

ГЕОІНФОРМАТИКА

УДК 004.942:556.34(477-25)

О.Є. Кошляков, канд. геол.-мінералог. наук,
Б.М. Мандрик, канд. геол.-мінералог. наук**ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ГРУНТОВИХ ПОТОКІВ ДЛЯ ТЕРИТОРІЙ МІСЬКИХ АГЛОМЕРАЦІЙ (НА ПРИКЛАДІ РАЙОНУ ГОЛОСІЇВСЬКОЇ ПЛОЩІ В М. КИЄВІ)**

Наведено особливості математичного моделювання потоків ґрунтових вод для територій міських агломерацій на прикладі району Голосіївської площі в м. Києві. Запропоновано методику визначення та коригування вихідних геофільтраційних схем ґрунтових потоків за непрямыми ознаками.

The given features of mathematical modeling of ground flow for urban territories on an example of Golosiivska area in Kiev. The technique of definition and correcting initial circuits of ground flows behind indirect attributes is offered.

Постановка проблеми. Інтенсивні зміни гідродинамічних умов потоків ґрунтових вод в межах міських агломерацій, що відбуваються внаслідок техногенного впливу, часто призводять до суттєвого погіршення умов будівництва і експлуатації існуючих інженерних споруд. За останні роки, в зв'язку із зростанням обсягів наземного та підземного будівництва в м. Києві, проблема суттєво загострилась. Вирішення питань аналізу та подальшого прогнозування змін гідродинамічних умов потоків ґрунтових вод на територіях міських агломерацій є необхідною умовою подальшого безпечного будівництва та розробки ефективних інженерних заходів для запобігання негативному техногенному впливу. Викладене свідчить про практичну та наукову актуальність згаданої проблеми. Відомо, що ефективне прогнозування може бути здійснено лише за допомогою математичного моделювання за умови наявності достовірних вихідних даних, які отримують в результаті спеціальних вишукувань та моніторингових спостережень [1].

Аналіз проблеми. Моделювання є одним з основних методів наукових досліджень та інженерних розрахунків у гідрогеології. Для моделювання процесів геофільтрації використовують головним чином детерміновані математичні моделі, які мають найбільшу прогностичну здатність [2; 3]. Застосування математичного моделювання дозволяє уникнути зайвої грубої схематизації природних гідродинамічних умов, врахувати в умовах неоднорідної водоносної системи складність і розмаїтість граничних умов. Тим самим математичне моделювання дозволяє дати більш реальну оцінку гідродинамічних процесів та обґрунтований прогноз режиму ґрунтових вод в умовах будівництва і експлуатації інженерних споруд, а також оцінити вплив споруд на навколишнє середовище. На даний час гідрогеологічне моделювання частіше проводиться з використанням персональних комп'ютерів на основі консервативних кінцево-різницевоїх схем.

Зазвичай у методиці математичного моделювання виділяють чотири послідовних стадії [1; 3]. На першій стадії схематизуються умови геофільтрації, визначаються характеристики об'єкта моделювання і так звані розрахункові параметри. Перша стадія закінчується побудовою вихідної гідродинамічної схеми. На другій стадії виконується епігнозне моделювання (розв'язання оберненої задачі). Тут на моделі реалізується вихідна гідродинамічна схема, а отриманий результат порівнюється з реально відомим (отриманим унаслідок натурних спостережень). Збіг результатів свідчить про правильність створеної вихідної гідродинамічної схеми. Якщо результати не збігаються, виконується коригування вихідної схеми, зокрема за допомогою факторно-діапазонного оцінювання. Третя стадія – це прогнозне моделювання, або розв'язання прямої задачі. При цьому звичайно розв'язують не одну, а серію прогнозних

задач з метою вибору оптимального варіанта та режиму функціонування штучних споруд. На четвертій стадії обробляються та оформлюються результати моделювання, складаються звітні документи і прогнозні карти.

Суттєвою проблемою при моделюванні потоків ґрунтових вод (при створенні вихідної гідродинамічної схеми) в межах міських агломерацій є майже повна відсутність польових визначень фільтраційних і ємнісних параметрів шарів ґрунтової товщі. У той самий час у наявності зазвичай є результати точкового лабораторного визначення параметрів ґрунтів (зокрема, коефіцієнтів фільтрації та пористості) як в плані, та і в розрізі (містяться в звітах про інженерно-геологічні вишукування).

Постановка завдання. Метою дослідження є з'ясування можливості і доцільності використання результатів точкового лабораторного визначення параметрів ґрунтів для визначення фільтраційних і ємнісних характеристик шарів ґрунтової товщі при створенні вихідної гідродинамічної схеми та вдосконалення методики епігнозного моделювання гідродинамічних умов стосовно територій міських агломерацій (на прикладі території в районі Голосіївської площі м. Києва).

