

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ, МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ

УДК 556.34: 518. 5

*Микола Кризський¹, Олексій Кошляков²,
Мирослав Мальований³, Марина Бондар⁴,
Володимир Ващенко⁴*

*¹Київський національний університет
будівництва і архітектури,*

*²Київський національний університет
імені Тараса Шевченка,*

*³Національний університет
Львівська політехніка,*

*⁴Державна екологічна академія
післядипломної освіти та управління*

ВИКОРИСТАННЯ ЗАГАЛЬНОЇ ГЕОФІЛЬТРАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНКИ БАРАЖНОГО ЕФЕКТУ ПРОТИЗСУВНИХ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

У статті проводиться теоретичне обґрунтування та приклад практичного застосування загальної геофільтраційної моделі для прогнозу зміни гідрогеологічних умов досліджуваної ділянки у зв'язку із реалізацією протизсувних заходів (розташуванням суцільних стінок під фундаментами за контуром будівель або сітки пальглибокого занурення). Проведений аналіз ефективності інженерного захисту від небезпечних екзогенних геологічних процесів територій. Приведений алгоритм створення геофільтраційної моделі. Проведений аналіз величини баражного ефекту в залежності від типу протизсувних заходів. Побудовані ізолінії зміни рівнів ґрунтових вод після реалізації цих протизсувних заходів.

Ключові слова: зсув, баражний ефект, геофільтраційна модель, гідрогеологічні умови, палі, протизсувні заходи

В статье приводится теоретическое обоснование и пример практического применения общей геофильтрационной модели для прогноза изменений гидрогеологических условий исследуемого участка в связи с реализацией противооползневых мероприятий (размещение сплошных стенок под фундаментами по контуру строений или сети свай глубокого погружения). Проведен анализ эффективности инженерной защиты от опасных экзогенных геологических процессов территорий. Приведен алгоритм создания геофильтрационной модели. Проведен анализ значения баражного эффекта в зависимости от типа противооползневых мероприятий. Построены изолинии изменения уровня почвенных вод после реализации противооползневых мероприятий.

Ключевые слова: оползень, баражний эффект, геофильтрационная модель, гидрогеологические условия, сваи, противооползневые мероприятия.

The article provides theoretical interpretation and example of practical application of general geofiltrational model for forecasting of changes of hydrogeological conditions of studied area in connection with implementation of anti-displacement measures (location of solid walls under basement behind the buildings' outline or deep sinking net pile). Also in the article an analysis of effectiveness of engineering protection against hazardous exogenous geological processes of areas has been conducted, an algorithm of construction of geofiltrational model has been made, an analysis

of level of damming effect depending on the type of anti-displacement measures has been carried out. Additionally, in the article isolines of changes in levels of soil waters after implementation of these anti-displacement measures have been constructed.

Key words: landslide, damming effect, geofiltrational model, hydrogeological conditions, piles, anti-displacement measures.

Постановка проблеми. У зв'язку із освоєнням зсувонебезпечних територій виникає необхідність збереження їх у стабільному (стійкому) стані впродовж тривалого часу. Часто у інженерній практиці використовується поліпшення властивостей ґрунтів з метою штучного збільшення їх міцності. Серед цих методів частіше за інші застосовується ін'єкційна цементація ґрунтів, але вона ефективна лише для тріщинуватих скельних порід, щебенів та крупних пісків. Слабопроникні глинисті ґрунти, які в центральній Україні найбільш розповсюджені та беруть участь у зсувних процесах, таким методом не закріплюються. Поширеними методами стабілізації та запобігання зсувам, застосування яких ефективно практично для всіх типів ґрунтів, є спорудження утримуючих споруд різних типів, таких, як підпірні стінки, пальові ряди, контрбанкети тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ефективність інженерного захисту від небезпечних екзогенних геологічних процесів територій, транспортних комунікацій, будівель і споруд як в процесі їх проектування, так і в подальшому після їх здійснення, є основним та вирішальним завданням під час обґрунтування вибору різних варіантів і видів захисту (або відмови від них). Відносно ґрунтово це розглянуто на прикладі зсувних процесів у роботі [1], в якій визначено поняття ефективності технічного, протизсувного та економічного захисту. Термін "протизсувна ефективність" був замінений більш широким поняттям (у цілому і для інших небезпечних екзогенних геологічних процесів), що передбачає одноразове підвищення коефіцієнта стійкості з урахуванням ролі всіх значущих зсувоутворюючих чинників. Деякі дослідники [2] розглядаючи ефективність заходів наводять загальні фрази про необхідність техніко-економічних розрахунків, "комплексного" проектування. Ці ж недоліки властиві і деяким нормативним документам [3-4]. Будь-яких пояснень щодо зазначених вимог немає, а поняття "ефективність" підмінене поняттям "комплексність". У ряді робіт і монографій як зарубіжних (Узбекистан, Росія, Казахстан, Китай, Франція, Японія, Нова Зеландія), так і вітчизняних авторів наводяться відомості про захисні споруди від небезпечних екзогенних геологічних процесів з описом їх ефективної роботи без зазначення терміну служби інженерного захисту та кількісних показників, що визначають підвищення коефіцієнта стійкості.

