bachyshyna L. D., Ilchuk M. P.	REAL-TIME technologies implementation in ASP.NET.....	183
Matus S. K., Hrusha K. M.	Soil moisture reserves monitoring with the application of tensiometric method.....	191
Klepach M. I., Fylypchuk L. V.	Analysis and computer modeling of automatic industrial control of pH and eh parameters of wastewater in mechanical mixers-reactors .....	197
Khrystiuk A. O.	Modeling and automation of the hydraulic borehole minerals mining.....	204
Taras B. I., Martyniuk Y. M.	Measurement of boiler efficiency with the prospect of extreme control.....	211

Markopolskyi V. O., Kutia V. M., Matus S. K.	Development of automated control system of the greenhouse microclimate .....	219
Roshcheniuk A. M.	Creative self-identity of information technologies specialists .....	224

## СОДЕРЖАНИЕ

Остапчук О. П., Прадышук О. А.	Математическое моделирование переноса солевых растворов при фильтрации подземных вод в неизотермических условиях.....	3
Остапчук О. П., Боровская М. О.	Математическое моделирование миграции радионуклидов при плановой фильтрации до водного бассейна .....	11
Цветкова Т. П., Олийник С. О.	Математическое моделирование массопереноса солей при нестационарной фильтрации и влагопереносе в насыщенно-ненасыщенном почвенном массиве .....	19
Цветкова Т. П., Патрикей Г. П.	Чисельне моделювання солеперенесення при сумісній нестационарній фільтрації та вологоперенесенні в насичено-ненасичених ґрунтах в одновимірному випадку.....	26
Жуковский В. В., Михальчук О. А.	Реализация механизма загрузки медиа файлов в облачный сервис Microsoft Azure.....	35
Жуковский В. В., Цупер А. В.	Проектирование системы регистрации с использованием API социальных сетей.....	41
Водяна С. П.	Задача о контакте штампа и упругого тела при заданой нагрузке. Эквивалентные вариационные постановки задач .....	46
Брушковский О.Л., Дубчак И. В.	До определения полей напряжений и деформаций в анизотропных элементах силовых конструкций теоретически-экспериментальным методом .....	51
Кушнир О. О., Кушнир В. П.	Исследование свойств высоконадежной системы с защитой.....	60

Мартынюк П. Н., Чеховская Н. В.	Численное решение одномерной задачи взаимосвязанных процессов фильтрационной консолидации и контактной суффозии почв .....	67
Мартынюк П. Н., Чуй Ю. В.	Математичне моделювання процесів фільтраційної консолідації ґрунтів з напівпроникними включеннями (двовимірна задача).....	76
Сидор А. И.	Современные методы шифрования информации.....	87
Турбал Ю. В., Шах А. К.	Система автоматизированного проектирования состава бетонной смеси.....	93
Зубик Л. В.	Исследование проблемы надежности усвоения технических знаний студентами вузов .....	99
Реут Д. Т., Коваль А. О.	Управление приводом камеры для отслеживания лица .....	104
Соломко М. Т., Гончарук Л. Ю.	Разработка компьютерной системы мониторинга движения персонала высшего учебного учреждения .....	108
Круликовский Б. Б., Дераженко В. В.	Разработка локальной вычислительной сети компьютерного класса № 128 кафедры вычислительной техники .....	113
Соломко М. Т., Крохмаль Д. А.	Разработка локальной вычислительной сети отделений ошадбанка в городе Новоград-волынский .....	118
Николайчук Я. М., Федорчук О. М.	Разработка вычислительной сети в городе Хмельницкий.....	123

Николайчук Я. М., Хлян Б. Т.	Разработка системы безопасности дома на базе технологии Ethernet.....	127
Круликовский Б. Б., Шутюк П.И.	Организация локальной вычислительной сети для магазинов компьютерной техники .....	131
Круликовский Б. Б., Якобчук Д. Ю.	Разработка системы управления процессом зарядки литиевого аккумулятора от солнечной энергии.....	136
Шатный С. В., Шевчук Н. С.	Разработка технически-информационного комплекса обработки потоков распределенной вычислительной системы.....	141
Полевщиков О. А., Шатный С.В.	Использование информационно-аналитической системы прогноза валютных рынков .....	148
Тадеев П. О., Кравчук О. А.	Дифференциальная геометрия удвоенного векторного поля в $n$ -измеримом аффинном пространстве .....	153
Харив Н. О., Матвийчук А. А.	Разработка WEB-ресурса по трудоустройству для студентов УНИ АКВТ.....	164
Степанченко О. Н., Бойко М. В.	Определение конфигурации крыш строений на высокоточных спутниковых та аэрофотоснимках с использованием данных LIDAR – съемки для определения целесообразности установки солнечных панелей .....	169
Степанченко О. Н., Громко В. О., Степанченко С. А.	Создание WEB-сайта для поиска слов за отдельными морфемами.....	175
Бачишина Л. Д., Ильчук М. П.	Реализация функциональности REALTIME в ASP.NET .....	183

Матус С. К., Груша К. Н.	Измерение влажности и идентификация гидрофизических функций почв ..... 191
Клепач Н. И. Филипчук Л. В.	Анализ и компьютерное моделирование автоматического регулирования параметров рН и Eh промышленных сточных вод в смесители-реакторе периодического действия... 197
Хрыстюк А. А.	Моделирование и автоматизация процесса скважинной гидродобычи полезных ископаемых ..... 204
Тарас Б. И. Мартынюк Ю. Н.	Измерения КПД водогреющего котлоагрегата на газовом топливе с перспективой применения экстремального управления ..... 211
Маркопольский В.О., Кутя В. Н., Матус С. К.	Разработка автоматизированной системы управления микроклиматом теплицы..... 219
Рощенюк А. Н.	Творческая самореализация специалистов по информационным технологиям..... 224

Наукове видання

**ВІСНИК**  
**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВОГО ІНСТИТУТУ АВТОМАТИКИ,**  
**КІБЕРНЕТИКИ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ**  
**НУВГП**

**Випуск 2**

*Технічний редактор*

*Галина Сімчук  
Наталія Харів*

*Друкується в авторській редакції*

Підписано до друку 30.10.2015 р. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Папір друкарський № 1. Гарнітура Times. Друк різнографічний.  
Ум.-друк. арк. 14,1. Обл.-вид. арк. 14,7.  
Тираж 150 прим. Зам. № 5216.

*Видавець і виготовлювач  
Редакційно-видавничий відділ  
Національного університету  
водного господарства та природокористування  
33028, Рівне, вул. Соборна, 11.*

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного  
реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої  
продукції РВ № 31 від 26.04.2005 р.*