

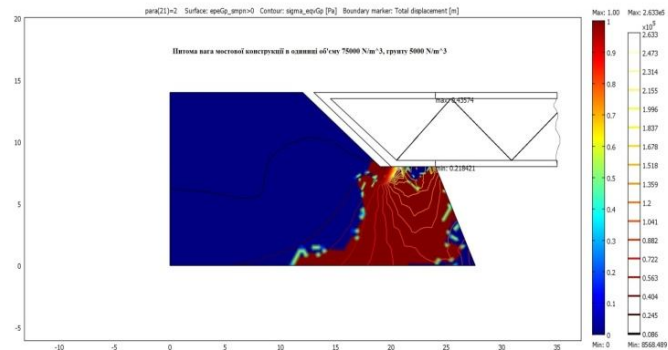
Моделювання напружено-деформованого стану основ у будівельних конструкціях мостів

Стародуб Ю.П., Гончар Т.М., Федюк Я.І., Захарченко А.В.

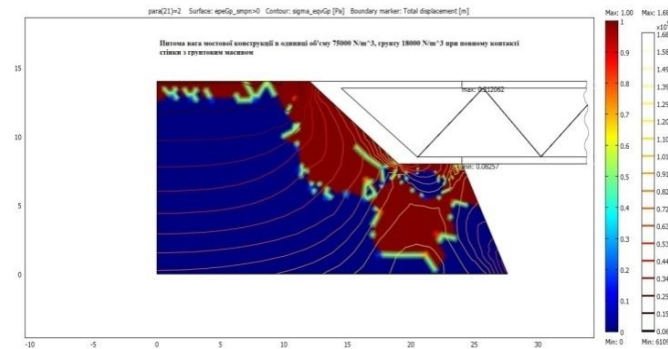
Однією з важливих задач при проектуванні та будівництві мостів, віадуктів, тунелів різного призначення є прогнозування характеру еколого-геофізичного механічного стану оточуючого масиву з метою визначення стійкості та міцності мостових конструкцій. Напружено-деформований стан (НДС) ґрунтів та мостових конструкцій визначається геометричними характеристиками структур з різними деформаційними характеристиками, розподілом і піковими характеристиками значенням напружень досліджуваних конструкцій. На НДС основ мостів впливають міцність ґрунтів, глибина закладання основ мостової конструкції, процеси заморожування ґрунтів, поло положення рівня ґрунтових вод тощо.

У даний час для прогнозування стану мостових конструкцій використовують передбачення на основі проведення чисельних експериментів з використанням методу скінченних елементів (МСЕ). У роботі представлена розроблена методика математичного моделювання, розроблена для вирішення даного завдання. Вона має відповідати характеру напруженого стану оточуючого ґрунтового масиву об'єкта, специфіці спорудження та експлуатації споруди. З метою визначення реального напруженого стану ґрунтового масиву використано методи та програмне забезпечення пакету COMSOL.

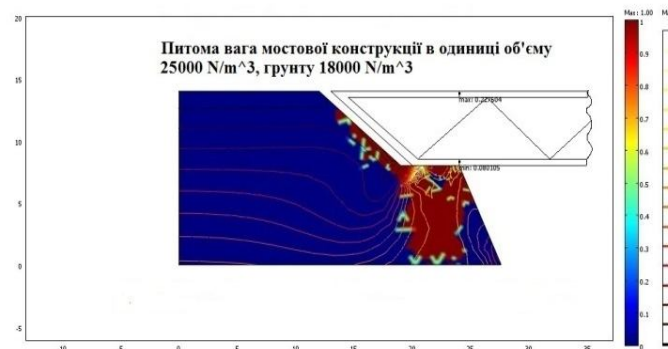
Розглядається математична модель, яка описує НДС в ґрунтовому



А. Ґрунтовий масив з заданими геолого-геофізичними характеристиками (питома вага конструкції і ґрунту відповідно $P_k=25 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3$, $P_{gr}=18 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3$, коефіцієнт зчеплення $C=1 \cdot 10^3 \text{ Pa}$) та визначеним напружено-деформованим станом ґрунтової породи.