Приклади неефективного інженерного захисту зустрічаються рідко, за винятком даних, викладених у роботі [5]. У цілому ж в даний час істотним недоліком проєктованих і експлуатованих споруд з інженерного захисту різних об'єктів господарювання залишається низька ефективність окремих видів споруд і комплексів. Зазвичай передбачаються види ефективності споруд інженерного захисту від небезпечних екзогенних геологічних процесів, наведені на рис. 1.

Аналіз інженерно-геологічної ефективності протизсувних заходів можна проводити в два етапи. На першому етапі оцінюється приуроченість різних видів інженерного захисту до двох типів зсувних процесів: зсувних систем та простих зсувів. Після цього інженерно-геологічна ефективність захисних споруд визначається на основі режимних щорічних візуальних і напівінструментальних спостережень за станом зсувних схилів і захисних споруд з урахуванням їх довготермінової стійкості протягом останніх епох підвищеної та масової активності зсувів.

У результаті виділяються групи:

- дуже ефективний інженерний захист – стійкий протягом тривалого періоду, тобто трьох епох підвищеної активності;

- ефективний інженерний захист – стійкий протягом середньострокового періоду, тобто двох останніх епох активізації зсувів;
- умовно ефективний інженерний захист – стійкий протягом короткострокового періоду, тобто однієї (останньої) епохи активізації зсувів;
- ефективний інженерний захист – зазнав деформацій.

