

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»
Природничих наук та технологій
(факультет)
Кафедра гідрогеології та інженерної геології
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню магістра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Говоруха Олега Володимировича
(ПІБ)

академічної групи 103М-22-1
(шифр)

спеціальності 103 Науки про Землю
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою «Геологія, гідрогеологія, геофізика»
(офіційна назва)

на тему Обґрунтування раціональних типів і режимів роботи дренажних споруд шляхом гідрогеологічного моделювання

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Інкін О.В.			
розділів:				
Загальний	Інкін О.В.			
Спеціальний	Інкін О.В.			
Рецензент	Довбніч М.М.			
Нормоконтролер	Дерев'ягіна Н.І.			

Дніпро
2023

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

гідрогеології та інженерної геології

(повна назва)

Загриценко А.М.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеню магістра

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Говоруха Олега Володимировича академічної групи 103м-22-1

(прізвище та ініціали)

(шифр)

спеціальності 103 Науки про Землю

за освітньо-професійною програмою «Геологія, гідрогеологія, геофізика»

на тему Обґрунтування раціональних типів і режимів роботи дренажних споруд шляхом гідрогеологічного моделювання

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 05.09.2023 № 1036-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Загальний	Кліматичні, геолого-гідрогеологічні та техногенні умови території. Фізико-механічні та фільтраційні властивості ґрунтів.	10.10.23-29.10.23
Спеціальний	Аналіз причин підтоплення парку. Методика моделювання гідрогеологічних процесів. Розрахункова схематизація.	30.10.23-22.11.23
	Результати рішення оберненої задачі. Порядок спорудження нових гідротехнічних та дренажних споруд. Постановка і рішення прогностичних задач на моделі.	23.11.23-10.12.23

Завдання видано

(підпис керівника)

Інкін О.В.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі

13.10.2023

Дата подання до екзаменаційної комісії

18.12.2023

Прийнято до виконання

(підпис студента)

Говоруха О.В.

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: текстові додатки 77 с., рисунків 19, таблиць 11, джерел 25.

Мета досліджень – розробка, верифікація та перевірка адекватності гідрогеологічної математичної моделі парку ім. Лазаря Глоби для її подальшого використання при проектуванні та оцінки гідродинамічного та геомеханічного впливу експлуатації різних дренажних та гідротехнічних споруд на навколишнє середовище.

Об'єкт досліджень – рівневий режим алювіального водоносного горизонту, представленого суглинками сірими та пісками пілуватими та дрібними, а на окремих ділянках – пісками середніми та щебенем граніту з піщаним заповнювачем.

Методи досліджень – аналіз та систематизація геологічних та гідрогеологічних даних по району досліджень, візуальне обстеження території парку, чисельне моделювання гідродинамічних процесів, аналітичні розрахунки.

Шляхом схематизації природних геолого-гідрогеологічних та техногенних умов, а також рішенням обернених ідентифікаційних задач створено гідрогеологічну математичну модель парку ім. Лазаря Глоби яка за фізичною будовою та реакцією на гідродинамічні та технологічні збурення адекватна реакції навколишнього середовища. За результатами математичного моделювання гідродинамічних процесів з'ясовано частку впливу природної та техногенної складової на формування гідрогеологічного режиму ґрунтових вод на досліджуваній території.

ГРУНТОВІ ВОДИ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ГІДРОДИНАМІЧНИЙ РЕЖИМ, ДРЕНАЖ, ІНВЕРСІЯ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО ПОТОКУ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. КЛІМАТИЧНІ, ГЕОЛОГО-ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ ТА ТЕХНОГЕННІ УМОВИ ТЕРИТОРІЇ	7
2. ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ТА ФІЛЬТРАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ....	13
3. АНАЛІЗ ПРИЧИН ПІДТОПЛЕННЯ ПАРКУ	17
4. МЕТОДИКА МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА РОЗРАХУНКОВА СХЕМАТИЗАЦІЯ	19
5. РЕЗУЛЬТАТИ РІШЕННЯ ОБЕРНЕНОЇ ЗАДАЧІ.....	46
6. ПОРЯДОК СПОРУДЖЕННЯ НОВИХ ГІДРОТЕХНІЧНИХ ТА ДРЕНА- ЖНИХ СПОРУД	52
7. ПОСТАНОВКА І РІШЕННЯ ПРОГНОЗНИХ ЗАДАЧ НА МОДЕЛІ.....	59
ВИСНОВКИ.....	67
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	71
ДОДАТКИ.....	74

