

УДК 519.85

О. Р. Мічута, канд. техн. наук

Національний університет водного господарства
та природокористування, м. Рівне

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ АДСОРБЦІЇ (ДЕСОРБЦІЇ) ТА НЕІЗОТЕРМІЧНИХ УМОВ НА ПРОЦЕСИ ФІЛЬТРАЦІЙНОЇ КОНСОЛІДАЦІЇ ЗАСОЛЕНИХ ҐРУНТІВ В ОДНОВИМІРНОМУ ВИПАДКУ

Побудовано математичну модель одновимірної задачі фільтраційної консолідації ґрунту з урахуванням впливу адсорбції (десорбції) і неізотермічних умов. Чисельний розв'язок відповідної крайової задачі знайдено методом скінченних різниць. Наведено результати чисельних екскрементів.

Ключові слова: *консолідація, засолений ґрунт, адсорбція, десорбція, неізотермічний режим.*

Вступ. Однією із задач класичної механіки ґрунтів є задача фільтраційної консолідації водонасиченого ґрунту. Вона полягає у визначенні динаміки зміни надлишкових напорів в поровій рідині пористого середовища. Причиною виникнення цих надлишкових напорів є прикладені навантаження на ґрунтове середовище у вигляді цивільних та промислових споруд, або власна вага ґрунту у випадку будівництва гідротехнічних об'єктів. Сам процес розсіювання надлишкових напорів в ґрунті призводить до зближення частинок ґрунту і, в результаті, до ущільнення ґрунтової основи під впливом прикладеного навантаження. Такі процеси математично досить повно описані в роботах [1, 3, 7]. Крім того, в роботах [2, 5] класичні математичні моделі фільтраційної консолідації доповнені та вдосконалені шляхом урахування впливу тепло-солепереносу.

Мета та наукова новизна статті полягає у побудові математичної моделі консолідації засолених ґрунтів з урахуванням впливу процесів адсорбції (десорбції) та температури, а також чисельне розв'язання відповідної крайової задачі. Елементи таких досліджень наведено в роботах [2, 6, 8]. Також із вищевказаного напрямку потрібно відзначити роботу [9].

Математична модель задачі. Математична модель одновимірної задачі консолідації ґрунту в області Ω під впливом миттєво прикладеного незмінного у часі зовнішнього навантаження з урахуванням впливу адсорбції та неізотермічних умов на основі робіт [4, 5] може бути описана наступною крайовою задачею:

$$\mu_e \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k(x, c, T) \frac{\partial h}{\partial x} \right), \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(D(x, c, T) \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_T \frac{\partial T}{\partial x} \right) - u \frac{\partial c}{\partial x} - \frac{\partial N}{\partial t} = n \frac{\partial c}{\partial t}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \gamma_1 (cn - \alpha N), \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(x, c, T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) - \rho c_p u \frac{\partial T}{\partial x} = c_T \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (4)$$

$$u = \bar{e}v - k(x, c, T) \frac{\partial h}{\partial x} + v(x, c, T) \frac{\partial c}{\partial x} + \mu(x, c, T) \frac{\partial T}{\partial x}, \quad (5)$$

$$h(x, 0) = h_0(x), \quad c(x, 0) = c_0(x), \quad T(x, 0) = T_0(x), \quad (6)$$

$$h(0, t) = 0, \quad u|_{x=l} = 0,$$

$$c(0, t) = C_m, \quad \left(D(x, c, T) \frac{\partial c}{\partial x} + D_T \frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=l} = 0, \quad (7)$$

$$T(0, t) = T_1(t), \quad T(l, t) = T_2(t),$$

де $x \in [0; l]$, $t > 0$; $T_1(t)$, $T_2(t)$, $h_0(x)$, $c_0(x)$, $T_0(x)$ — задані функції. Тут використані наступні позначення: $h(x, t) = p/\gamma$ — надлишковий напір; p — надлишковий тиск в поровому розчині; $c(x, t)$ — концентрація порового сольового розчину; $T(x, t)$ — температура; $N(x, t)$ — концентрація солей в твердій фазі; k , D , D_T , v , λ , μ — коефіцієнти фільтрації, конвективної дифузії, термодифузії, хімічного осмосу, ефективної теплопровідності вологого ґрунту, термічного осмосу; ρ — густина порового розчину; c_p — питома теплоємність порового розчину; c_T — об'ємна теплоємність вологого ґрунту; u — швидкість фільтрації сольового розчину; v — швидкість руху твердих частинок ґрунту; t — час; γ — питома вага сольового розчину; n — пористість ґрунту; μ_e — коефіцієнт пружної ємності шару ґрунту; γ_1 , $\alpha(T)$ — кінетичні коефіцієнти; C_m — концентрація граничного насичення в рідкій фазі.