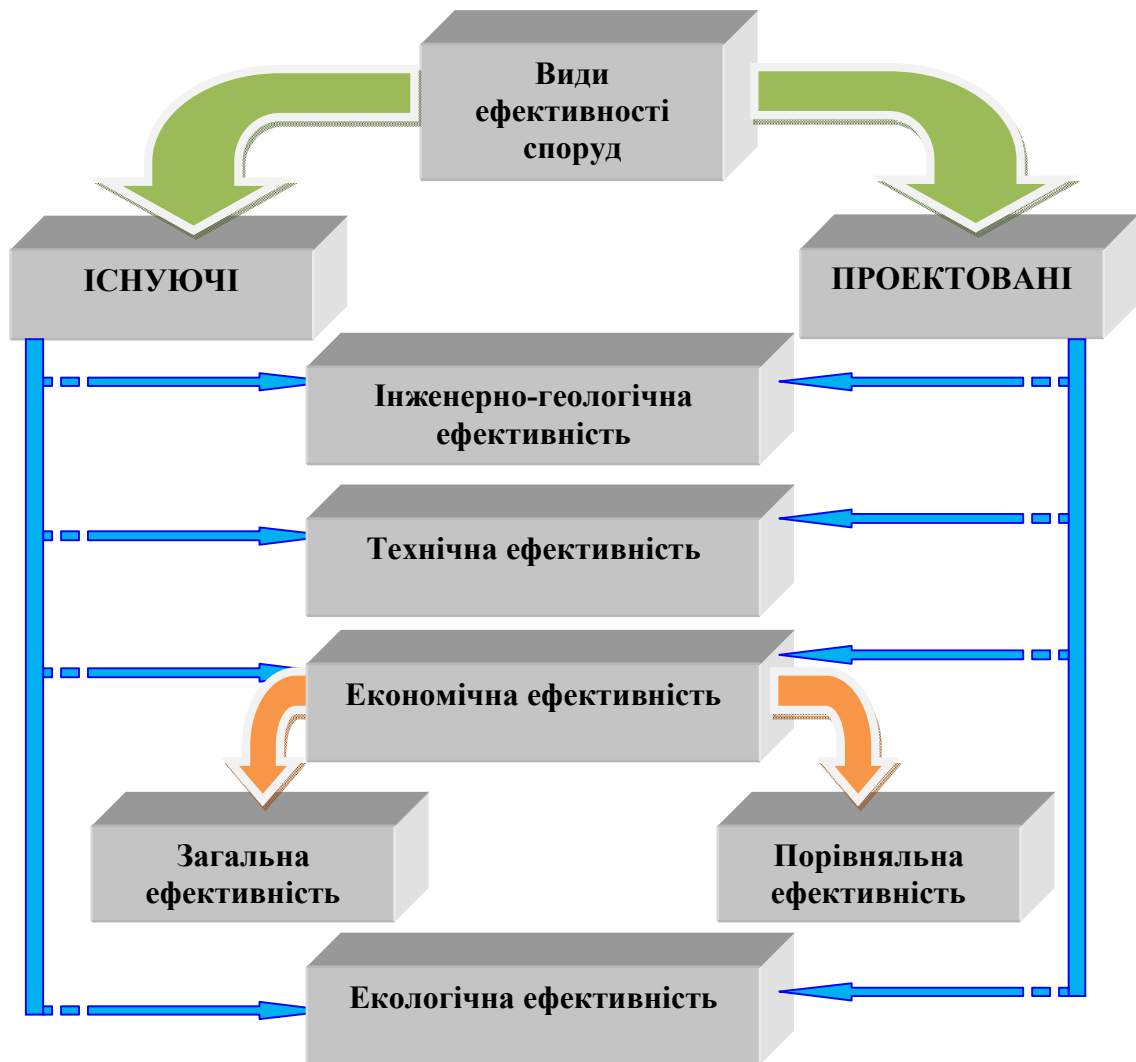


Рис. 1. Види ефективності споруд інженерного захисту від небезпечних екзогенних геологічних процесів

На другому етапі аналітичними методами оцінюється інженерно-геологічна ефективність захисних споруд для конкретних зсувних ділянок з урахуванням виділених на першому етапі груп. До уваги беруться стадійність і механізм розвитку, розташування площини ковзання (у зоні аерації або в зоні постійного водонасичення), види розвантаження ("підшвенні", "висячі") та інші фактори.

Результатом реалізації інженерних заходів захисту від небезпечних екзогенних геологічних процесів є досягнення стабілізації ґрунтів, що дозволяє використовувати їх в подальшому для будівництва, ландшафтного планування та для інших цілей. Але результатом реалізації цих заходів є окрім зміни геологічної обстановки зміна і гідрогеологічних параметрів внаслідок виникнення баражного ефекту (підйому рівня ґрунтових вод), який може призвести до підтоплення та інших небажаних явищ, що можуть обмежити область використання захищених від зсувів територій. Тому важливим

є прогнозування можливих змін гідрогеологічної ситуації в результаті реалізації протизсувних інженерних заходів.

Мета статті. Теоретичне обґрунтування та практичне застосування загальної геофільтраційної моделі для прогнозу зміни гідрогеологічних умов досліджуваної ділянки у зв'язку із реалізацією протизсувних заходів (розташуванням суцільних стінок під фундаментами за контуром будівель або сітки палыглибокого занурення).

Виклад основного матеріалу. Досліджувана ділянка розташована в північно-західній частині м. Києва, в Подільському районі, на розі вулиць Вишгородської, Западинської та Осиповського (рис.2).



Рис.2. Досліджувана ділянка (оконтурена червоною лінією)

У зв'язку із проектованим будівництвом постає необхідність проведення інженерних протизсувних заходів, які забезпечували б стійкість та надійність зведених конструкцій. У будівельній практиці це досягається створенням поля палы, на які повинні опиратись будівельні конструкції. Для прогнозування надійності палевих протизсувних полів необхідний прогноз можливого баражного ефекту.

Вибір методу прогнозування гідрогеологічних умов залежить від складності геолого-гідрогеологічної будови території, ступеня вивченості, цільового призначення розрахунків. Перевага надається детермінованому гідрогеодинамічному підходу, який базується на розв'язанні диференційних рівнянь фільтрації підземних вод і тому має найбільші прогностичну здатність та достовірність. Стосовно до простих гідрогеологічних умов цей підхід реалізується шляхом аналітичних розрахунків, у складних умовах використовують метод математичного моделювання [6]. Оскільки гідрогеологічні умови ділянки та прилеглої території досить складні, для прогностичних розрахунків доцільніше використати саме метод математичного моделювання геофільтрації. Застосування методу математичного моделювання дозволяє уникнути зайвої грубої схематизації природних гідрогеологічних умов, врахувати складність та розмаїття граничних умов ґрунтового потоку і тим самим дати більш реальну оцінку впливу інженерних протизсувних споруд на гідрогеологічні умови території.

Для гідрогеологічного моделювання використовувався програмний комплекс PMWIN-5.1 Processing «MODFLOW-2000» for Windows, який дозволяє створити багатошарову модель геофільтрації типу IBM PC [6]. Моделювання процесів геофільтрації на ділянці проводилося в такій послідовності.

1. Побудова просторово-часової природної гідрогеологічної моделі території, яка оцінювалася на основі інформації, отриманої в процесі пошуково-розвідувальних робіт:

- геологічної будови території;

- умов залягання та розповсюдження водоносних шарів;
- основних гідрогеологічних параметрів водоносних шарів та закономірностей їх зміни в розрізі та плані;
- умов живлення та розвантаження підземних вод.