Б. Ґрунтовий масив з заданими геолого-геофізичними характеристиками ($P_k=55 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3$, $P_{gr}=18 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3$, $C=1 \cdot 10^3 \text{ Pa}$) та визначеним напружено-деформованим станом ґрунтової породи.



В. Ґрунтовий масив з заданими геолого-геофізичними характеристиками ($P_k=75 \cdot 10^3$

масиві під дією навантаження мостової конструкції.

Для розрахунку використані наступні математичні співвідношення. Апроксимація Мора-Коломба дає поверхню у тривимірному випадку – так звана модель Друкера-Прагера.

Сила задається у виді

$$F = 3\alpha\sigma_m + \sigma_{eqV} - k,$$

де

σ_m – гідростатичне напруження;

σ_{eqV} – еквівалентне напруження;

Коефіцієнти для обрахунку виразу сили мають наступний вигляд:

$$\alpha = \frac{2 \cdot \sin \varphi}{\sqrt{3} \cdot (3 - \sin \varphi)}, \quad k = \frac{6 \cdot \cos \varphi}{\sqrt{3} \cdot (3 - \sin \varphi)},$$

Властивості матеріалу ґрунту $-\sigma_m$ – гідростатичне напруження;

σ_{eqV} – еквівалентне напруження;

Коефіцієнти для обрахунку виразу сили мають наступний вигляд:

$$\alpha = \frac{2 \cdot \sin \varphi}{\sqrt{3} \cdot (3 - \sin \varphi)}, \quad k = \frac{6 \cdot \cos \varphi}{\sqrt{3} \cdot (3 - \sin \varphi)},$$

де φ кут, задається в градусах,

визначає тертя, c – коефіцієнт зчеплення

Гідростатичний тиск визначається через компоненти нормального напруження σ_{ii} :

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{ii}}{3} = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{3}.$$

Компоненти еквівалентного девіаторного напруження визначаються у наступному вигляді через напруження S_{ij} :

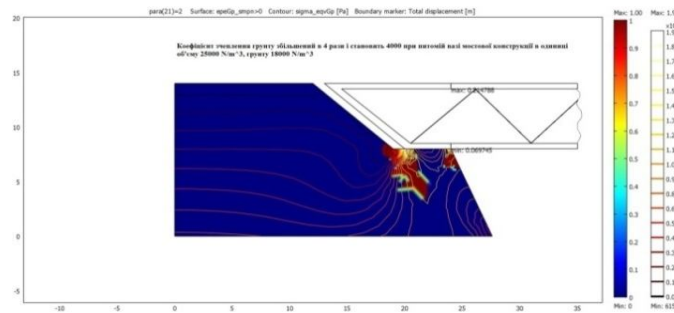
$$\sigma_{eqv} = \sqrt{\frac{1}{2} S_{ij}^2} = \sqrt{\frac{1}{2} (S_x^2 + S_y^2 + S_z^2) + S_{xy}^2}$$

При цьому компоненти девіаторного напруження σ_{ij} визначаються у наступному вигляді:

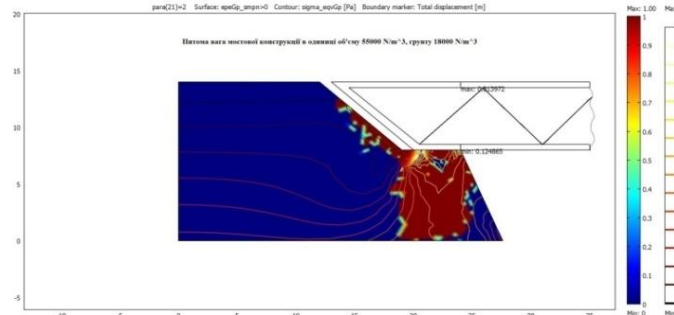
$$s_{ij} = \sigma_{ij} - \frac{\delta_{ij} \sigma_{kk}}{3}.$$

Тут δ_{ij} – символ Кронекера.