Закон (6) є узагальненим законом Дарсі-Герсеванова на випадок руху солевих розчинів [7]. В ньому враховується вплив на швидкість фільтрації осмотичних явищ, які мають місце в нерівномірно засолених ґрунтах при наявності градієнта температури. В роботі [5] був прийнятий закон, який дозволяв враховувати або лише нормальні, або лише аномальні хімічні осмотичні явища. Врахувати ж одночасно наявність аномальної та нормальної хімічної осмотичної фільт-

рації дозволяє прийняття залежності в законі (6) коефіцієнта хімічного осмосу ν від концентрації розчинених солей c . В даній роботі було враховано залежність коефіцієнта фільтрації як від концентрації розчинених солей так і від температури.

Вважається, що верхня та нижня межі масиву ґрунту дреновані. Концентрація порового сольового розчину, як і температура, на обох межах є відомою. Причому, верхня межа змочена концентрованим сольовим розчином.

Чисельне розв'язання крайової задачі. Числовий розв'язок виснаженої крайової задачі (1)–(7) знайдемо методом скінченних різниць. Для цього покриємо область $\bar{Q}_{t_0} = [0; l] \times [0; t_0]$ рівномірною сіткою з кроками h_x та τ відповідно по змінній x та часу t . Нехай m_1 — кількість кроків по просторовій змінній, n_1 — кількість кроків по часу.

Для дискретизації рівняння (1) використаємо неявну різницеву схему, а для рівняння (2), (4) — монотонну різницеву схему Самарського. В результаті отримаємо наступний скінченнорізницевий аналог диференціальних рівнянь (1)–(5):

$$\mu_e \frac{h_i^{(j+1)} - h_i^{(j)}}{\tau} = \left(a_{i+1}^{(j+1)} \frac{h_{i+1}^{(j+1)} - h_i^{(j+1)}}{h_x} - a_i^{(j+1)} \frac{h_i^{(j+1)} - h_{i-1}^{(j+1)}}{h_x} \right), \quad (8)$$

$$n \cdot \frac{c_i^{(j+1)} - c_i^{(j)}}{\tau} = \frac{\eta_i^{(j)}}{h_x} \cdot \left(d_{i+1}^{(j)} \cdot \frac{c_{i+1}^{(j+1)} - c_i^{(j+1)}}{h_x} - d_i^{(j)} \cdot \frac{c_i^{(j+1)} - c_{i-1}^{(j+1)}}{h_x} \right) + \frac{1}{h_x} \cdot \left((d_T)_{i+1}^{(j)} \cdot \frac{T_{i+1}^{(j+1)} - T_i^{(j+1)}}{h_x} - (d_T)_i^{(j)} \cdot \frac{T_i^{(j+1)} - T_{i-1}^{(j+1)}}{h_x} \right) + \quad (9)$$

$$+ \frac{(u^+)_{i+1}^{(j)}}{D_i^{(j)}} \cdot d_{i+1}^{(j)} \cdot \frac{c_{i+1}^{(j+1)} - c_i^{(j+1)}}{h_x} + \frac{(u^-)_{i+1}^{(j)}}{D_i^{(j)}} \cdot d_i^{(j)} \cdot \frac{c_i^{(j+1)} - c_{i-1}^{(j+1)}}{h_x} - \gamma_1(nc_i^{(j+1)} - \alpha \cdot N_i^{(j+1)}),$$

$$c_T \cdot \frac{T_i^{(j+1)} - T_i^{(j)}}{\tau} = \frac{\bar{\eta}_i^{(j)}}{h_x} \cdot \left(\bar{\lambda}_{i+1}^{(j)} \cdot \frac{T_{i+1}^{(j+1)} - T_i^{(j+1)}}{h_x} - \bar{\lambda}_i^{(j)} \cdot \frac{T_i^{(j+1)} - T_{i-1}^{(j+1)}}{h_x} \right) + \quad (10)$$

$$+ \rho \cdot c_\rho \cdot \left(\frac{(u^+)_{i+1}^{(j)}}{\lambda_i^{(j)}} \cdot \bar{\lambda}_{i+1}^{(j)} \cdot \frac{T_{i+1}^{(j+1)} - T_i^{(j+1)}}{h_x} + \frac{(u^-)_{i+1}^{(j)}}{\lambda_i^{(j)}} \cdot \bar{\lambda}_i^{(j)} \cdot \frac{T_i^{(j+1)} - T_{i-1}^{(j+1)}}{h_x} \right),$$

$$N_i^{(j+1)} = \gamma_1 \tau \left(c_i^{(j)} n - \alpha N_i^{(j)} \right) + N_i^{(j)}, \quad (11)$$

