

*Матеріали IV Всеукраїнської науково-технічної конференції ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ РАДІОТЕХНІКИ, ПРИЛАДОБУДУВАННЯ І КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ 2019*

УДК 504.05

**Л.Я. Побережна, к.т.н., Л.Я. Побережний, д.т.н.**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна

**МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ЗАСОЛЕННЯ ҐРУНТІВ НА ЇХ ОПІР ТРИВАЛОМУ СТАТИЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ**

Закономірності зміни властивостей засоленних ґрунтів підтопленні територій дуже важливі для проектування основ і фундаментів промислових і цивільних споруд. Проведено математичне моделювання зміни несучої здатності засоленних ґрунтів.

**Ключові слова:** засолені ґрунти, вилуговування солей, суфозія, просідання обводнених ґрунтів.

**Poberezhna L.Ya., Poberezhny L.Ya.**

**MODELING THE INFLUENCE OF SOIL SURFACES ON THEIR DURING THE CONTINUOUS STATIC LOADING**

Patterns of change in the properties of soil salinity flooding areas are very important for designing bases and foundations of industrial and civil buildings. The mathematical modeling of the change in bearing capacity of saline soils was carried out.

**Keywords:** saline soils, leaching of salts, suffusion, subsidence watered soil.

Екологічна безпека регіонів є однією з найважливіших проблем на сучасному етапі розвитку суспільства. Погіршення екологічного стану оточуючого середовища та погіршення здоров'я населення, що проживає на даних територіях визначає необхідність вивчення екологічних небезпек та ризиків. В умовах сучасного розвитку суспільства значне місце займає проблема освоєння та забудови значних земельних територій.

Велика конкуренція, висока щільність забудови та недостатній обсяг земельного фонду призвели до залучення під будівництво структурно-нестійких ґрунтів.

У Калуському промисловому районі Івано-Франківської області великі площі займають засолені ґрунти, які належать до району ліквідованих гірничо-хімічних підприємств Прикарпаття.

Проблема забезпечення від руйнування споруд цивільного та промислового будівництва є однією з найважливіших на даний час. При проектуванні споруд, які знаходяться у зоні шкідливого впливу гірських виробок необхідно враховувати діючі Державні будівельні норми України та міжнародні стандарти, котрі застосовуються при будівництві споруд [1].

Вивчення закордонного досвіду дозволяє здійснювати прогноз стійкості фундаментів будівель, споруджених на засоленних територіях.

Просідання глинистих ґрунтів характеризується рядом показників: межа просідання, щільність скелету ґрунту на межі просідання, величина відносного лінійного та об'ємного просідання.

На даний час при вивченні механіки ґрунтів відсутня строга математична постановка задачі про напружено-деформований стан масиву водонасиченого засоленого ґрунту та зміни цього стану з урахуванням процесів масообміну та масопереносу між компонентами ґрунту. Це значно сповільнює подальший розвиток методів розрахунку основ, котрі складаються з засоленних ґрунтів.

Наявність в ґрунтах різних за кількісним складом солей впливає на деформаційні показники ґрунтів. При зволоженні засоленних ґрунтів відбувається розчинення і винос солей, які в них містяться і згідно з цим збільшується пористість ґрунту. Збільшення ж

пористості засоленних ґрунтів при зволоженні в свою чергу призводить до суфозійного просідання [1-2].

Для просідання однорідного шару ґрунту у напрямку осі  $X$  маємо формулу (1):

$$S(t) = \int_{h_1}^{h_2} \alpha_0 (\sigma - \sigma_0)^{\nu_0} \frac{\xi_0 - \xi(t)}{\xi_0} dx \quad (1)$$

де:  $h_1, h_2$  - відповідно верхня і нижня межі області суфозійної осадки;  $\sigma = \gamma_0 x$  - зміна ущільнюючого навантаження по глибині в умовах природного напруженого стану, МПа;  $\gamma_0$  - питома вага ґрунту в водонасиченому стані, Н/см<sup>3</sup>;  $\alpha_0, \nu_0$  - параметри нелінійної деформації, які є сталими для однорідної товщі ґрунту;  $\xi(t)$  - функція розподілу питомого обсягу солей, в частках одиниць;  $\sigma_0$  - мінімальний тиск, при якому виникає суфозійне осідання ґрунту, МПа [2].

У загальному випадку закон зміни питомого обсягу розчинних солей в ґрунті з глибиною і з часом описується системою рівнянь (2):

$$\begin{cases} Dm_0 \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x} - \delta \frac{\partial \xi}{\partial t} = m_0 \frac{\partial C}{\partial t}; \\ \frac{\partial \xi}{\partial t} = -\frac{\gamma}{\delta} (C_m - C) \xi^k \end{cases} \quad (2)$$

де:  $D$ - коефіцієнт конвективної дифузії, см<sup>2</sup>/с;  $C$ - концентрація солей у рідині, г/см<sup>3</sup>;  $\xi$  - питомий об'єм солей в ґрунті, в частках одиниць.  $C_m$ - концентрація насичення води солями даного складу, г/см<sup>3</sup>;  $\gamma$  - узагальнений коефіцієнт солевіддачі, с<sup>-1</sup>;  $m_0$ - пористість ґрунту;  $v$  швидкість фільтрації ґрунтової води, см/с;  $\delta$  - щільність солей, г/см<sup>3</sup>;  $k$  - коефіцієнт засолення.