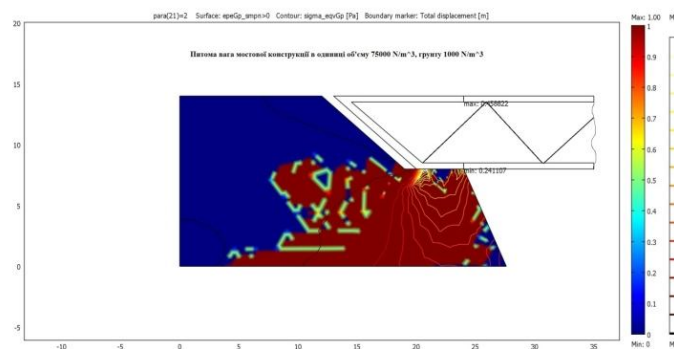
H/m^3 , $P_{gr}=5 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^3$, $C=1 \cdot 10^3 \text{ Па}$) та визначеним напружено-деформованим станом ґрунтової породи.



Г. Ґрунтовий масив з заданими геолого-геофізичними характеристиками ($P_k=75 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^3$, $P_{gr}=18 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^3$, $C=1 \cdot 10^3 \text{ Па}$) та визначеним напружено-деформованим станом ґрунтової породи.



Є. Ґрунтовий масив з заданими геолого-геофізичними характеристиками ($P_k=75 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^3$, $P_{gr}=18 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^3$, $C=1 \cdot 10^3 \text{ Па}$) та визначеним напружено-деформованим станом ґрунтової породи.



Е. Ґрунтовий масив з заданими геолого-геофізичними характеристиками ($P_k=25 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^3$, $P_{gr}=18 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^3$, $C=1 \cdot 10^3 \text{ Па}$) та визначеним напружено-деформованим станом ґрунтової породи.

Напруження по осях Декартових координат визначаються наступним чином:

$$\begin{aligned} S_z &= \sigma_z - \sigma_m, & S_{zx} &= \tau_{zx} \\ S_x &= \sigma_x - \sigma_m, & S_{xy} &= \tau_{xy} \\ S_y &= \sigma_y - \sigma_m, & S_{yz} &= \tau_{yz} \end{aligned}$$

$$\delta_{ij} = \lambda \delta_{ij} U_{\alpha\alpha} + \delta_{ij} \nu \gamma;$$

Де:

$$U_{ij} =$$

$$U_{\alpha\alpha} =$$

Коефіцієнти виражаються через модулі

Властивості матеріалу ґрунту - наступні: модуль Юнга – $E=10E6$ Па, коефіцієнт Пуассона $\nu=0.3$, $c=10E3$ Па, $\varphi=35$ град., питома вага ґрунту в одиниці об'єму $\gamma=18$ $E3$ N/m^3 . Міст вважається ідеально пружним, використовуються значення матеріалу: $E=25E9$ Па, $\nu=0.33$, $\gamma=25$ $E3$ N/m^3 .

Обмеження і навантаження.

Нижня горизонтальна границя застосовуються на межах симетричного розрізу. Ліва вертикальна границя вважається обмежується від переміщення як у,

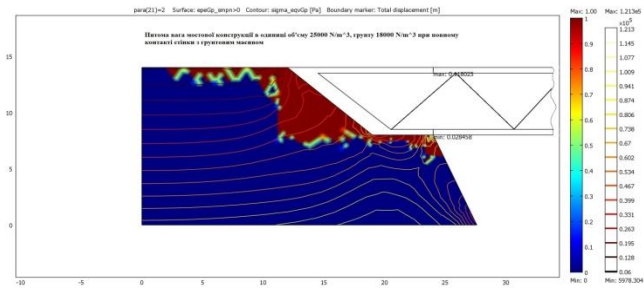
горизонтальному x , так і вертикальному напрямках, таким чином моделюючи жорстку основну кам'яну породу. Модель включає тільки одну половину мосту завдяки симетрії. Обмеження площини симетрії ідеально гладкою і жорсткою моделює обмеження тільки в горизонтальному напрямі, дозволяючи рух у вертикальному напрямі. Питома вага ґрунту вводиться як навантаження в негативному напрямі по осі y . Питома вага і напруження моделюються в природному заляганні як початкове напруження, під час пружно-пластичного аналізу в першій стадії дослідження при навантаженні (далі параметр солвера COMSOL'у змінюється від 0 до 1). При цьому початково ґрунт має певні природні напруження в природному заляганні (перед навантаженням):

$$\sigma_x = \lambda \cdot \sigma_y, \quad \sigma_y = \gamma \cdot y, \quad \sigma_x = \lambda \cdot \sigma_y, \quad \lambda = \frac{\nu}{(1-\nu)}.$$

