

Ю.СЛЮСАРЕНКО, І.МАТВЄЄВ, А.КІСІЛЬ,
Ю.ІЩЕНКО, О.РОМАНОВ, Н.КОШЕЛЄВА

Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій, Київ

УДК 624.04

ВИРІШЕННЯ ГЕОТЕХНІЧНИХ ПРОБЛЕМ РЕКОНСТРУКЦІЇ ПОШТОВОЇ ПЛОЩІ В КИЄВІ

Ключевые слова: грунт, классификация, просадка, массив, лесс, свойства, метод, геотехника, уплотнение, закрепление, взрыв, сваи.

Стаття розглядає питання забезпечення надійності будівництва підземного торгового комплексу на Поштової площі в м. Києві. Інженерно-геологічні умови будівельного майданчика є складними. Існуючі історичні будівлі і тунелі метрополітену, розташовані поруч з будівельним майданчиком, викликають підвищені вимоги до їх збереження. Для нового будівництва та захисту існуючих об'єктів використовується комплекс передових методів. Проектування і будівництво здійснюється в умовах багатостороннього наукового супроводу. Використовуються різні методи моніторингу деформацій.

Статья рассматривает вопросы обеспечения надежности строительства подземного торгового комплекса на Почтовой площади в г. Киеве. Инженерно-геологические условия строительной площадки являются сложными. Существующие исторические здания и тоннели метрополитена, расположенные рядом со строительной площадкой, вызывают повышенные требования к их сохранению. Для нового строительства и защиты существующих объектов используется комплекс передовых методов. Проектирование и строительство осуществляется в условиях многостороннего научного сопровождения. Используются различные методы мониторинга deformаций.

The article examines the issue of the reliability of the construction of the underground shopping mall at the Postal Square in the city. Kiev. Engineering and geological conditions of the construction site are challenging. The existing historic buildings and underground tunnels, located near the construction site, causing increased demands on their safety. For new construction and protection of existing facilities using a set of advanced methods. Design and construction is carried out in multilateral scientific support. Various methods of monitoring deformations.

Реконструкція Поштової площі є одним з найбільших інфраструктурних проєктів у Києві за останні роки. Через площу проходять великі транспортні потоки в напрямку «північ-південь», і відсутність на цій території сучасного транспортного вузла ускладнює автомобільний рух. Реалізація цього проєкту дозволила значно поліпшити транспортне сполучення в центральній історичній частині міста і впорядкувати забудову Подільського району міста з вільним виходом до р. Дніпро.

На рисунку 1 показаний архітектурний макет реконструкції Поштової площі.

Проєкт реконструкції передбачає будівництво автомобільного тунелю з рухом у двох напрямках по дві смуги, надземної транспортної естакади (перша черга будівництва), а також двоповерхового підземного торгового комплексу загальною площею близько 8000 м² (друга черга будівництва) та комплексний благоустрій території з влаштуванням скверу та фонтану.

Поштова площа розташована в центрі Києва, обмежена Набережним шосе вздовж берега річки Дніпро і Володимирським узвозом біля підніжжя Володимирської гірки, під яким проходять тунелі метрополітену. Площа забудована безліччю будівель, в числі яких Поштовий будинок (пам'ятка історії XIX століття, яка дала назву площі), церква Різдва Христового, Річковий вокзал, група адміністративних будівель споруди початку і середини XX століття. До ускладнюючих геотехнічних умов майданчика відносяться: слабкі водонасичені ґрунти заплавної відкладів р. Дніпро, високий рівень ґрунтових вод, який зарегульований тунелями метрополітену, зсувонебезпечний схил Володимирської гірки. Існуюча забудова і лінія метрополітену обумовлюють підвищені

Дивись рис. 1 на 2 стор. обкладенки

вимоги до проектних рішень і виробництву робіт по їх збереженню.

Враховуючи важливість спорудження для Києва і складність інженерно - геологічних умов будівельного майданчика, проектування і будівництво виконується при багатосторонньому науково-технічному супроводі. В процесі робіт вирішуються проблеми зберігання пам'яток історії та архітектури та інших навколишніх будівель, забезпечення надійної експлуатації лінії метро, міцності і надійності нових споруд, збереження гідрогеологічного режиму території та інші питання.

На основі математичного моделювання (розрахунків) проектного комплексу та ґрунтових масивів майданчика забудови та схилової території обґрунтовано і розроблено проектні рішення нових споруд з урахуванням наявності метрополітену, існуючих будівель і підземних водних потоків на стадіях будівництва та експлуатації.