2. Створення *геофільтраційної моделі* на основі складеної природної. На ній реальна гідрогеологічна ситуація формалізована із виділенням та кількісною характеристикою основних факторів формування підземних вод (водоносних шарів та їх меж, джерел живлення, розподілу параметрів, граничних умов на межах).

3. Створення *розрахункової математичної моделі* на основі геофільтраційної. Вона враховує режим фільтрації, необхідність поділу водоносного пласта на декілька розрахункових шарів у відповідності до конструкції пальового фундаменту, планову розбивку області фільтрації на розрахункові блоки, інфільтрацію атмосферних опадів та техногенних вод.

Розв'язання геофільтраційних завдань на математичних моделях проводилося із відомими початковими умовами розподілу рівнів підземних вод, їх живлення та розвантаження. Вивчення умов формування підземних вод методом математичного моделювання складалось із двох етапів:

1) уточнення вихідної геофільтраційної моделі шляхом розв'язання обернених задач;

2) розв'язання прогнозних задач.

У процесі розв'язання обернених задач проводилося уточнення як параметрів геофільтраційної моделі, так і джерел формування ресурсів підземних вод. Прогнозне розв'язання задач здійснювалося на геофільтраційній моделі, уточненій за результатами розв'язання оберненої задачі. Отримані варіанти прогнозної поверхні гідродинамічних напорів із урахуванням впливу інженерних споруд порівнювалися між собою та з природною (існуючою) поверхнею. У результаті була оцінена значущість впливу кожного із варіантів на існуючі гідрогеодинамічні умови території.

Виходячи із характеристики геолого-гідрогеологічних умов території досліджень, та конструкцій фундаменту, у результаті спорудження пальових фундаментів будівель є ймовірність виникнення баражного ефекту у безнапірному водоносному горизонті у водно-льодовикових відкладах середньо – верхньочетвертинного віку.

Природна гідрогеологічна модель будувалася на основі даних інженерно-геологічних досліджень ВАТ Інститут «ГПРИЦИВІЛЬПРОМБУД» [7, 8], попередніх наукових досліджень та гідрогеологічної інформації щодо рівнів ґрунтових вод, яка міститься в базі даних гідрогеолого-геофізичної інформації м. Києва.

У межах досліджуваної ділянки на умови будівництва та експлуатації запроектованих будівель безнапірний водоносний горизонт у водно-льодовикових відкладеннях середньо – верхньочетвертинного віку представлений обводненими пісками, супісками, супісками запіскованими, суглинками з прошарками піску. Водотривкими породами умовно можуть служити еоценові мергелі, частково суглинки. Внаслідок розмиву талими водами середньочетвертинного дніпровського покривного зледеніння сформована складна поверхня водотриву ґрунтових вод, яка за формою повторює поверхню рельєфу.

Обґрунтування геофільтраційних параметрів об'єкту моделювання проведене на основі даних інженерно-геологічних досліджень ВАТ Інституту «ГПРОЦИВІЛЬПРОМБУД» [7, 9], які отримані внаслідок лабораторних випробувань фільтрації на зразках порід.

Оскільки коефіцієнти фільтрації різняться менше ніж у 10 разів, для кожної із свердловин розраховані середньозважені за висотою значення коефіцієнтів фільтрації [9]. Результати розрахунку наведені в табл. 1.

Дані, наведені в таблиці, дозволяють встановити орієнтовний діапазон можливих змін коефіцієнтів фільтрації на ділянці, який складає 0,9...2,5 м/добу. Отже, в середньому, водоносний горизонт в четвертинних відкладах на території ділянки є достатньо однорідним у фільтраційному відношенні.

Таблиця 1

Результати розрахунку коефіцієнтів фільтрації

№ свердловини	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Коефіцієнт фільтрації, м/добу	2,0	1,7	2,0	2,2	0,9	1,8	1,6	2,4	2,0	0,9	1,8	0,9	2,5	2,3	2,3

Живлення ґрунтових вод основного водоносного комплексу відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів та вод техногенного походження [8]. Для визначення орієнтовної величини інтенсивності природного інфільтраційного живлення потоку підземних вод були використані дані про середню величину атмосферних опадів у м. Києві, яка складає 620 мм/рік (19,7л/с.км²) або 0,0017 м³/доб.м². Орієнтовна величина інтенсивності природного інфільтраційного живлення потоку підземних вод на ділянках відносно невеликої щільності забудови, за аналогією із вивченими ділянками м. Києва, визначена як 10...30% від середньої величини атмосферних опадів, тобто 0,00017...0,00051 м³/добу. Техногенне живлення підземних вод на території Києва за даними багаторічного досвіду може коливатися від 0,0002 до 0,00085 м/добу. Більш докладно для даної території значення інфільтраційного живлення, як і величини фільтраційних параметрів, уточнювалися шляхом розв'язання обернених задач методом моделювання. Всі математичні розв'язання проводилися для умов усталеного режиму фільтрації, що дає можливість виконати розрахунок для найгіршого варіанта впливу інженерних споруд, тобто з певним інженерним запасом.