$i = \overline{1, m_1 - 1}, j = \overline{0, n_1 - 1}$, та закону (6)

$$\begin{aligned}
 u_i^{(j)} = e \cdot v - k_i^{(j)} \cdot \frac{h_{i+1}^{(j)} - h_{i-1}^{(j)}}{2h_x} + \\
 + v_i^{(j)} \cdot \frac{c_{i+1}^{(j)} - c_{i-1}^{(j)}}{2h_x} + \mu_i^{(j)} \cdot \frac{T_{i+1}^{(j)} - T_{i-1}^{(j)}}{2h_x}, i = \overline{1, m_1 - 1}, j = \overline{1, n_1},
 \end{aligned} \quad (12)$$

де

$$a_i^{(j)} = \frac{1}{2} \cdot (k_i^{(j)} + k_{i-1}^{(j)}), b_i^{(j)} = \frac{1}{2} \cdot (v_i^{(j)} + v_{i-1}^{(j)}), z_i^{(j)} = \frac{1}{2} \cdot (\mu_i^{(j)} + \mu_{i-1}^{(j)}),$$

$$d_i^{(j)} = \frac{1}{2} \cdot (D_i^{(j)} + D_{i-1}^{(j)}), (d_T)_i^{(j)} = \frac{1}{2} \cdot ((D_T)_i^{(j)} + (D_T)_{i-1}^{(j)}),$$

$$\bar{\lambda}_i^{(j)} = \frac{1}{2} \cdot (\lambda_i^{(j)} + \lambda_{i-1}^{(j)}),$$

$$\eta_i^{(j)} = \frac{1}{1 + \frac{h_x \cdot |u_i^{(j)}|}{2 \cdot D_i^{(j)}}} = 1 - \frac{h_x \cdot |u_i^{(j)}|}{2 \cdot D_i^{(j)}} + O(h_x^2),$$

$$\bar{\eta}_i^{(j)} = \frac{1}{1 + \frac{h_x \cdot \rho \cdot c_\rho \cdot |u_i^{(j)}|}{2 \cdot \lambda_i^{(j)}}} = 1 - \frac{h_x \cdot \rho \cdot c_\rho \cdot |u_i^{(j)}|}{2 \cdot \lambda_i^{(j)}} + O(h_x^2),$$

$$(u^+)_i^{(j)} = \frac{-u_i^{(j)} + |u_i^{(j)}|}{2} \geq 0, (u^-)_i^{(j)} = \frac{-u_i^{(j)} - |u_i^{(j)}|}{2} \leq 0.$$

Для знаходження напору $h(x, t)$ з різницевого рівняння (12) використаємо метод прогонки [10]. Для цього зведемо дане рівняння до прогоночного вигляду

$$a_i h_{i-1}^{(j+1)} - c_i h_i^{(j+1)} + b_i h_{i+1}^{(j+1)} = -h_i^{(j)} - s_i^{(j+1)},$$

де

$$a_i = \frac{\tau}{\mu_e h_x^2} a_i^{(j+1)}, c_i = 1 + \frac{\tau}{\mu_e h_x^2} (a_i^{(j+1)} + a_{i+1}^{(j+1)}), b_i = \frac{\tau}{\mu_e h_x^2} a_{i+1}^{(j+1)}.$$

Умови стійкості прогонки $|c_i| > |a_i| + |b_i|$ виконуються. Значення напорів на часовому шарі $(j+1)$ послідовно знаходимо, використовуючи співвідношення

$$h_i^{(j+1)} = \alpha_{i+1} h_{i+1}^{(j+1)} + \beta_{i+1},$$

$$\text{де } \alpha_{i+1} = \frac{b_i}{c_i - a_i \alpha_i}, \beta_{i+1} = \frac{a_i \beta_i + h_i^{(j)}}{c_i - a_i \alpha_i}.$$