КАФЕДРА
ГІДРОГЕОЛОГІЇ
ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

ВСТУП

Актуальність досліджень. Згідно з планом реконструкції парку ім. Лазаря Глоби на його території планується створення нових об'єктів культурно-господарського призначення (ставків, каналів, підземних паркінгів, газонів та скверів) будівництво та обслуговування яких потребує врахування їх взаємодії з довкіллям. У зв'язку з чим метою даної роботи є розробка, верифікація та перевірка адекватності гідрогеологічної математичної моделі парку ім. Лазаря Глоби у м. Дніпро для її подальшого використання при проектуванні та оцінки гідродинамічного та геомеханічного впливу експлуатації різних дренажних та гідротехнічних споруд на навколишнє середовище.

Ураховуючи неоднорідність водовміщуючій товщі по площі й у розрізі та існуючого техногенного навантаження оцінка гідрогеологічної обстановки у парку буде виконуватися з використанням методу математичного моделювання. Для створення математичної моделі необхідно зібрати, узагальнити та проаналізувати дані про гідрогеологічні та техногенні умови досліджуваної території, скласти та обґрунтувати розрахункову схему, підготувати та обґрунтувати масиви вихідної інформації, провести монтаж моделі, верифікацію вихідної інформації на моделі, виконати факторно-діапазонний аналіз, вирішити обернену задачу, доказати адекватність моделі об'єкту і тільки після проведення цих робіт виконати прогноз впливу нових споруд на довкілля.

Методика. Виконано аналіз та систематизацію геологічних та гідрогеологічних даних по району досліджень, візуальне обстеження території парку, чисельне моделювання гідродинамічних процесів, аналітичні розрахунки. Для вирішення поставлених задач використані методи чисельного геофільтраційного моделювання, програмне середовище Visual MODFLOW 2011.1 та аналітичні гідрогеологічні розрахунки.

Об'єкт досліджень. Рівневий режим алювіального водоносного горизонту, представленого суглинками сірими та пісками пилуватими та дрібними, а на

окремих ділянках – пісками середніми та щебенем граніту з піщаним заповнювачем.

Практична цінність – в процесі розв’язання поставлених задач створена адекватна чисельна гідрогеологічна модель парку ім. Лазаря Глоби в м. Дніпро для аналізу умов формування рівня ґрунтових вод алювіального водоносного горизонту і прогнозування змін гідродинамічного режиму в умовах майбутніх різних техногенних навантажень.

Наукова новизна – полягає у розробці методики оцінки зміни в часі рівня ґрунтових вод у результаті експлуатації різних інженерних, гідротехнічних та дренажних споруд.

Соціальний ефект – виконані розрахунки дозволяють оцінити стійкість та взаємодію з довкіллям нових об’єктів культурно-господарського призначення (ставків, каналів, підземних паркінгів, газонів та скверів) на території парку.

КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



1. КЛІМАТИЧНІ, ГЕОЛОГО-ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ ТА ТЕХНОГЕНІ УМОВИ ТЕРИТОРІЇ

Парк ім. Лазаря Глоби розташований у центральній частині м. Дніпро та обмежений з північного сходу пр. Д. Яворницького, зі сходу – вул. Андрія Фарба, з південного заходу уступом надзаплавної тераси, із заходу – вул. Шмідта. Кількість опадів на території парку складає від 464,3 мм до 765,3 мм. При цьому, літні опади мають переважно зливовий характер і припадають в основному на червень-липень. Клімат помірний, порівняно сухий. Середньорічна температура повітря $+8,5$ °С, середньомісячна найхолоднішого року місяця січня $-5,4$ °С, найтеплішого липня $+22,3$ °С. Абсолютний мінімум температури -34 °С, максимум $+40$ °С. Середня тривалість безморозного періоду = 190 днів.