Для будівництва нових та захисту існуючих споруд використані передові методи: огороження котловану виконуються з буросічних і буронабивних паль з використанням захисних екранів палями малого діаметру і бентонітових розчинів; стабілізація рівня підземних вод досягається тимчасовим вертикальним дренажем з механічним відведенням і постійним пластовим дренажем; для забезпечення стійкості та мінімальної деформованості огороження котловану при екскавації ґрунту використовуються розпірні конструкції. Розрахунками перевірена стійкість схилу при його підрізуванні котлованом новобудови. Моніторинг деформацій тунелів метрополітену здійснюється з використанням інклінометров, спостереження за рівнем підземних вод виконується за допомогою п'єзосвердловин, спостереження за оточуючими будову спорудами виконується інструментальними геодезичними методами.

Завершення будівництва заплановано на 2015 рік. Перша черга будівництва - транспортна розв'язка вже введена в експлуатацію. Друга черга - двоповерховий підземний торговий комплекс та комплексний благоустрій території з влаштуванням скверу та фонтану - знаходяться в процесі будівництва.

Опис навколишньої забудови

При проектуванні підземної споруди враховано взаємний вплив нового об'єкта і на-вколишньої забудови, до якої відносяться споруди транспортної розв'язки і тунелю метрополітену, а також Поштовий будинок, Церква Різдва Христового і будівля Київпаstrансу (див. Рис. 2, 3).

Найбільш близько до об'єкта будівництва розташований Поштовий будинок. Відстань від торця будівлі Поштового будинку до межі огороження котловану підземного об'єкта складає 3.2 м; від двох інших сторін будинку до межі огороження котловану - 5.6 і 9.0 м. Поштовий будинок - одноповерхова цегляна будівля з підвалом. У плані будівля прямокутна з тильним виступом, має розміри близько 23.60 x 17.60 м.

Майданчик нового підземного об'єкта знаходиться від будівлі Церкви на відстані 9 м. Як в плані, так і по висоті будинок має складну форму з розмірами в осях 29.52x19.04 м при висоті 14.04 м. Будівля церкви покоїться на пальному фундаменті.

На відстані 15 м від майданчика нового підземного об'єкта знаходиться адміністративна будівля Київпаstrансу. Будівля прямокутної форми в плані з

розмірами 65.0x17.0 м і висотою 15.0 м. Будівля трьохчотириповерхова. За конструктивною схемою будівля на частині довжини з неповним каркасом, на іншій частині довжини - безкаркасна з поздовжніми несучими стінами. Фундаменти під несучі стіни стрічкові цегляні, під колони - стовпчасті. Поблизу майданчика будівництва, на відстані близько 16.5 і 28.0 м від огороження котловану, розташовані два перегінні тунелі метрополітену на глибині до 10 м.

Конструкція огороження котловану другої черги будівництва.

Огороження котловану під будівництво підземного об'єкта на ділянці по осі А1 виконано з буросічних паль діаметром 1020 мм довжиною 26 м. Крок армованих паль 1480 мм. Голови паль об'єднані балковим ростверком перетином 1200x600 мм. Вільна висота стіни огорожі котловану становить 8.4 м.

По довжині стіни огороження котловану (довжина ділянки стіни по осі А1 становить 74.7 м) влаштовані із зовнішнього боку котловану 9 контрфорсів - по три палі в кожному з них. Палі контрфорсів мають діаметр 1020 мм. Контрфорси об'єднані між собою і з палями основного ряду плитою ростверку товщиною 400 мм.

Огороження котловану на інших ділянках стін котловану, в тому числі і навколо Поштового будинку виконано з буросічних паль діаметром 880 мм. Крок армованих паль 1480 мм. Голови паль об'єднані балковим ростверком перетином 980x600 мм.

З метою виключення механічної суфозії частинок ґрунту при бурінні свердловин під палі навколо будівлі Поштового будинку влаштований захисний екран з мікропаль, при цьому глибина занурення цих паль доходить до шару піску на глибині 18 м.