Методика та результати дослідження. У даних дослідженнях нами використаний програмний комплекс PMWIN-4.1 Processing "MODFLOW-2000" for Windows, розроблений у США. Він призначений для створення багатопластових моделей геофільтрації. Програма PMWIN, що входить у комплекс, здійснює моделювання геофільтрації, програми RMPATH і MT3D використовуються для моделювання процесів міграції підземних вод за допомогою методу скінченних різниць в умовах просторових потоків. Комплекс працює в середовищі операційних систем Windows – 95, 98, 2000.

Базовий моделюючий блок реалізує чисельне розв'язання нестационарної або стаціонарної задачі багатопластової геофільтрації для області із складною геометрією (вклинювання водоносних горизонтів і слабопроникних пластів, наявність "вікон" між горизонтами) при гідрогеологічних параметрах, які надто змінюються, і різноманітних граничних умовах. Спеціально розроблена багатопластова балансова адитивна різницева схема другого порядку точності за часовою і просторовою змінними забезпечує високу точність і стійкість розв'язання задачі, що дозволяє моделювати процес безнапірної фільтрації в дуже нелінійному режимі – аж до повного спрацювання водоносних горизонтів. Враховується можливість повного осушення горизонтів і річок із наступним можливим відновленням при зміні гідродинамічного режиму.

При створенні вихідної гідродинамічної схеми встановлюють так звані представницькі значення геофільтраційних параметрів. Це виконується шляхом узагальнення даних, які представлені на відповідних картах і

схемах, а також шляхом детального аналізу гідрогеологічних, геологічних, літологічних та інших умов як в плані, так і в розрізі. При цьому частина шарів, виділених на геофільтраційній моделі, об'єднувалася, якщо це суттєво не впливає на результат розв'язку [3].

Для орієнтовного (початкового) визначення геофільтраційних параметрів у плані та в розрізі нами зроблена спроба, з врахуванням неоднорідності товщі, використати наявні результати точкового лабораторного визначення параметрів (зокрема, коефіцієнта фільтрації) на зразках порід (що містяться в звітах про інженерно-геологічні вишукування на даній території). При цьому, по-перше, враховувалось, що лабораторне визначення найчастіше призводить до отримання занижених значень параметрів унаслідок впливу затиснутого повітря у зразках породи на результати дослідів. По-друге, значення параметрів повинні перебувати у відповідному діапазоні, виходячи з літологічних властивостей порід (відповідати табличним) [4].

Результати зіставлення лабораторних точкових визначень і табличних значень коефіцієнтів фільтрації для території досліджень наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Результати зіставлення значень коефіцієнтів фільтрації

Назва гірської породи	Значення коефіцієнта фільтрації, м/дб	
	Лабораторні точкові	Табличні
Пісок мілкий водонасичений	3,0...5,0	1,0...10,0
Супісок (замулений) текучий	0,5...1,0	0,1...1,0
Супісок лесовидний текучепластичний	0,1...0,2	0,1...1,0
Супісок лесовидний пластичний	0,5...1,0	0,1...1,0
Суглинок м'якопластичний	0,15	0,001...0,1
Суглинок текучепластичний	0,02...0,03	0,001...0,1
Глина спонділова напівтверда	0,001	менше 0,001

Аналіз даних, які містяться в табл. 1, свідчать про взаємну відповідність даних, отже про доцільність використання даних лабораторних точкових визначень (що містяться в звітах про інженерно-геологічні вишукування) при створенні вихідної гідродинамічної схеми території досліджень.

Стадія епігнозного моделювання мала певні особливості, які були пов'язані з нерівномірністю забезпечення фактичною інформацією як в плані, так і в розрізі (детальність інженерно-геологічного розрізу, наявність точок лабораторного визначення, наявність фактичних даних про розташування рівня ґрунтових вод). Зокрема, спочатку в рамках факторно-діапазонної оцінки був виконаний розв'язок трьох характерних, найбільш забезпечених вихідною інформацією профільних обернених задач в умовах усталеного та неусталеного режимів геофільтрації. У результаті такої оцінки були визначені головні закономірності руху ґрунтових вод на даній території, виконане певне коригування значень геофільтраційних параметрів, визначені крайові (зокрема, граничні) умови ґрунтового потоку та закономірності поширення за площею інтенсивності інфільтраційного живлення. На наступному етапі епігнозного моделювання був виконаний розв'язок оберненої планової геофільтраційної задачі в умовах усталеного та неусталеного режимів геофільтрації для обґрунтування розрахункових значень геофільтраційних параметрів (на базі по-