Зими на досліджуваній території м'які з частими відлигами, незначним та нетривалим сніговим покривом. Глибина промерзання ґрунтів складає 100 – 107 мм. Інтенсивність випаровування з водної поверхні в різні роки складає від 470,6 мм/рік до 1114,2 мм/рік. Глибина промерзання ґрунту становить 100-107 см. Переважають вітри східного та північно-східного напрямів, середньорічна швидкість вітру дорівнює 4,3 м/с. Таким чином, характерними особливостями клімату на території парку є:

- незначні коливання температур, зливовий характер літніх опадів при інтенсивності злив 3 мм/хв;
- часті зимові відлиги та пов'язана з ними нестійкість снігового покриву та зимовий поверхневий стік;
- бурхливе сніготанення навесні (тривалість періоду 10 – 20 днів);
- значний дефіцит вологи, що досягає 3,5 – 4,0 мб і б велика інтенсивність випаровування.

Вищезазначені фактори зумовлюють розвиток ерозійних процесів та сприяють утворенню зсувів.

На північ від досліджуваної території на видаленні 500 – 600 м від пр. Д. Яворницького знаходиться р. Дніпро. Рівень води в річці змінювався у

часі за рахунок створення каскадів водосховищ. Його значення на сучасний час при різноманітній забезпеченості наведено у табл. 1.1 Але зміни й коливання рівня в р. Дніпро не позначається на режимі ґрунтових вод на території парку, тому що в 1934 р. уздовж вул. Князя Володимира Великого і Ярослава Мудрого прокладений дренаж, який представляє собою колектор із залізобетонних арочних ланок з перерізом $0,8 \times 1,2$ м. Рівень ґрунтових вод біля дрени у часі скоріше за все сталий.

Таблиця 1.1 – Рівень води в р. Дніпро

Забезпеченість, %	1	5	10	50	90	99
Абс. відмітка води в р. Дніпро	54,37	53,4	53,04	51,86	51,3	51,04

У геоморфологічному відношенні територія парку приурочена до II надзаплавної тераси р. Дніпро, яка на півдні парку уступом заввишки 10 – 12 м переходить у III надзаплавну терасу. Поверхня парку спланована, рівна, абсолютні позначки поверхні змінюються в межах 55,56 – 58,4 м.

За характером поверхневого стоку територія парку практично безстічна, більша частина талих та дренажних вод акумулюється на території парку. У верхній частині терасового уступу є нагірна канава для перехоплення та відведення талих та дощових вод зі схилу та з вул. Старокозацька. Необхідно зазначити, що нагірна канава знаходиться у незадовільному стані, на окремих ділянках зруйнована, скидні колодці засмічені.

У геоструктурному відношенні територія парку знаходиться в межах північно-східного схилу Українського кристалічного щита і приурочена до дніпровської зони глибинних розломів 1-го порядку, що мають субширотний напрямок. Геологічний масив складений магматичними скельними породами архей-протерозою, їх корою вивітрювання та осадовими відкладами четвертинного віку. Скельні породи дислоковані, ускладнені тектонічними зрушеннями, пе-

реважно субмеридіонального простягання. Виділяється густа мережа оперних тектонічних порушень, у зв'язку з чим покрівля скельних порід має дуже нерівну поверхню, з куполами та різкими зануреннями покрівлі.

Територію парку складають насипні ґрунти, алювіальні відклади II і III терас – суглинки, глини, піски, супіски, палеогенові піски та глини, породи кори вивітрювання кристалічних порід: первинні каоліни, дресва, щебінь, глиби кристалічних порід з піщаним і суглинним заповнювачем, які підстилаються слаботріщинуватими гранітами. Ступінь тріщинуватості кристалічних порід змінюється як по площі, так і в розрізі, в зв'язку з чим потужність цієї зони змінюється від декількох метрів до десятків.