У системі (2)  $k$  приймає значення 0;0,5;1. При  $k = 0$  отримуємо випадок плівкового засолення ґрунту; при або  $k = 1$  - випадок об'ємного (дисперсного) засолення ґрунту [3]. Розглянемо математичну модель задачі з розрахунку концентрації солей в рідині, яка фільтрується та розрахунку зміни питомого обсягу солей, що містяться в засоленому ґрунті і суфозійне просідання, яка при цьому виникає. Для розв'язання цієї задачі використовується система (2) з наступними початковими та граничними умовами (3):

$$\begin{cases} C(x, 0) = C_H \\ \xi(x, 0) = \xi_0 \\ \frac{\partial C(0, t)}{\partial x} = \frac{v}{m_0 D} (C(0, t) - C_0) \\ \frac{\partial C(l, t)}{\partial x} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

де:  $C_H$  - рівномірний розподіл концентрації солей у рідині в початковий момент часу по товщі ґрунту, г/см<sup>3</sup>;  $C_0$ - концентрація солей у вхідному перерізі ґрунту, г/см<sup>3</sup>;  $\xi_0$  -

рівномірний розподіл питомого об'єму солей в ґрунті в початковий момент часу, в частках одиниць;  $l$  - товщина ґрунту, см [2].

Розв'яжемо систему (2) з початковими та граничними умовами (3) кінцево-різницевим методом. Розглянемо систему (2) при  $k = 0$  і  $\nu = const$ . Це випадок плівкового засолення ґрунту. Дане завдання зводиться до розв'язання системи диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{Pe} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \frac{\partial C}{\partial x} + N(C_m - C) \\ \frac{\partial \xi}{\partial t} = -\frac{1}{\delta} N(C_m - C) \end{cases} \quad (4)$$

з початковими і граничними умовами (5),

$$\begin{cases} C(\bar{x}, 0) = C_H \\ \xi(\bar{x}, 0) = \xi_0 \\ \frac{\partial C(0, \bar{t})}{\partial \bar{x}} = Pe(C(0, \bar{t}) - C_0) \\ \frac{\partial C(l, \bar{t})}{\partial \bar{x}} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

де:  $\bar{x} = \frac{x}{l}$  - безрозмірна координата;  $\bar{t} = \frac{\nu \cdot t}{m_0 l}$  - безрозмірний час;  $Pe = \frac{\nu \cdot l}{m_0 D}$  - критерій

Пекле;  $N = \frac{m_0 \gamma \cdot l}{\nu}$  - критерій розчинення.

Використовуючи отримані розподіли функції  $\xi(x, t)$ , можна визначити суфозійне просідання ґрунту в часі для природного напруженого стану при плівковому і дисперсному засоленні за формулою (1).

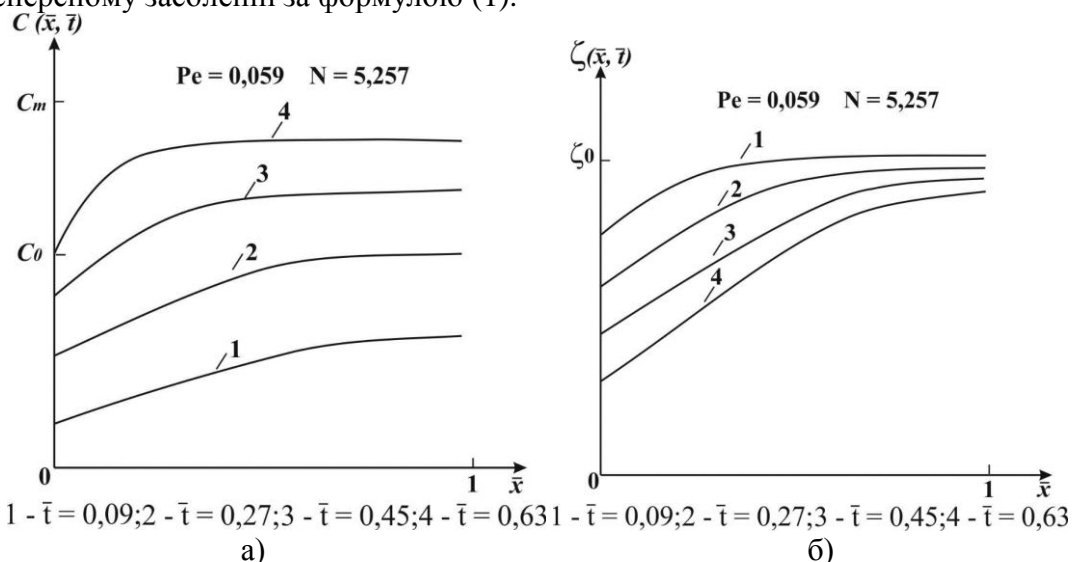


Рис. 1. Залежність концентрації солей в рідині а), та їх питомого об'єму у ґрунті б)