Геологічний розріз територій, що вивчається, є складним перешаровуванням пісків, супісків та суглинків різної потужності, до яких приурочений безнапірний водоносний горизонт. Ця товща підстиляється шаром мергелів київського віку та суглинків четвертинного віку потужністю 3,0...10,0 м, які служать нижнім водотривам водоносного горизонту. Палі фундаменту проходять безнапірний горизонт повністю і заглиблюються у водотриви. Таким чином, вплив інженерних споруд буде відбуватися лише в четвертинному водоносному горизонті. Для прогнозних розрахунків раціонально буде використання одношарової геофільтраційної моделі, поверхня водотриву якої має складну форму. Для реалізації математичної геофільтраційної моделі, що відповідає прийнятним умовам, використовувався математичний опис процесу [6, 10-12]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(kh \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(kh \frac{\partial H}{\partial y} \right) + W = 0, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт фільтрації ґрунтової товщі, м/доб; h – потужність потоку підземних вод, м; W – інтенсивність інфільтраційного живлення потоку підземних вод, м/доб; H – гідродинамічний напір (абсолютна відмітка рівня підземних вод), м.

Загальна модель охоплює площу, на якій весь потік підземних вод, що сформувався за рахунок інфільтраційного живлення на її межах, розвантажується. Тобто, в даному випадку, площа області фільтрації, приймається від гідрогеологічного вододілу на заході до струмків та озерець у найнижчій частині рельєфу на сході. Вихідна розрахункова математична геофільтраційна модель приймається як одношарова. Потік підземних вод слід вважати безнапірним, обмеженим, усталеним (стаціонарним).

На верхній межі області фільтрації приймається гранична умова II-го роду ($q=const$), яка відповідає інфільтраційному живленню підземних вод природного та техногенного походження. Нижньою межею є водотрив складної конфігурації – гранична умова II-го роду ($q=const=0$). На заході та сході задані граничні умови I-го роду ($H=const$) відповідно до абсолютних відміток рівня підземних вод на цих межах. На півночі та на півдні межі проведені за лініями току. Тут задані граничні умови II-го роду ($q=const=0$).

Для розв'язання рівняння (1) застосовується метод кінцевих різниць, тому область геофільтрації розділяється на розрахункові блоки. У зв'язку з досить великою площею ділянки, що моделюється (майже 5 га – 5115 м), для відображення гідрогеологічних умов із найменшим ступенем схематизації розміри блоків приймалися 10×10 м. Розмір розрахункових блоків дозволяє детально відобразити конструкції інженерних споруд, що проектуються. Кількість розрахункових блоків дорівнює 5115 (930×550). Розрахункова схема області фільтрації в плані наведена на рис. 3.