Глибина залягання покрівлі гранітів змінюється від 4,5 до 35 м. Поверхня покрівлі характеризується різким перепадом висот, що досягає 30 м на відстані 52 м [1]. Певної закономірності в глибинах залягання покрівлі гранітів на території парку немає. У західній та північно-західній частині парку покрівля гранітів залягає на глибині 4 – 12 м, у центральній частині парку (в районі ставка) на глибині 20 – 43 м і більше, у південно-східній частині – 15 – 20 м. Найбільш глибоке залягання покрівлі відзначається по осі Літній театр – депо дитячої залізниці (35 – 43 м).

Продукти руйнування гранітів представлені первинним каоліном, валуно-щебенистим ґрунтом з піщаним та суглинним заповнювачем. Первинні каоліни зустрінуті лише у районі літнього театру та депо дитячої залізниці, тобто у улоговині поверхні покрівлі гранітів. Глибина залягання покрівлі каолінів у цій зоні 16 – 18 м (абс. відм. 38,2 – 40,2 м). Елювій граніту – валуни з дерев'яно-щебенистим та піщаним заповнювачем, дерев'яно-щебеневі ґрунти з печеним та суглинним заповнювачем зустрінуті повсюдно і часто залягають безпосередньо на гранітах. Глибина залягання елювію змінюється в межах від 2,9 м до 16 м.

Палеогенові відкладення зустрінуті лише у вищевказаній улоговині покрівлі гранітів і представлені кварцево-глауконітовими дрібними та пилюватими глинистими пісками.

Алювіальні відкладення II і III надзаплавної терас мають повсюдне поширення та представлені піщано-глинистими ґрунтами потужністю 2,1 – 10 м. У межах другої надзаплавної тераси алювіальні відкладення перекриті ґрунтово-рослинним шаром та насипними ґрунтами, у межах третьої надзаплавної тераси – лісовими суглинками та супесями, ґрунтово-рослинним шаром та насипними ґрунтами.

У гідрогеологічному розрізі території парку зустрінути кілька водоносних горизонтів:

- підземні води тріщинуватої зони гранітів;
- підземні води кори вивітрювання гранітів;
- водоносний горизонт харківських відкладень палеогену;
- водоносний горизонт алювіальних відкладень та надзаплавної тераси

р. Дніпро.

У зв'язку з тим, що у гідрогеологічному розрізі відсутні витримані за площею роздільні водотривкі шари між водоносними горизонтами існує прямий гідравлічний зв'язок. Основним водоносним горизонтом який визначає гідродинамічну обстановку біля парку, є водоносний горизонт алювіальних відкладень надзаплавної тераси представлений суглинками сірими, зеленувато-сірими та пісками пилюватими та дрібними, а на окремих ділянках – пісками середніми та щебенем граніту з піщаним заповнювачем (флювіогляціальні відкладення). При цьому, водовміщуюча товща неоднорідна як по площі, так і в розрізі. Потік підземних вод спрямований до р. Дніпро.

За результатами буріння рівень ґрунтових вод у межах досліджуваної території станом на лютий 2022р зафіксований: на ділянці II надзаплавної тераси на глибині від 0,0 м до 2,56м (абс. позначки 53,34м – 57,37м); вздовж (пр. Дмитра Яворницького), північної її межі (свердловини № 117, 121, 122, 123) на глибині від 4,04м до 8,5м (абс. позначки 48,58м – 53,54м); на ділянці схилу та III надзаплавної тераси (свердловини № 101-107) на глибині від 2,56м до 4,64м (абс. позначки 57,78м – 58,75м).

За відносний водотрив приймається монолітна зона гранітів, у районі занурення їхньої покрівлі (літній театр) – харківські кварцово-глауконітові глини, у місцях їх розмиву – первинні каоліни. Глибина залягання покрівлі водотриву в середньому змінюється від 12 до 27 м, складаючи 12 – 15 м у центральній частині парку, 15 – 18 м у західній та північно-західній частині та 22 – 27 м у східній та південно-східній частині.

