

2. Митрофанов В.П., Арцев С.И. Предельная сжимаемость бетона нормальных сечений железобетонных элементов // Проблемы теории і практики залізобетону: Зб. наук. праць. – Полтава: ПДТУ, 1997. – С.333-337.

3. Шкурулій О.А., Лазарев Д.М. Розрахунок міцності нормальних перерізів стиснутих залізобетонних елементів із застосуванням екстремального критерію // Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. Вип.14. – Рівне: НУВГП, 2006. – С. 374-381.

4. Митрофанов В.П. Практическое применение деформационной модели с экстремальным критерием прочности железобетонных элементов // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вип.60. – К.: Техніка, 2004. – С.29-48.

5. Holand I., Strength Concrete in Model Code 90. 5th Int. Symp. on Utilization of HS/HP Concrete, 20-24 June 1999, Sandefjord, Norway. Proceedings, Volume 1. – P.362-367.

6. Митрофанов В.П., Шкурулій А.А., Митрофанов Б.П., Лазарев Д.Н. О влиянии формы нормального сечения на предельную деформацию бетона сжатой зоны // Зб. наук. праць. Сер. “Галузеве машинобудування, будівництво”. Вип.15. – Полтава: ПолтНТУ, 2005. – С. 89–94.

7. Митрофанов В.П., Шкурулій О.А., Лазарев Д.М., Митрофанов Б.П. Влияние міцності бетону та кількості арматури на граничні характеристики нормального перерізу залізобетонних елементів // Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. Вип.12. – Рівне: НУВГП, 2005. – С.208-217.

8. Шкурулій О.А., Лазарев Д.М. Розрахунок міцності нормальних перерізів центрально стиснутих залізобетонних елементів із застосуванням екстремального критерію // Вісник Вінницьк. політехн. ін.-ту. Вип.4. – Вінниця: ВПТІ, 2006. – С.20-33.

9. Шкурулій О.А., Лазарев Д.М. Урахування реальної роботи арматури при розрахунку міцності центрально стиснутих залізобетонних елементів // Зб. наук. праць. Сер. “Галузеве машинобудування, будівництво”. Вип.18. – Полтава: ПолтНТУ, 2006. – С.67–75.

Отримано 26.03.2007

УДК 519.633.2

М.Т.КУЗЛЮ, канд. техн. наук

Національний університет водного господарства та природокористування, м.Рівне

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ВОДОНАСИЧЕНИХ ГРУНТОВИХ МАСИВІВ

Наводиться розв’язок задачі з оцінки напружено-деформованого стану шару ґрунту з урахуванням наявності рівня ґрунтових вод для одновимірного випадку. Отриманий розв’язок підтверджено прикладом.

Вивчення досвіду проектування та будівництва будівель і споруд показало, що їх експлуатацію нерідко проходиться вести при наявності рівня ґрунтових вод. При цьому його положення може змінюватися залежно від гідрогеологічних умов та дії техногенних факторів.

Рух вільної поверхні ґрунтових вод веде до виникнення різноманітних об’ємних сил і зміни напружено-деформованого стану ґрунтового масиву [1]. Про важливість цієї проблеми свідчить статистика

аварій будівель і споруд, пов'язаних з порушенням несучої здатності їх ґрунтових основ. Найчастіше вони відбуваються при зміні гідрогеологічних умов та дії техногенних факторів.

Для рішення даної проблеми розглянемо шар ґрунту при наявності вільної поверхні рівня ґрунтових вод ($\nabla w l$) (рис.1).

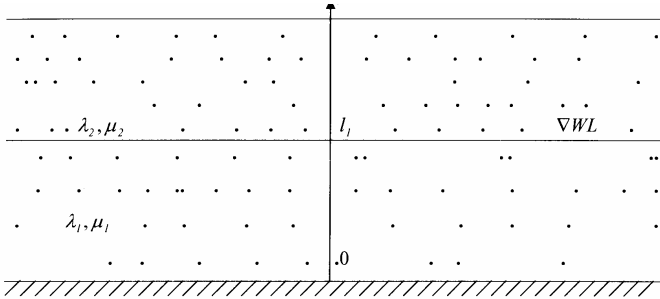


Рис.1 – Розрахункова схема ґрунтового масиву

При цьому вільна поверхня $\nabla w l$ знаходиться на рівні l_1 . Тоді шар ґрунту, розміщений вище l_1 , знаходиться в природному стані, а нижче l_1 – у водонасиченому. Кожен шар ґрунту характеризується пружними сталими λ_i, μ_i , $i = 1, 2$, пористістю n_i , $i = 1, 2$ та питомою вагою γ_i , $i = 1, 2$.