В системі огороження котловану передбачені тимчасові розпірні конструкції, які беруть участь у сприйнятті і передачі тиску ґрунту на інші конструкції огороження котловану. У процесі екскавації ґрунту з котловану і по мірі зведення конструкцій каркаса і перекриттів підземної споруди розпірні елементи

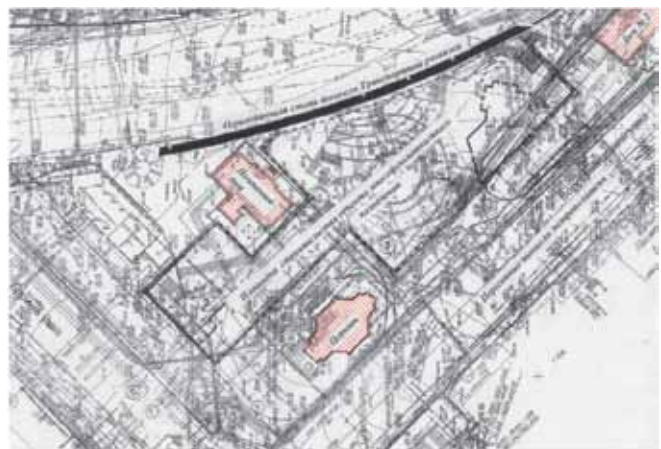


Рис.2. План розташування об'єктів: транспортний тунель (1), котлован підземної споруди (2), Церква Різдва Христового (3), Поштовий будинок (4), будівля Київпаstrансу (5).



Рис.4. План розташування конструкцій огороження котловану.

ти демонтуються. Навантаження від тиску ґрунту, що припадає на них, передається на конструкції каркаса підземної споруди. Схема огороження котловану показана на рисунку 4.

В геологічній будові майданчика будівництва на розвідану глибину до 37 м беруть участь піщані відкли, повсюдно перекриті верхньочетвертинними делювіальними відкладами і насипними ґрунтами.

Розрахунок споруди огороження котловану як просторової системи виконаний за допомогою програмного комплексу «Lira-Windows», в основу якого покладено метод кінцевих елементів в переміщеннях. Просторова розрахункова модель споруди наведена на рисунку 5.

На рисунках 6, 7 показаний характер деформування елементів огороження котловану. В таблиці 1 наведено величини горизонтальних переміщень вузлів розрахункової моделі для створів А, в якому отримані найбільші величини переміщень на розглянутих рівнях заглиблення паль у ґрунті.

Будівля Церкви Різдва Христового має пальовий фун-

дамент, глибина підшви паль становить 22 м, що на 13,4 м нижче дна нового котловану. Адміністративна будівля Київпастрансу знаходиться на відстані 15 м від осі паль огороження котловану проектованої будови. Фундаменти будівлі знаходяться поза призмою обваллення.

На підставі розрахунків зроблено висновок про те, що влаштування паль огороження і пониження дна котловану до проектної позначки не викличе помітних осідань церкви Різдва Христового та адміністративної будівлі Київпастрансу. Величини додаткових осідань основи фундаментів Поштового будинку внаслідок влаштування конструкцій огороження котловану складають 3,8 мм, що не перевищує допустимих 20 мм.

Оцінка стійкості схилу Володимирської гірки і визначення впливу котловану другої черги будівництва на тунелі метрополітену.

З півдня до майданчика будівництва примикає крутий схил Володимирської гірки, який являє собою зсувний цирк, обмежений міжзсувними мисами. Перепад висот становить 70 ... 75 м.

Біля підніжжя схилу, вздовж вул. Сагайдачного, побудовані нові готельні комплекси, при зведенні яких влаштовувалися потужні підпірні стіни у вигляді декількох рядів буронабивних паль. Дані стіни утримують ділянки схилу Володимирської гірки і служили стінами огорожень котлованів при будівництві цих будівель.

Розрахунки проводився із застосуванням сучасних програмних комплексів для вирішення геотехнічних задач "Slide" і "Lira-Windows". Дані програмні комплекси призначені для оцінки напружено-деформованого стану ґрунтових масивів при дії статичних і динамічних навантажень, а також оцінки стійкості схилів та укосів методами Моргенштерна і Прайса, Бішопа, Янбу, Спенсера, методом скінченних елементів (МСЕ), припускаючи, що поверхні ковзання мають круглоциліндричну форму або призначаються у вигляді ламаних ліній.

Розрахунки виконані в умовах плоскої деформації. При моделюванні ґрунтового масиву прийнята модель ґрунту, що відповідає умові міцності Кулона-Мора.