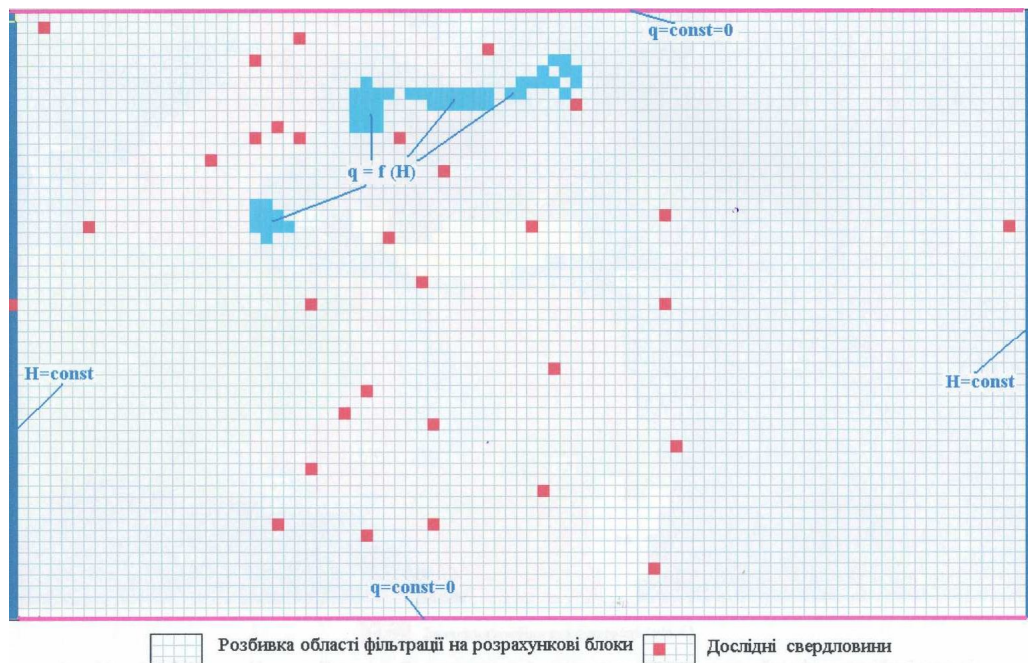


Рис. 3. Розрахункова схема області фільтрації в плані

Модель такого масштабу дозволяє охарактеризувати умови формування ґрунтових вод усього досліджуваного району і виконати попередні прогнози зі зміни їх режиму під впливом інженерних споруд із урахуванням взаємозв'язку всіх природних та штучних джерел та граничних умов. Для отримання достовірних прогнозів необхідно обґрунтувати вихідну гідродинамічну схему та роль головних гідродинамічних факторів формування підземних вод. Таке обґрунтування отримують шляхом відтворення на моделі вихідної гідродинамічної ситуації та порівнянням її з реально існуючою, тобто відомою. Відтворення вихідної гідродинамічної ситуації на моделі має назву епігнозного моделювання.

Значення геофільтраційних параметрів водоносного горизонту первісно були прийняті відповідно до результатів інженерно-геологічних досліджень і на моделі задавалися у вигляді кусково-неоднорідного середовища. Уточнення необхідних параметрів відбувалося в умовах усталеного потоку методом багатоваріантного підбору: 1) значень інфільтраційного живлення підземних вод; 2) значень геофільтраційних параметрів водоносного горизонту (виходячи із можливих орієнтовних значень).

Розв'язання серії обернених задач за умови коригування вихідних параметрів дало можливість отримати значення та розподіл коефіцієнтів фільтрації, які в подальшому використовувались для гідрогеологічного моделювання. Прогнозне моделювання проводилося для двох варіантів опор під фундаментами, що проходять весь водоносний горизонт до нижнього водотриву: 1) суцільні стінки під фундаментами за контуром будівель; 2) поле палів діаметром 0,6 м сіткою 1,6×1,6 м (між осями палів).

1. За першим варіантом на моделі, контуром будівель в фільтраційному масиві задавалась непроникна гранична умова ($q=const=0$).

Результати моделювання дії на потік підземних вод суцільних підпірних стінок контуром будівель наведені на рис. 4.

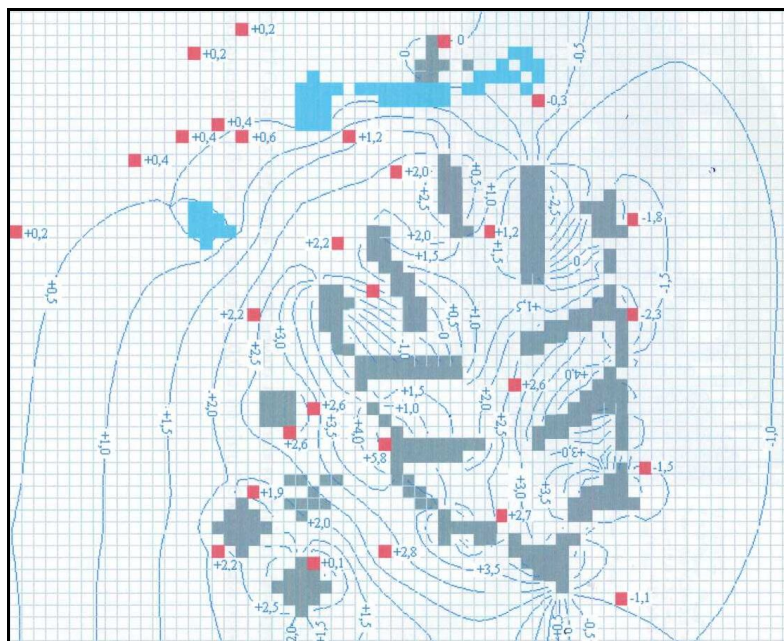


Рис. 4. Різниця поверхонь ґрунтових вод у природних умовах та в умовах впливу суцільних стінок контуром будівель

Як видно (рис. 4), у випадку встановлення замість паль під фундаментами за контуром запроєктованих будівель суцільних стінок, відбувається значна зміна гідрогеологічної ситуації навкруги будівель. З південного заходу, звідки надходить потік підземних вод, спостерігається підйом рівня ґрунтових вод, а з протилежної сторони – зниження його. На рис. 4 показані ізолінії зміни цих рівнів (різниця між рівнями в природних умовах і в порушених). Максимальний підйом рівнів становить +5,8 м, а максимальне зниження – -2,5 м. Проте площа розповсюдження цих змін відносно незначна. На відстані 300 м від будівель їх вплив практично не відчувається.