Дослідження впливу рівня ґрунтових вод на напружено-деформований стан (НДС) ґрунтового масиву проведемо в рамках одновимірної математичної моделі, що описується рівнянням рівноваги лінійної теорії пружності [2]

$$(\lambda_1 + 2\mu_1) \frac{d^2 u_1}{dx^2} = X_1, \quad x \in (0, l_1), \quad (1)$$

$$(\lambda_2 + 2\mu_2) \frac{d^2 u_2}{dx^2} = X_2, \quad x \in (l_1, l), \quad (2)$$

де u_i , $i = 1, 2$ – переміщення вздовж осі Ox в ґрунтах, що знаходяться відповідно у зваженому ($x \in (0, l_1)$) і в природному ($x \in (l_1, l)$) станах;

$$X_1 = \gamma_{зв.}, \quad X_2 = \gamma_{пр.}$$

Тут $\gamma_{зв.}$, $\gamma_{зв.}$, $\gamma_{пр.}$ – відповідно питома вага ґрунту в зваженому і природному станах, причому

$$\gamma_{np.} = \rho_{np.} \cdot g, \quad (3)$$

$$\gamma_{зв.} = \gamma_{нас.} - \gamma_{p.}, \quad (4)$$

де $\rho_{np.}$ – густина ґрунту в природному стані; g – прискорення вільного падіння; $\gamma_{нас.}$ – питома вага ґрунту в насиченому стані, що обчислюється за формулою

$$\gamma_{нас.} = \gamma_{Г.} + n_1 \cdot \gamma_{p.}. \quad (5)$$

Підставляючи значення (5) в (4), отримаємо

$$\gamma_{зв.} = \gamma_{Г.} - (1 - n_1)\gamma_{p.}, \quad (6)$$

де $\gamma_{Г.}$ – питома вага ґрунту в сухому стані; $\gamma_{p.}$ – питома вага рідини.

Крайові умови для переміщень мають вигляд:

$$u_1(0) = 0, \quad u_2(l) = 0. \quad (7)$$

Умови спряження записуються так :

$$u_1(l_1) = u_2(l_1), \quad (8)$$

$$(\lambda_1 + 2\mu_1) \frac{du_1(l_1)}{dx} = (\lambda_2 + 2\mu_2) \frac{du_2(l_1)}{dx}. \quad (9)$$

Отже, НДС поставленої вище задачі описується математичною моделлю (1), (2), (7)-(9).

Таким чином, для визначення НДС шару ґрунту при наявності рівня ґрунтових вод необхідно розв'язати крайову задачу (1), (2), (7)-(9) для системи рівнянь лінійної теорії пружності.

Перейдемо в (1), (2), (7)-(9) до безрозмірних величин згідно з формулами:

$$\bar{x} = \frac{x}{l}, \quad \bar{u}_i = \frac{u_i}{l}, \quad \bar{l}_1 = \frac{l_1}{l}, \quad \bar{a}_i = a_i \cdot l, \quad i = 1, 2. \quad (10)$$

Тоді у безрозмірних змінних математична модель напружено-деформованого стану ґрунту матиме такий вигляд (надалі рисочки над безрозмірними змінними для простоти опущені):

$$\frac{d^2 u_1}{dx^2} = a_1, \quad x \in (0, l_1), \quad (11)$$

$$\frac{d^2 u_2}{dx^2} = a_2, \quad x \in (l_1, 1), \quad (12)$$

$$u_1(0) = 0, \quad (13)$$

$$u_1(l_1) = u_2(l_1), \quad (14)$$

$$(\lambda_1 + 2\mu_1) \frac{du_1(l_1)}{dx} = (\lambda_2 + 2\mu_2) \frac{du_2(l_1)}{dx}, \quad (15)$$

$$u_2(1) = 0, \quad (16)$$

де $a_1 = \frac{\gamma_{зв.}}{\lambda_1 + 2\mu_1}$, $a_2 = \frac{\gamma_{нр.}}{\lambda_2 + 2\mu_2}$ – безрозмірні параметри.

Розглянемо випадок, коли відбувається переміщення вільної поверхні рівня ґрунтових вод, тобто значення l_1 задається функціонально

$$l_1 = l_1(t), \quad (17)$$

де t – час, протягом якого відбувається переміщення вільної поверхні.