Для побудови геотехнічних моделей прийняті два інженерно - геологічні розрізи. Схематичний план розрахункових перетинів

Таблиця 1. Величини горизонтальних переміщень (мм) вузлів розрахункової моделі для створу А

Назва осі споруди	Геодезичні відмітки розрахункового рівня по глибині ґрунтового масиву									
	104.4	103.0	102.0	101.0	100.0	99.0	98.0	97.0	96.0	95.0
A1 вздовж осі Y	59.9	57.9	56.1	53.8	51.4	47.9	44.2	40	35.3	31.3

хункових перетинів (створів) наведено на рисунку 8.

В результаті аналізу розрахунку стійкості схилу

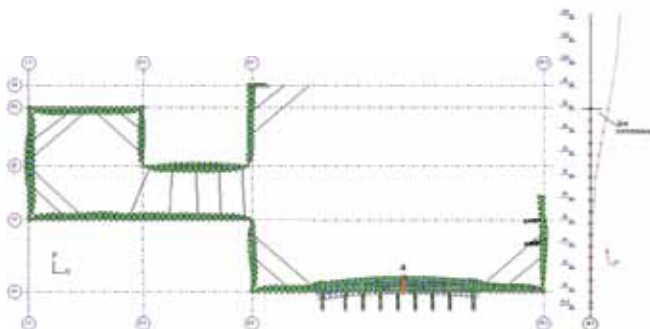


Рис.6. Деформована схема огороження котловану.



Рис.8. Схематичний план розташування розрахункових перерізів (створів).

Дивись рис. 5,7 на 2 стор. обкладенки

зроблені наступні висновки.

Величини коефіцієнтів стійкості ділянки схилу з урахуванням протизсувних споруд біля підніжжя схилу Володимирської гірки, виконаних при будівництві готельних комплексів, а також їх зведених вздовж вул. Сагайдачного в межах Поштової площі, складають:

- Для розрахункового перерізу II: 1,44 ... 1,45 (з урахуванням перерізування паль) і 1,29 ... 1,35 (при поверхні ковзання, що проходить нижче підосви паль);
- Для розрахункового перерізу II-II: 1,35 ... 1,58 (з урахуванням перерізування паль) і 1,32 (при поверхні ковзання, що проходить нижче підосви паль).

На підставі проведених розрахунків зроблено висновки, що стійкість ділянки схилу з існуючими утримують протизсувними спорудами, навантаженнями від них, а також з урахуванням перегінних тунелів метро забезпечена з мінімальним коефіцієнтом стійкості 1,32 (див. рис. 9), що задовольняє вимогам норм.

Майданчик будівництва підземної споруди примикає до зони розташування перегінних тунелів метрополітену. Відстань від осі стіни огорожі котловану до грані найближчого тунелю близько 16-18 м, до більш віддаленого тунелю 28 м.

З метою визначення ступеня впливу на конструкції перегінних тунелів метрополітену виконання робіт з влаштування огороження котловану при будівництві об'єкта багатофункціонального призначення, в тому числі і впливу екскавації ґрунту з котловану вирішуються два завдання.

Перше завдання полягає у визначенні деформацій конструкцій огороження котловану при виїмці ґрунту. Завдання вирішується на підставі розробленої просторової моделі системи огороження котловану.

Друге завдання - визначення характеру розподілу деформацій у ґрунтовому масиві за межами огороження котловану, але з урахуванням включення в цей масив тунелів метрополітену. Завдання вирішується по плоскій розрахунковій моделі. В якості навантажень в розпірній системі від впливу деформацій конструкцій огороження котловану на ґрунтовий масив прийняті переміщення, отримані з вирішення першого завдання.

Наведена на рисунках 10 і 11 картина розподілу деформацій у ґрунтовому масиві, що виникають при влаштуванні огороження котловану і екскавації ґрунту з котловану, показує, що безпосередньо у контурі конструкції близько розташованого тунелю отримані переміщення вузлів:

- горизонтальні переміщення у бік котловану складають 5.5 мм у верхній частині перерізу тунелю і 2.9 мм в нижній частині;
- вертикальні переміщення складають 5.3 мм у верхній частині перерізу і 3.6 мм в нижній частині перерізу тунелю.

У контурі конструкції більш віддаленого тунелю переміщення вузлів рівні:

- горизонтальні переміщення у бік котловану складають 0.45 мм у верхній частині перерізу тунелю і 1.3 мм в нижній частині;
- вертикальні переміщення складають 4.2 мм у верхній частині перерізу тунелю і 3.4 мм в нижній частині перерізу.