Живлення водоносного горизонту здійснюється за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, поливу газонів, витоків із водонесучих комунікацій та припливу ґрунтових вод з боку високих терас. Розвантаження водоносного горизонту здійснюється в р. Дніпро та частково у горизонтальний дренаж. Крім того, вздовж нижньої частини уступу III надзапавної тераси ґрунтові води височують у вигляді джерел.

За хімічним складом ґрунтові води однорідні – гідрокарбонатно-сульфатного типу, з катіонів переважають іони магнію та кальцію. Мінералізація вод від 0,9 до 1,32 г/дм³. Вода прозора, без запаху та кольору, згідно ДСТУ Б В 2.6 – 145:2010 [2] за вмістом сульфатів ($\text{SO}_4^{2-} = 268,3 - 938,2 \text{ мг/дм}^3$, $\text{HCO}_3^- = 8,8 - 11,8 \text{ мг-екв/дм}^3$) неагресивна до бетону, за водопроникністю неагресивна до бетонів на портландцементі з вмістом мінеральних добавок на шлакопортландцементі. Зміст загального заліза у питній воді 0,1 – 0,25 мг/дм³. За ступенем бактеріального забруднення води не відповідають вимогам до питних вод. За вмістом хлоридів ($\text{Cl}^- = 149,1 - 181,8 \text{ мг/дм}^3$) неагресивна до арматуро-залізобетонних конструкцій при постійному зануренні та при періодичному змочуванні. За водневим показником, сумі сульфатів і хлоридів вода середньоагресивна до металевих конструкцій при вільному доступі кисню.

У центральній частині парку розташований витягнутий із північного заходу на південний схід штучно відритий ставок у бетонному облицюванні глибиною 1,8 – 2,6 м, абсолютна позначка поверхні води у ставку 54,9 м. Площа водної поверхні ставка досягає 16000 – 20000 м². Рівень води у ставці підтримується скиданням дренажних вод з двох насосних станцій і регулюється перепускним колектором.

Для захисту території парку від підтоплення в 1949 р. був споруджений горизонтальний дренаж. Глибина закладення дрен 2,2 – 3,5 м (абсолютні відмітки дна колодязів 52,5 – 54,42 м). Дренажні води у східній частині парку скидаються в дренажну станцію, що розташована біля ставка. Працює вона періодично. Із ставка скидання води здійснюється пропускним устроєм в колектор. При обстеженні встановлено, що більшість оглядових колодязів були затоплені водою. Ефективність дренажу низька із-за замулювання та заростання коріннями. Крім того, на окремих ділянках дренажні споруди та підземні колодязі насосних станцій зовсім зруйновані.

КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



2. ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ТА ФІЛЬТРАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ

Геологічний розріз території обумовлений її тектонікою та геоморфологічною приуроченістю і представлений алювіально-делювіальними суглинистами та супіщаними відкладеннями, які підстилаються середньонижньочетвертинними пісками, що залягають на верхньо-палеогенових ґрунтах, кайнозойських елювіальних утвореннях та скельних породах архей-протерозою. Фізико-механічні та фільтраційні властивості ґрунтів оцінювалися за матеріалами вишукувань минулих років [3 – 7], аналіз та систематизація яких дозволила виділити наступні інженерно-геологічні елементи:

- ІГЕ – 1** Насипний шар – асфальт з щебенистою подушкою в межах пішохідних доріжок, нижче та на вільній від асфальту території суглинок, супісок, пісок перем'яті, темно-сірі, темно-бурі, бурі, з вмістом будівельного сміття (битої цегли, щебня, уламків деревини та ін. За давністю відщипання - ґрунти характеризуються як здежалі. По щільності і складу – неоднорідний.
- ІГЕ – 2** Ґрунтово-рослинний шар – суглинок, темно-сірий, твердий, слабо гумусований. Має поширене розповсюдження.
Суглинок темно-сірий, до чорного, мулистий, водонасичений, від тугопластичної до текучепластичної консистенції, з вмістом органічних сполук, з лінзами і тонкими прошарками піску пилюватого. Має обмежене поширення, зафіксований свердловинами №108, 115, 130 в межах свердловин №107, 120 темно-сірий, бурий, бурового-сірий має специфічний запах.
- ІГЕ – 3** Супісок темно-сірий, водонасичений, піскуватий, текучої консистенції. Поширений в межах свердловини № 125, 126, 128.
Суглинок темно-сірий, водонасичений, від м'якопластичної до текучепластичної консистенції, консистенції, з тонкими прошарками піску пилюватого. Поширений в межах свердловини №110, 113, 119.
- ІГЕ – 4** Суглинок важкий, сірий, жовто-сірий, бурий, зеленувато-сірий водонасичений, від напівтвердого до тугопластичної консистенції, з лінзами піску пилюватого і супіску.
- ІГЕ – 5** Супісок сірий, водонасичений, від пластичної до текучої консистенції, з тонкими прошарками піску.
- ІГЕ – 6** Супісок лесовидний, бурий, жовто-бурий, маловологий, твердої консистенції, з вмістом карбонатів, проявляє просідаючі властивості. В межах дослідної території відсутні.
- ІГЕ – 7** Суглинок лесовидний, жовто-бурий, легкий, маловологий, твердої консистенції, з

вмістом карбонатів. Проявляє просідаючі властивості. В межах дослідної території відсутні.

ПГЕ -10 Супісок лесовидний, жовто-бурий, палево-жовтий, вологий водонасичений, пластичної консистенції, з тонкими прошарками піску пилуватого, просідаючий.

ПГЕ 10 а Супісок лесовидний, жовто-бурий, палево-жовтий, водонасичений, від пластичної до текучої консистенції, піскуватий, не просідаючий.

ПГЕ - 11 Суглинок лесовидний, бурий, бурувато-сірий, бурувато-коричневий, легкий, водонасичений, м'якопластичної консистенції, не просідаючий.

ПГЕ - 12 Супісок лесовидний, палевий, жовто-палевий, водонасичений, від пластичної до текучої консистенції, з прошарками піску, не просідаючий.

ПГЕ - 13 Суглинок сірий, важкий, водонасичений, від тугопластичної до напівтвердої консистенції, піскуватий, в підшві з вмістом жорстви, не просідаючий.

ПГЕ -14 Пісок жовтий, пилуватий, водонасичений, кварцовий, середньої щільний, неоднорідний, з чисельними лінзами та прошарками супіску та суглинку.

ПГЕ -15а Пісок жовтий, дрібний, вологий, кварцовий, середньої щільний, неоднорідний з лінзами супіску та суглинку.

ПГЕ -15 Пісок жовтий, дрібний, водонасичений, кварцовий, середньої щільний, неоднорідний з лінзами супіску та суглинку.

ПГЕ -16 Пісок різнозернистий – від мілкого до гравіюватого, жовто-сірий, бурий, водонасичений, кварцовий, щільний, неоднорідний, з чисельними лінзами та прошарками супісчано-суглинного матеріалу, з включенням жорстви і щебню скельних порід до 30-40%.

ПГЕ -17 Пісок глауконітовий пилуватий, глинистий, зеленувато-сірого кольору, водонасичений, неоднорідний з лінзами та прошарками супіску та суглинку.

ПГЕ 17а Глина глауконітова, зеленувато-сіра, щільна, твердої консистенції.

ПГЕ -18 Дисперсна зона кори вивітрювання кристалічних порід – підзона глинистих продуктів вивітрювання - каолін первинний – суглинок сірий, зеленувато-сірий, напівтвердий з вмістом дресв'яно - щебенистого матеріалу материнських скельних порід до 20-30%.

ПГЕ -19 Дисперсна зона кори вивітрювання кристалічних порід - дресв'яно-щебенистим утвореннями, жовто-сірий, сірий, водонасичений, неоднорідний, з великими уламками граніту з піщано-глинистим та пилувато-глинистим заповнювачем до 30%

ПГЕ -20 Елювій граніту – глибова зона продуктів вивітрювання, представлена щебенисто-глибовими утвореннями, з пилувато-глинистим неоднорідний заповнювачем до

40%.