Для знаходження концентрації $c(x, t)$ з різницевого рівняння (9) використаємо метод прогонки [10]. Для цього зведемо дане рівняння до прогоночного вигляду

$$a_i c_{i-1}^{(j+1)} - c_i c_i^{(j+1)} + b_i c_{i+1}^{(j+1)} = -c_i^{(j)} - s_i^{(j+1)},$$

$$\text{де } a_i = \frac{\tau}{n} \cdot \frac{d_i^{(j)}}{h_x} \cdot \left(\frac{\eta_i^{(j)}}{h_x} - \frac{(u^-)_i^{(j)}}{D_i^{(j)}} \right), \quad b_i = \frac{\tau}{n} \cdot \frac{d_{i+1}^{(j)}}{h_x} \cdot \left(\frac{\eta_i^{(j)}}{h_x} - \frac{(u^+)_i^{(j)}}{D_i^{(j)}} \right),$$

$$c_i = 1 + \frac{\tau}{n} \cdot \left(\frac{\eta_i^{(j)} \cdot (d_{i+1}^{(j)} + d_i^{(j)})}{h_x^2} + \frac{1}{D_i^{(j)}} \cdot ((u^+)_i^{(j)} \cdot d_{i+1}^{(j)} - (u^-)_i^{(j)} \cdot d_i^{(j)}) + \gamma_1 h_x n \right),$$

$$s_i^{(j+1)} = \frac{\tau}{n} \cdot \left(\gamma_1 \alpha \cdot \left(\frac{N_i^{(j+1)} - N_i^{(j)}}{\tau} \right) + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{h_x} \left((d_T)_{i+1}^{(j)} \frac{T_{i+1}^{(j+1)} - T_i^{(j+1)}}{h_x} - (d_T)_i^{(j)} \frac{T_i^{(j+1)} - T_{i-1}^{(j+1)}}{h_x} \right) \right).$$

Легко бачити, що умови стійкості прогонки $|c_i| > |a_i| + |b_i|$ виконуються. Значення концентрації на часовому шарі $(j+1)$ послідовно знаходимо, використовуючи співвідношення

$$c_i^{(j+1)} = \alpha_{i+1} \cdot c_{i+1}^{(j+1)} + \beta_{i+1},$$

$$\text{де } \alpha_{i+1} = \frac{b_i}{c_i - a_i \alpha_i}, \quad \beta_{i+1} = \frac{a_i \beta_i + c_i^{(j)} + s_i^{(j+1)}}{c_i - a_i \alpha_i}.$$

Для знаходження температури $T(x, t)$ з різницевого рівняння (10) використаємо метод прогонки. Для цього зведемо дане рівняння до прогоночного вигляду

$$a_i T_{i-1}^{(j+1)} - c_i T_i^{(j+1)} + b_i T_{i+1}^{(j+1)} = -T_i^{(j)},$$

$$\text{де}$$

$$a_i = \frac{\tau}{c_T} \cdot \frac{\bar{\lambda}_i^{(j)}}{h_x} \cdot \left(\frac{\bar{\eta}_i^{(j)}}{h_x} - \frac{\rho c_\rho (u^-)_i^{(j)}}{\lambda_i^{(j)}} \right),$$

$$b_i = \frac{\tau}{c_T} \cdot \frac{\bar{\lambda}_{i+1}^{(j)}}{h_x} \cdot \left(\frac{\bar{\eta}_i^{(j)}}{h_x} - \frac{\rho c_\rho (u^+)_i^{(j)}}{\lambda_i^{(j)}} \right),$$

$$c_i = 1 + \frac{\tau}{c_T} \cdot \left(\frac{\bar{\eta}_i^{(j)} \cdot (\bar{\lambda}_{i+1}^{(j)} + \bar{\lambda}_i^{(j)})}{h_x^2} + \frac{1}{\lambda_i^{(j)}} \cdot (\rho c_\rho (u^+)_i^{(j)} \cdot \bar{\lambda}_{i+1}^{(j)} - \rho c_\rho (u^-)_i^{(j)} \cdot \bar{\lambda}_i^{(j)}) \right).$$