З аналізу результатів розрахунку випливає, що деформації масиву на ділянках, що безпосередньо примикають до конструкцій тунелю, незначні. При цьому

необхідно зазначити, що плоска розрахункова модель ґрунтового масиву не враховує просторової роботи конструкцій тунелів, які своєю жорсткістю в поздовжньому напрямку чинять опір деформаціям ґрунтового масиву.

Таким чином, прийняте в проекті технічне рішення огороження котловану при екскавації ґрунту з котловану не приводить до деформацій конструкцій тунелів.

Оцінка зміни рівня підземних вод в результаті влаштування огороження котловану другої черги будівництва.

Для оцінки зміни рівня підземних вод після влаштування паливних фундаментів проекрованої споруди була побудована геотехнічна модель ділянки ґрунтового масиву за результатами інженерно-геологічних і гідрогеологічних вишукувань до і після влаштування одного паливного ряду по осі А1.

Вихідними даними для виконання розрахунку служать коефіцієнти фільтрації інженерно-геологічних елементів, що складають ґрунтовий масив на розвідану глибину.

Розрахункова модель, розчленована на ІГЕ й розбита на кінцеві елементи, наведена на рисунку 12.

В результаті виконаних розрахунків за розрахунковою моделлю, описаною вище, отримані наступні результати.

Абсолютна відмітка рівня підземних вод в місці влаштування нових конструкцій огороження котловану до їх влаштування становить 96,7 м. Абсолютна відмітка рівня підземних вод після їх влаштування становить 99,8 м.

Влаштування одного ряду буросічних паль огороження котловану для будівництва підземної споруди без дренажної системи призведе до підйому рівня підземних вод перед цими конструкціями на величину 3,1 м. Такий підйом рівня підземних вод призведе до повного замочування ґрунтового масиву навколо тунелів метрополітену з подальшою зміною фізико-механічних характеристик ґрунтів, що складають його, що викличе додаткові деформації тунелів.

Для виключення підняття рівня підземних вод після влаштування конструкцій огороження і котловану було передбачено влаштування вертикального і горизонтального дренажу навколо підземної споруди.

Таким чином, завдяки проведеному комплексу геотехнічних розрахунків проектованого об'єкта спільно з ґрунтовими масивами майданчика забудови і схилу розроблені проектні рішення конструкцій і методи ведення будівництва нових споруд з урахуванням наявності тунелів метрополітену, існуючих будівель і підземних водних потоків на стадіях будівництва та експлуатації.

Постійний моніторинг деформацій тунелів метрополітену, будівель навколишньої забудови і рівня підземних вод в процесі будівництва показує, що ці величини знаходяться в межах, що допускаються будівельними нормами України.

У 2014 році перша черга будівництва - транспортна розв'язка вже введена в експлуатацію. Друга черга - будівництво двоповерхового підземного торгового комплексу та комплексний благоустрій території з влаштуванням скверу та фонтану - знаходиться в процесі будівництва. Завершення реконструкції Поштової площі в цілому заплановано на кінець 2015 року.

Дивись рис. 9,10,11,12 на 2 стор. обкладенки

**РИСУНКИ ДО СТАТТІ Ю.Слюсаренко, І. Матвеев, А.Кісіль, Ю.Іщенко, О.Романов, Н.Кошелева
«ВИРІШЕННЯ ГЕОТЕХНІЧНИХ ПРОБЛЕМ РЕКОНСТРУКЦІ ПОШТОВОЇ ПЛОЩІ В КИЄВІ»**



Рис. 1. Архітектурний макет реконструкції Поштової площі.



Рис. 3. Будівлі церкви Різдва Христового та Поштового будинку до початку реконструкції.

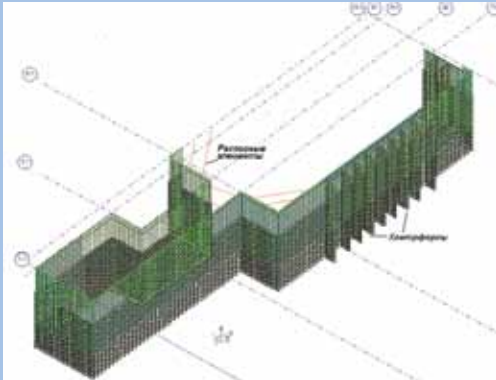


Рис. 5. Розрахункова модель огороження котловану із зовнішніми контрфорсами і розпірними конструкціями. Загальний вигляд.