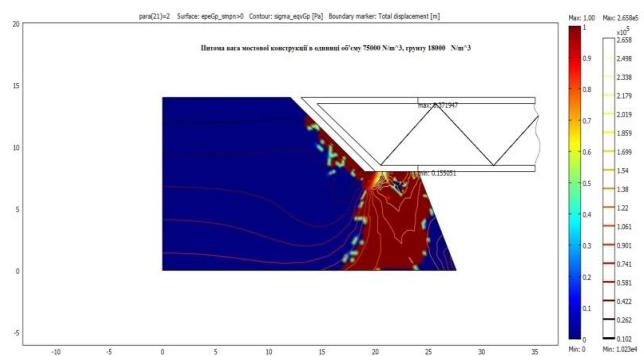
Для побудови моделі використовуємо програму «COMSOL MULTIPHYSICS (FEMLAB)».

Отримані результати представлено на рисунках (А-Е), де показано ґрунтовий масив з заданими геолого-геофізичними характеристиками та визначеним напружено-деформованим станом масиву ґрунтової породи.

Висновок. Отримані результати дослідження напружено-деформованого стану ґрунтів в основі мостових конструкцій дозволяють



Ж. ґрунтовий масив з заданими геолого-геофізичними характеристиками ($Pk=1 \cdot 10^3$ N/m^3 , $Pgr=18 \cdot 10^3$ N/m^3 , $C=1 \cdot 10^3$ Па) та визначеним напружено-деформованим станом ґрунтової породи.



Е. ґрунтовий масив з заданими геолого-геофізичними характеристиками ($Pk=75 \cdot 10^3$ N/m^3 , $Pgr=1 \cdot 10^3$ N/m^3 , $C=1 \cdot 10^3$) та визначеним напружено-деформованим станом ґрунтової породи.

управляти геотехнічними процесами з метою зменшення негативного впливу техногенних факторів впливу на навколишнє середовище. Як видно з проведених модельних досліджень, теоретично можна розрахувати та підібрати критично можливі властивості певного типу мостової конструкції для наявного виду ґрунтового масиву з певними геолого-геофізичними характеристиками напружено-деформованого стану.

Список літератури

1. Зенкевич Finite element method

ДБН В.2.3-14:2006 Мости і труби. Правила проектування. – К.: Держбуд, 2006. С.359.

2. Железобетонные пролетные строения мостов индустриального изготовления / Под ред. Иосилевского Л.И. - М.: Транспорт, 1986. -214 с.

3. Захаров Л.В., Колоколов Н.М., Цейтлин А.Л. Сборные неразрезные железобетонные пролетные строения мостов. - М.: Транспорт, 1983. -232 с.

4. Трофимчук А.Н. Математическое моделирование устойчивости оползневого склона при подъеме уровня грунтовых вод / А.Н. Трофимчук, Ю.И. Калюх, А.С. Глебчук // Екологія і ресурси. – 2008. – № 18. – С. 51-58.

5. Маслов Н.Н. Прикладная механика грунтов / Николай Николаевич Маслов. – М. : Министерство строительства предприятий машиностроения, 1949. – С.265.

6. Рыжов А.М. Рекомендации по расчёту оползневого давления на заданный элемент массива и общей устойчивости оползнеопасных склонов / А.М. Рыжов, С.В. Тимофеев (прил. 2). – К. : НИИСК, 1989. – 200 с.

7. Рекомендации по комплексным мерам защиты зданий и сооружений на оползнеопасных склонах / [ред. А.И. Капитоненко, кор-ор С.А. Куприенко]. – К. : НИИСК, 1989. – 294 с.