Тоді загальний розв’язок задачі (11)-(16) має вигляд:

$$u_1(x) = \frac{a_1 x^2}{2} + c_1 x + c_2, \quad (18)$$

$$u_2(x) = \frac{a_2 x^2}{2} + c_3 x + c_4, \quad (19)$$

де

$$c_2 = 0, \quad (20)$$

$$c_3 = -a_2 l, \quad (21)$$

$$c_1 = \frac{\lambda_2 + 2\mu_2}{\lambda_1 + 2\mu_1} (a_2 l_1(t) - a_2 l) - a_1 l_1(t), \quad (22)$$

$$c_4 = a_2 l_1(t) l - \frac{(a_1 + a_2) l_1^2(t)}{2} + \frac{\lambda_2 + 2\mu_2}{\lambda_1 + 2\mu_1} (a_2 l_1^2(t) - a_2 l_1(t) l). \quad (23)$$

Величина деформації обчислюється за формулою $\varepsilon = \frac{du}{dx}$ і згідно

з (18), (19) має вигляд:

$$\varepsilon_1(x) = a_1 x + c_1, \quad 0 \leq x \leq l_1; \quad (24)$$

$$\varepsilon_2(x) = a_2 x + c_3, \quad l_1 \leq x \leq 1. \quad (25)$$

Напруження знаходиться за формулою $\sigma = (\lambda + 2\mu) \frac{du}{dx}$ і мають

вигляд:

$$\sigma_1(x) = (\lambda_1 + 2\mu_1)(a_1 x + c_1), \quad 0 \leq x \leq l_1, \quad (26)$$

$$\sigma_2(x) = (\lambda_2 + 2\mu_2)(a_2x + c_3), l_1 \leq x \leq 1. \quad (27)$$

Нижче наведені результати числових розрахунків при таких вхідних даних: $\lambda_1 = 13500$ кг/м²; $\lambda_2 = 17000$ кг/м²; $\mu_1 = 9000$ кг/м²; $\mu_2 = 11500$ кг/м²; $\gamma_{зв} = 10,5$ кг/м³; $\gamma_{np} = 17,0$ кг/м³; $l_1 = 0,5$ м; $l = 1$ м.

Розглядається випадок, коли l_1 залежить від часу лінійно:

$$l_1(t) = l_1(0) - V_0 \cdot t,$$

де $l_1(0) = 0,5$ м; $V_0 = 0,001$ м/доба.

Значення переміщень деформації та напружень при рухомій верхній поверхні ґрунту наведені відповідно в табл.1-3.

Таблиця 1 – Значення переміщень при рухомій верхній межі та рухомій вільній поверхні ґрунту через різні проміжки часу

	x	$u(x) \times 10^{-4}$, $t = 0$ діб	$u(x) \times 10^{-4}$, $t = 90$ діб	$u(x) \times 10^{-4}$, $t = 180$ діб
Ґрунт у природному стані	1	-2,29602	-2,32427	-2,32654
	0,9	-2,27486	-2,30312	-2,30539
	0,8	-2,21121	-2,23947	-2,24174
	0,7	-2,10506	-2,13332	-2,13559
	0,6	-1,95641	-1,98467	-1,98694
	0,5	-1,76525	-1,79352	-1,79579
Ґрунт у зваженому стані	0,5	-1,76525	-1,85810	-1,95096
	0,4	-1,47887	-1,55315	-1,62743
	0,3	-1,15915	-1,21486	-1,27058
	0,2	-0,80610	-0,84324	-0,88038
	0,1	-0,419717	-0,43829	-0,45685
	0	0	0	0

Таблиця 2 – Значення деформацій при рухомій поверхні рівня води на різні проміжки часу

	x	$\varepsilon(x) \times 10^{-4}$, $t = 0$ діб	$\varepsilon(x) \times 10^{-4}$, $t = 90$ діб	$\varepsilon(x) \times 10^{-4}$, $t = 180$ діб
Ґрунт у природному стані	1	0,00097	0,00098	0,00099
	0,9	-0,424024	-0,42401	-0,424011
	0,8	-0,849024	-0,84901	-0,849011
	0,7	-1,27402	-1,27401	-1,27401
	0,6	-1,69902	-1,69901	-1,69901
	0,5	-2,12402	-2,12401	-2,12401
Ґрунт у зваженому стані	0,5	-2,69717	-2,88287	-3,06859
	0,4	-3,03051	-3,21621	-3,40192
	0,3	-3,36384	-3,54954	-3,73525
	0,2	-3,69717	-3,88287	-4,06859
	0,1	-4,03051	-4,21620	
	0	-4,36384	-4,54954	-4,73525

Таблиця 3 – Значення напружень при рухомій поверхні рівня води на різні проміжки часу

	x	$\sigma(x) \times 10^{-4}$, $t = 0$ діб	$\sigma(x) \times 10^{-4}$, $t = 90$ діб	$\sigma(x) \times 10^{-4}$, $t = 180$ діб
Ґрунт у природному стані	1	0,00390	0,00395	0,00396
	0,9	-1,69610	-1,69605	-1,69604
	0,8	-3,39610	-3,39605	-3,39604
	0,7	-5,09610	-5,09605	-5,09604
	0,6	-6,79610	-6,79605	-6,79604
Ґрунт у зваженому стані	0,5	-8,49610	-8,49605	-8,49604
	0,5	-8,49610	-9,08105	-9,66605
	0,4	-9,54610	-10,13105	-10,71605
	0,3	-10,59609	-11,18105	-11,76604
	0,2	-11,64609	-12,23105	-12,81604
	0,1	-12,69609	-13,28105	-13,86604
	0	-13,74609	-14,33104	-14,91604

Графіки розподілу переміщень, деформацій і напружень по глибині ґрунту в природному та в зваженому станах наведені відповідно на рис.2-4.