Неважко показати, що умови стійкості прогонки $|c_i| > |a_i| + |b_i|$ виконуються. Значення температури на часовому шарі $(j+1)$ послідовно знаходимо, використовуючи співвідношення

$$T_i^{(j+1)} = \alpha_{i+1} \cdot T_{i+1}^{(j)} + \beta_{i+1},$$

$$\text{де } \alpha_{i+1} = \frac{b_i}{c_i - a_i \alpha_i}, \beta_{i+1} = \frac{a_i \beta_i + T_i^{(j)}}{c_i - a_i \alpha_i}.$$

Для початкових умов отримаємо наступні скінченнорізницьві аналоги:

$$h_i^{(0)} = h_0(ih_x), c_i^{(0)} = c_0(ih_x), T_i^{(0)} = T_0(ih_x), i = \overline{0, m_1}.$$

Граничні умови другого роду в (7) апроксимуємо з точністю $o(\tau + h^2)$ аналогічно до роботи [10].

Результати чисельних експериментів. Дослідження оцінки впливу наявності процесів адсорбції та десорбції на процес консолідації ґрунту в неізотермічних умовах для даної одновимірної задачі проведено на тестовому прикладі. В зв'язку з цим розглянуто задачу фільтраційної консолідації шару глинистого ґрунту товщиною $l = 20$ м з наступними вихідними даними:

$$D = 0.002 \text{ м}^2/\text{доба}, \gamma = 10^4 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{доба}^2}, n = 0.4, \gamma_1 = 6,5 \cdot 10^{-4} \text{ доба}^{-1},$$

$$\mu_e = 5 \cdot 10^{-5}, c_0(x) = 8 \text{ г/літр}, \alpha = 1/2, N_0(x) = 240 \left(-\left(\frac{x}{l} \right)^2 + \frac{x}{l} \right) + 40,$$

$$\delta = 2 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}, T_0 = 4^0 \text{ C}, \nu = 2.8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^5/\text{кг} \cdot \text{доба},$$

$$\lambda = 108 \frac{\text{кДж}}{\text{м} \cdot \text{град} \cdot \text{доба}}, \mu = 2.8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{град} \cdot \text{доба},$$

$$\rho = 1100 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, c_\rho = 4,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}, c_T = 796 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{град}},$$

$$T_1(t) = 30^0 \text{ C}.$$

У випадку сталого коефіцієнта фільтрації $k = 0.001$ м/доба.

На верхню межу ґрунту рівномірно прикладається зовнішнє навантаження інтенсивністю $q = 20 \cdot 10^4 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{доба}^2}$. При проведенні числових експериментів в законі (6) знехтувано швидкістю руху твердих частинок ґрунту.

Виходячи з експериментальних наступних даних, врахована залежність концентрації граничного насичення солі від температури:

*Залежність концентрації граничного насичення
кам'яної солі від температури*

$T, ^\circ C$	0...19	20...24	25...29	30...39	40...50
$C_m(T), \frac{г}{л}$	357	359	360	361	364

Прийнята наступна залежність коефіцієнта фільтрації від концентрації соляного розчину [4, 5]:

$$k(c) = a_5 \cdot \left(\frac{c}{C_m}\right)^5 + a_4 \cdot \left(\frac{c}{C_m}\right)^4 + a_3 \cdot \left(\frac{c}{C_m}\right)^3 + a_2 \cdot \left(\frac{c}{C_m}\right)^2 + a_1 \cdot \left(\frac{c}{C_m}\right) + a_0,$$

де, $a_5 = 0,042557151$, $a_4 = -0,12857957$, $a_3 = 0,140291508$,
 $a_2 = -0,0643274$, $a_1 = 9,345668647 \cdot 10^{-3}$, $a_0 = 0,0010339$.