ІГЕ -21

Скальні породи - пегматити сірі, гнейси, амфіболіти з інтрузіями граніту дрібно та середньозернистого, нерівномірно тріщинуватого.

Коефіцієнти фільтрації водовмісних ґрунтів залежать від літологічного складу інженерно-геологічних елементів, які характеризуються неоднорідністю (частими прошарками пісків, суглинків та супісків), як в вертикальному розрізі, так і по площі. Значення коефіцієнтів фільтрації, встановлені на основі гідрологічних вишукувань виконаних раніше років [3 – 7] та матеріалів дослідно-фільтраційних робіт - «експрес» - наливів (відкачок) [8], наведені в табл. 2.1.

Крім того, значення коефіцієнта фільтрації ІГЕ, були розраховані за різними формулами залежно від гранулометричного складу ґрунтів [9]:

– формула Хазена

$$K = C \cdot d_{ef}^2 (0,7 + 0,03t),$$

– формула Слітхера

$$K = 496 \cdot M \cdot d_{ef}^2,$$

– формула Терцагі

$$K = 2930 \cdot \left[\frac{n - 0,13}{\sqrt[3]{1 - n}} \right] \cdot d_{ef}^2,$$

– формула Козені

$$K = 4000 \cdot \frac{n^3}{(1 - n^2)} \cdot d_{ef}^2,$$

де d_{ef} – діючий діаметр (значення бралися з роботи [8]); C – емпіричний коефіцієнт (800); t – температура води; M – функція пористості; n – пористість у частках одиниці.

Аналізуючи значення коефіцієнтів фільтрації з табл. 2.1, що були отримані за допомогою гідрологічних вишукувань та оцінок за формулами, були прийняті розрахункові значення цих параметрів для кожного інженерно-геологічного елемента.

Таблиця 2.1 – Значення коефіцієнтів фільтрації (м/доб) різних інженерно-геологічних елементів

ПЕ	Опис	Діапазон можливих значень	Джерело					Розраховане за формулою				Розраху- нкове значення	
			[8]	[7]	[1]	[3]	[5]	Хазен	Сліхтер	Терцагі	Козені		
3	Суглинок темно-сірий, до чорного, мулистий, водонасичений, від тугопластичної до текучепластичної консистенції.	0,1 – 1	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,8
5	Суглинок темно-сірий, водонасичений, від м'якопластичної до текучепластичної консистенції.	0,1 – 1	0,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,7
6	Суглинок важкий, сірий, жовто-сірий, бурий, зеленувато-сірий водонасичений, від напівтвердого до тугопластичної консистенції, з лінзами піску пілуватого і супіску.	0,1 – 1	0,2 – 0,5	–	–	0,7	0,3	–	0,5	1,2	0,9	–	0,5
14	Пісок жовтий, пілуватий, водонасичений, кварцовий, середньої щільний, неоднорідний, з чисельними лінзами супіску та суглинку.	0,1 – 2	$\frac{3-6}{3,2}$	1	1,07	$\frac{0,7-1,9}{1,2}$	1,07	–	0,78	3,5	1,2	–	1,2
15	Пісок жовтий, дрібний, водонасичений, кварцовий, середньої щільний.	2 – 10	6 – 8	1,8	2,9 – 4,82	1,1 – 2,5	1,15	9,6	2,04	9,3	3,04	–	2,1
16	Пісок різнозернистий – від мілкого до гравіюватого, жовто-сірий, бурий, водонасичений, кварцовий, щільний, неоднорідний, з чисельними лінзами та прошарками супісчано-суглинкового матеріалу.	10 – 25	10 – 12	11	5,5 – 8	6,7	1,07	–	0,5	2,76	0,61	–	6
17	Пісок глауконітовий пілуватий, глинистий, зеленувато-сірого кольору, водо насичений.	0,1 – 2	0,05 – 0,3	1	0,83	–	–	–	0,28	1,2	0,41	–	0,8
19	Дисперсна зона кори вивітрювання кристалічних порід - дресв'яно-щербенистим утвореннями, жовто-сірий, сірий, водо насичений.	–	3	12	3 – 10	4,5 – 22,8	0,9 – 1,58	–	–	–	–	–	7
20	Елювій граніту – глибова зона продуктів вивітрювання, представлена щербенисто-глибовими утвореннями.	–	–	15	–	4,5 – 22,8	0,9 – 1,58	–	–	–	–	–	9