передніх просторових значень) та крайових (зокрема граничних) умов. Прямим індикатором відповідності моделі реальним природним умовам є збіг дійсних і отриманих на моделі значень гідродинамічних напорів у гідрогеологічних свердловинах. Отримана таким шляхом геофільтраційна модель є тришаровою, шари не є витриманими за потужністю та водопроникністю. Розрахункові коефіцієнти фільтрації верхнього шару (лесовидні суглинки, іноді супіски) змінюються від 0,03 до 0,15 м/дб, середнього (лесовидні суглинки, іноді супіски, на дрібних локальних ділянках дрібнозернисті та середньозернисті піски) – від 0,03 до 5,0 м/дб, нижнього (лесовидні суглинки і супіски, на локальних ділянках дрібнозернисті, рідше середньозернисті піски) – від 0,03 до 5,0 м/дб. Розрахунковий коефіцієнт гравітаційної водовіддачі порід водоносного горизонту дорівнює 0,01. Наведені значення геофільтраційних параметрів не суперечать даним, отриманим для інших ділянок правобережної частини м. Києва [5], отже, це є непрямым свідченням коректності створеної моделі.

Величина інтенсивності інфільтраційного живлення ґрунтових вод задавалась по площі диференційовано, від 0,0001 до 0,00055 м/дб, залежно від щільності забудови та штучного покриття території (останні зменшують величину живлення). Такі величини інтенсивності інфільтраційного живлення не суперечать результатам, отриманим раніше для інших територій правобережної частини м. Києва [6].

Відповідність побудованої планової моделі реальним природним умовам була перевірена також шляхом моделювання процесу реального кушового відкачування, яке здійснювалось на даній території. Отримані модельні результати та реальні результати відкачування (порівнювались зміни рівнів ґрунтових вод, що виникають унаслідок відкачування) цілком збігаються.

При прогностичному моделюванні була створена прогностична гідродинамічна схема, яка визначається гідродинамічними умовами об'єкта, а також розташуванням, типом і режимом роботи штучних споруд, що проектується. При побудові прогностичної схеми перш за все враховувався загальний характер розвитку процесу геофільтрації, що прогнозується, з врахуванням дії штучних споруд; виявлялись особливості процесу, що прогнозується, порівняно з існуючим, який вивчений на стадії епігнозного моделювання.

Створена прогностична гідродинамічна схема потоку ґрунтових вод спроможна врахувати суттєве переформування існуючого зараз природного потоку ґрунтових вод. Власне метою прогностичного моделювання був вибір найбільш раціональної схеми конструкції штучних споруд, що проектується, та визначення оптимального режиму роботи цих споруд. Тому при прогностичному моделюванні була розв'язана серія прямих задач для отримання кількісних показників, що характеризують геофільтраційний потік при різних варіантах дії штучних споруд.

Висновки. Викладене вище дозволяє виділити такі особливості методики математичного моделювання ґрунтових потоків для територій міських агломерацій.

При створенні вихідної гідродинамічної схеми доцільно використати результати точкового лабораторного визначення параметрів ґрунтів, що містяться в звітах про інженерно-геологічні вишукування, для визначення орієнтовних фільтраційних і ємнісних характеристик шарів.

На стадії епігнозного моделювання згадані орієнтовні характеристики слід використати при факторно-діапазонному оцінюванні для розрізів (профільні задачі), які найбільш забезпечені вихідною інформацією. Отриманий результат значно полегшує коригування

вихідної гідродинамічної схеми при епігнозному моделюванні планового потоку.

Моделювання реальних відкачувань, які мали місце на території досліджень, є потужним додатковим способом обґрунтування вихідної гідродинамічної схеми.

Прогнозне моделювання ґрунтового потоку в районі Голосіївської площі м. Києва показало, що зміна рівнів ґрунтових вод унаслідок будівництва і функціонування штучних споруд суттєво вплине на несучі властивості гірських порід основи будівель. Розробка можливих

інженерних заходів щодо запобігання зміни рівнів ґрунтових вод є предметом спеціальних досліджень.

1. Гавич И.К. Теория и практика применения моделирования в гидрогеологии. – М., 1980. 2. Коносовский П.К., Соловейчик К.А. Математическое моделирование геофильтрационных процессов: Учеб. пособие. – СПб., 2001. 3. Кошляков О.С. Гидрогеологическое моделирование: Пособие – К., 2003. 4. Жернов И.Е. Динамика подземных вод: Учеб. пособие. – К., 1982. 5. Кошляков О.С. Оцінка наслідків баражного ефекту від паль фундаменту Успенського собору // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2002. – Вип. 22. – С. 123–126. 6. Кошляков О.С. Аналіз гідродинамічних умов ґрунтової товщі біля Маріїнського палацу з урахуванням силового дренажу // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2002. – Вип. 21. – С. 56–57.

Надійшла до редакції 21.12.04