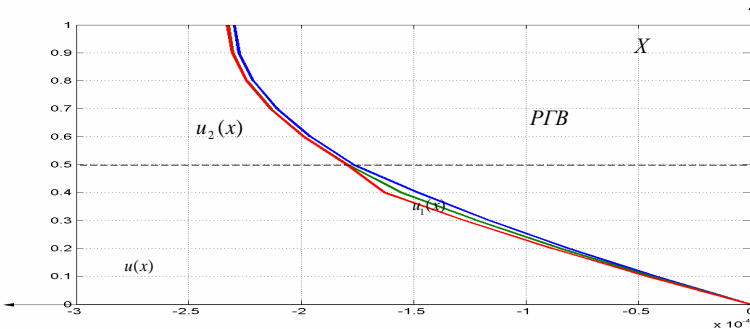


Рис.2 – Графік розподілу переміщень

Отримані розв’язки дають можливість виконати оцінку напружено-деформованого стану ґрунтових масивів для випадку, коли відбувається переміщення вільної поверхні ґрунтових вод. Вони можуть бути використані для оцінки стану ґрунтових основ будівель та споруд при зміні їх гідрогеологічних умов.

Подальшими дослідженнями у даному напрямку є отримання розв’язків поставленої задачі для двовимірної математичної моделі.

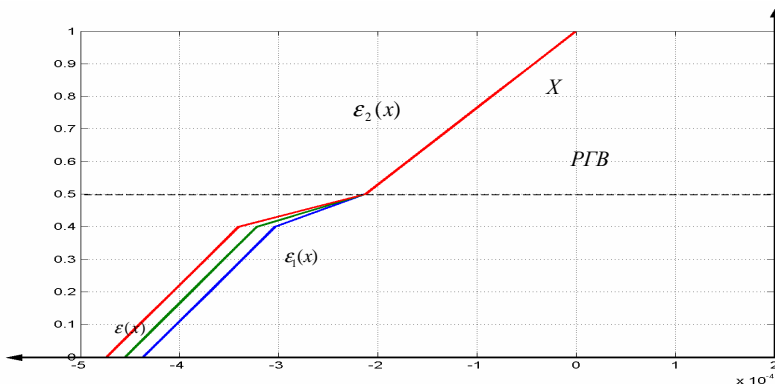


Рис.3 – Графік розподілу деформацій

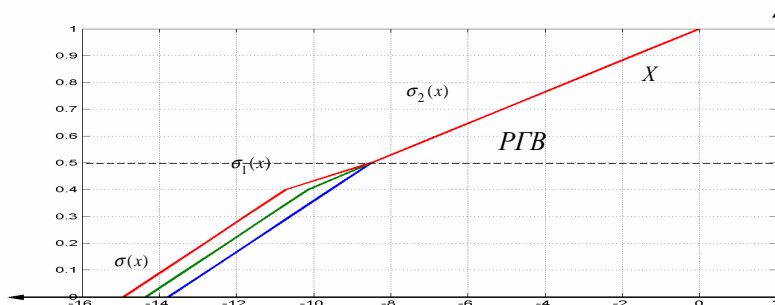


Рис.4 – Графік розподілу напружень

1.Кузло М.Т., Філатова І.А. Про деякі математичні моделі напружено-деформованого стану ґрунтових масивів в процесі руху вільної поверхні ґрунтових вод // Вісник НУВГП. Вип.2 (30). – Рівне, 2005. – С.282-287.

2.Філатова І.А., Кузло М.Т. Математичне моделювання напружено-деформованого стану рівня ґрунтових масивів // Вісник НУВГП. Вип.4 (36). – Рівне, 2006. – С.203-208.

Отримано 09.04.2007

УДК 624.072.221

А.М.ПАВЛКОВ, канд. техн. наук, О.В.БОЙКО

Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

ВИЗНАЧЕННЯ ПЛОЩІ АРМАТУРИ В КОСОЗІГНУТИХ БАЛКАХ НА ОСНОВІ СПРОЩЕНОЇ ДЕФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ

Розглядається метод розрахунку необхідної площі арматури в нормальному перерізі залізобетонних балок прямокутного профілю, що зазнають косоного згинання, при