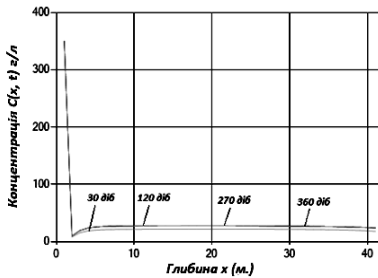


Рис. 1. Концентрація солей у рідкій фазі

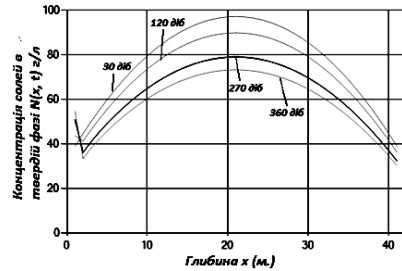


Рис. 2. Концентрація солей в твердій фазі

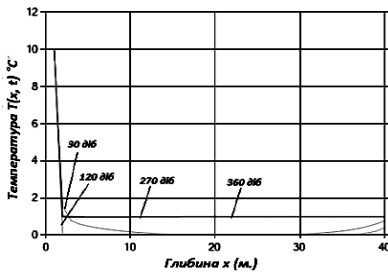


Рис. 3. Розподіл температури

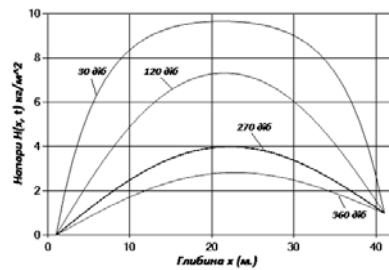


Рис. 4. Розподіл надлишкових напорів

Отже, урахування дії не чистої води, а соляного розчину може значно змінити прогностичні розрахунки просідання будівель на засоленних ґрунтах. Крім того, урахування наявності адсорбції (десорбції) та залежності коефіцієнта фільтрації від концентрації солей в твердій фазі та температури значно впливає і на розподіл надлишкових напорів в засоленому ґрунті — напори розсіюються повільніше.

Висновки. В роботі досліджено вплив адсорбції (десорбції) та температури на розподіл надлишкових напорів. При проведенні і аналізі чисельних експериментів виявлено, що неізотермічні умови та врахування залежності коефіцієнта фільтрації від концентрації солей в твердій фазі та температури може значно змінити прогнозні розрахунки просідання ґрунту та розподіл надлишкових напорів в ньому. Подальші дослідження будуть стосуватися двовимірної задачі.

Список використаних джерел:

1. Аравин В. И. Naturные исследования фильтрации / В. И. Аравин, О. Н. Носова. — Л. : Энергия, 1969. — 255 с.
2. Богаєнко В. О. Моделювання впливу засоленості на динаміку геохімічних процесів / В. О. Богаєнко // Математичне та комп'ютерне моделювання. Сер. фіз.-мат. науки. — 2010. — Вип. 3. — С. 3–12.
3. Веригин Н. Н. Конвективная дифузия и массообмен при фильтрации растворов в пористой среде / Н. Н. Веригин, В. С. Саркисян // Гидрогеол. исслед. водозаборн., водопонизительн. и дренаж. систем. — М., 1980. — С. 19–24.
4. Власюк А. П. Експериментальні дослідження деяких параметрів фільтрації сольових розчинів у піщаних ґрунтах / А. П. Власюк, М. Т. Кузло // Меліорація та водне господарство : міжвідомчий тематич. наук. зб. — К. : Аграрна наука, 2000. — Вип. 87. — С. 65–72.
5. Власюк А. П. Математичне моделювання консолідації ґрунтів при фільтрації сольових розчинів в неізотермічних умовах / А. П. Власюк, П. М. Мартинюк. — Рівне : Вид-во НУВГП, 2008. — 416 с.
6. Добронравов О. О. Моделювання фільтрації ґрунтових вод з урахуванням суфозії і кольматації / О. О. Добронравов, В. С. Крємез // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки. — 2006. — Вип. 7. — С. 141–146.
7. Иванов П. Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений. Механика грунтов / П. Л. Иванов. — М. : Высш. шк., 1991. — 447 с.
8. Желизко В. В. Математическое моделирование фильтрации воды в дамбах накопителей промышленных отходов и жидких стоков с учетом кольматации / В. В. Желизко, В. С. Крємез, А. А. Добронравов // Киевский национальный университет строительства и архитектуры. — 2004. — С. 31–37.
9. Сабадаш В. В. Абсорбційні процеси у природних дисперсних системах / В. В. Сабадаш, Я. М. Гуманицький, М. І. Басумак // Національний університет «Львівська політехніка». — 2013. — С. 277–280.
10. Самарский А. А. Численные методы математической физики / А. А. Самарский, А. В. Гулин. — М. : Научный мир, 2003. — 316 с.

The mathematical model of one-dimensional filtration consolidation problem of soil has been built taking into account adsorption (desorption) and non-isothermal conditions. The numerical solution of the corresponding boundary problem have been found by the finite difference method. The series of numerical experiments and their analysis have been carried out.

Key words: *filtration consolidation, salt soil, adsorption, desorption, isothermal mode.*

Отримано: 26.04.2016