2. Далі, на загальній (грубій) геофільтраційній моделі був проведений прогноз змін гідрогеологічної ситуації за умови, що в межах площі кожної із будівель закладаються палі діаметром 0,6 м сіткою 1,6×1,6 м (між вісями паль).

Оскільки розбивка області фільтрації на блоки (10×10 м) не дозволяє безпосередньо на моделі (в масштабі моделі) відобразити розміри паль та відстань між ними, в масиві «коефіцієнтів фільтрації» в межах будівель були зменшені величини коефіцієнтів фільтрації водоносного горизонту до величини, яка б (умовно) відповідала водопроникності товщі з палями, розташованими згідно вказаної схеми. В останньому випадку визначався так званий «приведений коефіцієнт» фільтрації під фундаментами будівель. Тобто дія ділянок з «приведеними» значеннями коефіцієнта фільтрації була аналогічною дії системи реальних паль. Схема розрахунку приведенного коефіцієнту фільтрації наведена на рис. 5.

Результати моделювання впливу на потік підземних вод полів паль по сітці 1,6×1,6 м під будівель наведені на рис. 6. Із рис. 6 видно, що у випадку встановлення полів паль за вказаною схемою під будівлями також відбувається зміна гідрогеологічної ситуації навкруги будівель. З південного заходу, звідки надходить потік підземних вод, спостерігається підйом рівня ґрунтових вод, а з протилежної сторони – зниження його. На рис. 6 показані ізолінії зміни цих рівнів (різниця між рівнями в природних умовах і в порушених). Максимальний підйом рівнів при цьому становить лише 0,8 м, а максимальне зниження – 0,4 м. Площа розповсюдження цих змін є незначною. На відстані 100 м від будівель їх вплив практично не відчувається.

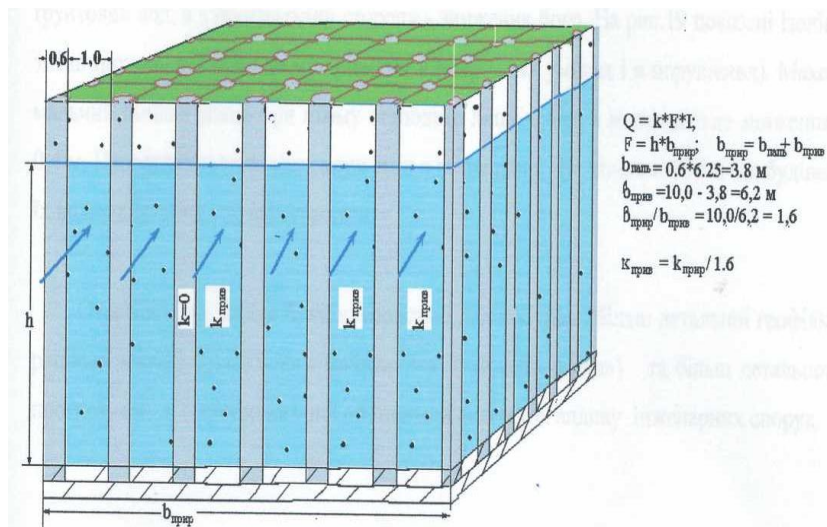


Рис. 5. Схема до розрахунку приведенного значення коефіцієнта фільтрації розрахункового блоку з паями діаметром 0,6 м сіткою 1,6×1,6м (між вісями)

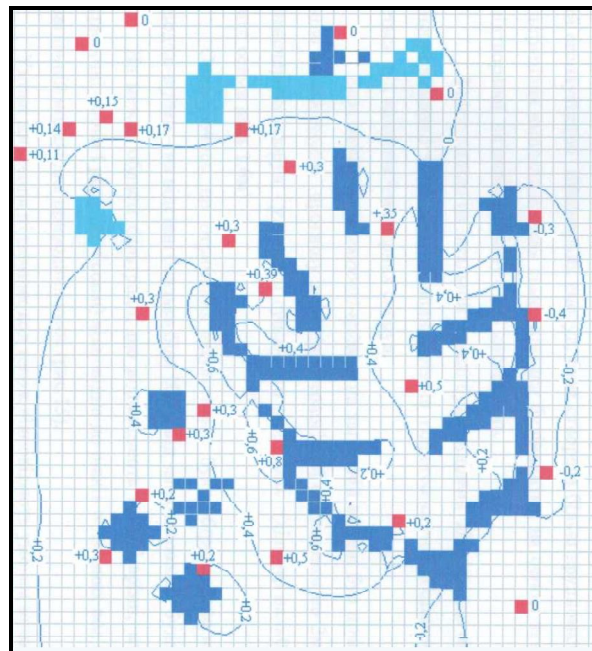


Рис. 6. Різниця рівнів підземних вод в природних умовах та умовах впливу будівель (фундамент на паях)