Таким чином, задача (4)-(5) буде залежати тільки від двох безрозмірних критеріїв  $Pe$  і  $N$ . При розрахунках були використані наступні дані:  $C_m = 0,0262 / \text{см}^3$ ,  $C_0 = 0,0262 / \text{см}^3$ ,  $C_H = 0,082 / \text{см}^3$ . За результатами розрахунків отримані залежності концентрації солей в рідині (рис. 1, а) і питомого вмісту солей по товщині ґрунту з

плином часу (рис. 1, б). Розрахунки проводилися для двох характерних випадків загіпсованого засоленого ґрунту  $A=10\%$  (слабозагіпсованого засоленого) і  $A=40\%$  (сильнозагіпсованого засоленого). Для  $A=10\%$  маємо такі дані:  $\bar{\sigma}_0 = 0,038 \text{ МПа}$ ,  $C_m = 0,026 \text{ г/см}^3$ ,  $\gamma_0 = 0,015 \text{ Н/см}^3$ ,  $C_0 = 0 \text{ г/см}^3$ ,  $\gamma = 0,001 \text{ с}^{-1}$ ,  $m_0 = 0,6$ ,  $\nu = 55 \text{ см/добу}$ ,  $\xi_0 = 0,6$ ,  $D = 0,21 \text{ см}^2/\text{с}$ ,  $h = 10 \text{ см}$ ,  $\delta = 2,65 \text{ г/см}^3$ ,  $\nu_0 = 1$ ,  $\alpha_0 = 0,075 \text{ МПа}^{-1}$ .

Для сильнозагіпсованого засоленого ґрунту нелінійний коефіцієнт стисливості  $\alpha_0 = 0,38 \text{ МПа}^{-1}$ . За результатами розрахунків були побудовані графіки кінетики суфозійного просідання для плівкового та дисперсного засолення для слабо- (рис. 2, а) та сильнозагіпсованого засоленого ґрунту (рис. 2, б).

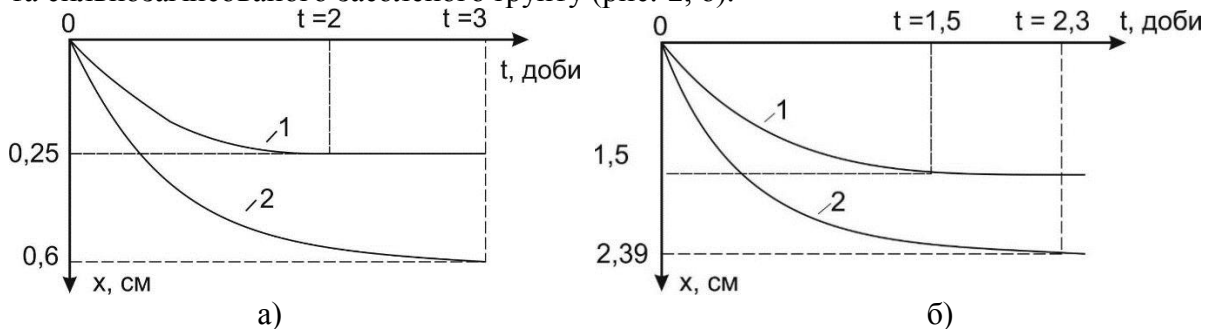


Рис. 2. Криві суфозійного просідання: а) – для слабозагіпсованого засоленого ґрунту; б) - для сильнозагіпсованого засоленого ґрунту; 1 - плівкове засолення; 2 - дисперсне засолення.

**Висновки.** Як видно з наведених залежностей, слабозагіпсовані ґрунти дають менші деформації в порівнянні з сильнозагіпсованими. Так само для сильнозагіпсованих ґрунтів характерною є порівняно швидка стабілізація деформації, за якої процес суфозійного просідання припиняється. Дані дослідження проводилися для засоленних загіпсованих ґрунтів гіпсово-глинистої шапки Стебницького родовища, яка є своєрідним протектором глинистих засоленних порід від проникнення прісних вод [4]. Однак, в загальному, отримані залежності можуть бути використані і для ґрунтів Калузького промислового району після незначної адаптації та експериментальної перевірки в польових умовах, оскільки породи, які залягають на даних родовищах схожі за своєю структурою.

#### Література

1. Мустафаєв А.А. Деформации засоленных грунтов в основаниях сооружений/ А.А. Мустафаев. - М.:Стройиздат, 1985. - 280 с.
2. Садовенко И. А. Экспериментальные исследования суффозионных и эрозионных деформаций лессовых грунтов/ Садовенко И. А., Деревягина Н. И.// Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. –2013. – Випуск 4 (81).- с. 129-134.
3. Побережна Л.Я. Моделирование проседания засоленных грунтов у Калузькому промислового району/ Л.Я. Побережна // Науковий вісник НЛТУ України: Збірник науково-технічних праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2015. – Вип. 25.9.; с. 158-161.
4. Семчук Я. М. Підвищення рівня екологічної безпеки територій на основі геоecологічного районування / Я. М. Семчук // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. - 2014. - № 2. - С. 164-165.