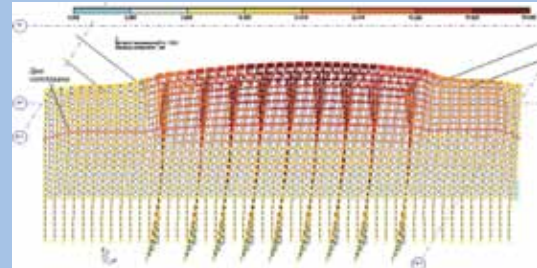


Рис. 7. Ізополя горизонтальних переміщень вузлів розрахункової моделі по осі Y в стіні по осі A1.

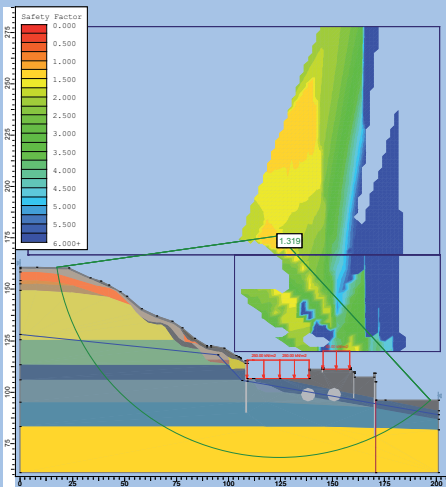


Рис. 9. Круглоциліндрична поверхня ковзання, що проходить нижче підшови палей з мінімальним коефіцієнтом стійкості 1,32.

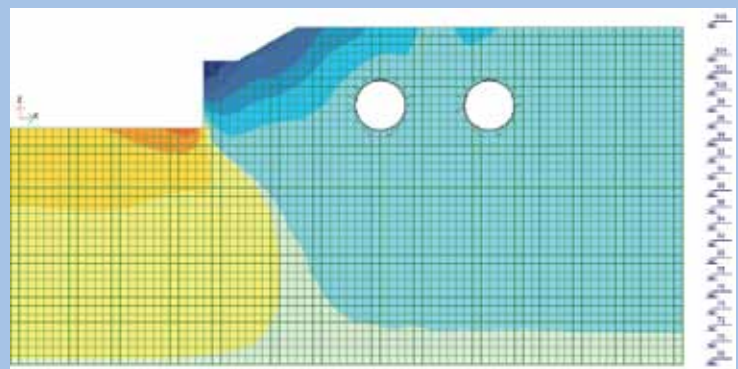


Рис. 10. Ізополя вертикальних переміщень вузлів розрахункової моделі вздовж осі Z від впливу переміщень вузлів (при влаштуванні огороження котловану и екскавації ґрунту).

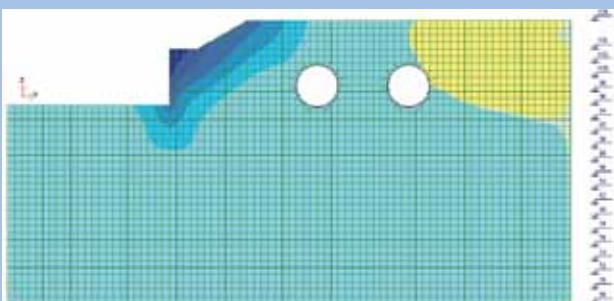


Рис. 11. Ізополя горизонтальних переміщень вузлів розрахункової моделі вздовж осі X від впливу переміщень вузлів (при влаштуванні огороження котловану і екскавації ґрунту).

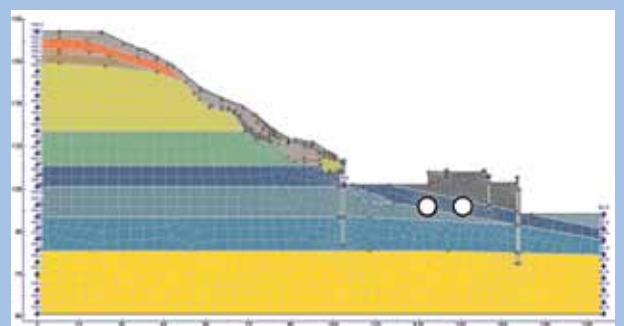


Рис. 12. Модель ґрунтового масиву для розрахунку зміни рівня підземних вод.