Висновки. На загальній геофільтраційній моделі був проведений прогноз змін гідрогеологічної ситуації за умови використання двох типів протизсувних інженерних конструкцій: суцільних стінок під фундаментами за контуром будівель та сітки палей глибокого занурення. У випадку встановлення під фундаментами за контуром запроєктованих будівель суцільних стінок, відбувається значна зміна гідрогеологічної ситуації навкруги будівель. З південного заходу, звідки надходить потік підземних вод, спостерігається підйом рівня ґрунтових вод, а з протилежної сторони – зниження його. Максимальний підйом рівнів становить +5,8 м, а максимальне зниження – -2,5м. Проте площа розповсюдження цих змін відносно незначна. На відстані 300 м від будівель їх вплив практично не відчувається. У випадку закладання в межах площі кожної із будівель палей діаметром 0,6 м сіткою 1,6×1,6 м (між осями палей), поле палей перегороджує потік підземних вод і під будівлями відбувається зміна гідрогеологічної ситуації. Із південного заходу, звідки надходить потік підземних вод, спостерігається підйом рівня ґрунтових вод, а з протилежної сторони – зниження його. Максимальний підйом рівнів становить 0,8

м, а максимальне зниження – 0,4 м. Площа розповсюдження цих змін є незначною. На відстані 100 м від будівель їх вплив практично не відчувається.

Література

- 1 Емельянова Е. П. Сравнительный метод оценки устойчивости и прогноз оползней/ Е. П. Емельянова // ВСЕГИНГЕО. – М.: Недра, 1971. – 104 с.
- 2 Гольдштейн М. Н. Теория развития и затухания оползневого процесса/ М. Н. Гольдштейн, А. Я. Туровская// Проблемы геомеханики, Труды отдела геомеханики АН Армянской ССР. – Ереван. 1973. – С. 140–147.
- 3 СНиП 2.01.15-90 Инженерная защита территорий зданий и сооружений от опасных геологических процессов Основные положения проектирования. Госстрой СССР. – М.: ЦИТП, 1991. – 42с.
- 4 ДБН В.1.1-25:2009. Захист від небезпечних геологічних процесів. Основні положення проектування. Держбуд України. – Київ, 2009. – 89с
- 5 Герасимчук В. О. Гірські автомобільні дороги України / В. О. Герасимчук. – Коломия: Вік, 1998. – 352 с.
- 6 Жернов И. Е. Динамика подземных вод: учебное пособие/ И. Е. Жернов – К.: Вища школа, 1982. – 324 с.
- 7 Звіт про інженерно-геологічні вишукування на майданчику будівництва житлового комплексу з об'єктами соціально-громадського призначення, паркінгами по вул.Вишгородській 45 у Подільському районі м.Києва (Розрахунок стійкості схилу). 9671-П.РД. – Київ, ЗАТ «ГППРОЦИВІЛЬПРОМБУД», 2007 – 87с.
- 8 Звіт про інженерно-геологічні вишукування на майданчику будівництва житлового комплексу з об'єктами соціально-громадського призначення, паркінгами по вул.Вишгородській 45 у Подільському районі м.Києва (Підпирні стінки). 9671-П.РД. – Київ, ЗАТ «ГППРОЦИВІЛЬПРОМБУД», 2007 – 94
- 9 Проект геодинамічної мережі м.Києва з метою спостереження і запобігання виникненню надзвичайних зсувонебезпечних ситуацій та деформаційних процесів на інженерних спорудах та висотних житлових будинках міста. – К.: ДНВП інженерної геодезії «Укрінжгеодезія», 2000. – 117 с.
- 10 Гавич И. К. Теория и практика применения моделирования в гидрогеологии/ И. К.Гавич. – М.: Недра, 1980. – 358 с.
- 11 Коносавский П. К. Математическое моделирование геофильтрационных процессов: Учебное пособие/ П. К. Коносавский, К. А. Соловейчик. – СПб.: Изд-во СПб ГТУ, 2001. – 96с.
- 12 Кошляков О. Є. Гідрогеологічне моделювання: Підручник/ О. Є. Кошляков. – К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2003. – 79с.

© Микола Кризський,
Олексій Кошляков,
Мирослав Мальований,
Марина Бондар,
Володимир Ващенко

*Надійшла до редакції 13 травня 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. техн. наук Я. О. Адаменко*