3. АНАЛІЗ ПРИЧИН ПІДТОПЛЕННЯ ПАРКУ

За геолого-гідрологічними умовами, відповідно до [10], частина території парку яка розташована на II надзаплавній терасі є підтопленою, а ділянка схилу III надзаплавної тераси відноситься умовно до 3 типу за потенційною підтоплюваністю.

Основними причинами високого стану рівня є:

Природні фактори

- приуроченість території до II надзаплавної тераси р. Дніпро з природно неглибоким заляганням рівня ґрунтових вод;
- слабкі ухили поверхні та рівня підземних вод, що ускладнює відтік як поверхневих, так і підземних вод, сприяє акумуляції талих та дощових вод;
- приплив ґрунтових вод з боку більш вищих терас;
- наявність у геолого-літологічному розрізі, у його верхній частині, суглинків, що характеризуються низькою водовіддачею, що ускладнює приплив ґрунтових вод у горизонтальні дрени які покладені на незначну глибину (2,2 – 3,5 м) та характеризуються невисокою ефективністю.

На момент вишукувань та проведення дослідних робіт дренажна насосна станція західної частини парку працювала, а дренажна насосна східної частини парку не працювала. Таким чином можна було побачити наявний вплив або повну відсутність впливу існуючих дренажів.

Про низьку ефективність дрен також свідчить характер поверхні рівня ґрунтових вод, який в східній частині не відображає будь-яких значних відхилень, що неминуче виникають при ефективно працюючому дренажі за рахунок порушення природного режиму ґрунтових вод, а в західній частині, вплив роботи дренажів помітний і складає по водопониженню місцями до 1,5м, але цей вплив менший, ніж слід очікувати від нормально працюючих дренажних систем.

Можливими причинами низької ефективності існуючої розгалуженої системи дренажів може бути:

тривала експлуатація дренажу;
недостатнє заглиблення дрен під рівень підземних вод;
нерегулярне чищення, ремонт та підтримання дренажу в робочому стані;
кольматація дрен (замулювання та заростання бактеріальними водоростями);
руйнування дрен на окремих ділянках;
руйнування деяких оглядових колодязів;
підключення дренажів до скидних трубопроводів із штучного озера, в якому підтримується високий рівень води в наслідок з виходу з ладу існуючих скидних трубопроводів;
незадовільний стан існуючих дренажних насосних станцій та насосного обладнання, яке не забезпечує постійний відтік води з дрен і створює підпір.
незадовільний стан скидного трубопроводу з існуючого штучного озера (самопливний скид відсутній, на момент проведення вишукувальних та дослідницьких робіт з озера відкачували воду насосами).

Штучні фактори

- рясний полив газонів та клумб;
- витoki води з водонесучих комунікацій;
- розташований у центрі парку ставок, довжиною близько 300 м та глибиною 1,8 – 2,5 м, має надто високий сталий рівень наповнення, що створює «баражний» ефект ґрунтового потоку з боку високих терас;
- порушення природного поверхневого стоку талих та дощових вод у процесі інженерної підготовки території, що не забезпечує їх відведення за межі парку.

Вище перелічені процеси створюють несприятливі санітарно-гігієнічні умови на території парку, виможають дерева та чагарники, дитяча залізниця перебуває у незадовільному стані. Подальша нормальна експлуатація парку можлива за умови реконструкції дренажної системи із забезпеченням необхідної норми осушення.

4. МЕТОДИКА МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА РОЗРАХУНКОВА СХЕМАТИЗАЦІЯ

При дослідженні гідродинамічного режиму парку ім. Лазаря Глоби використана програма Visual MODFLOW 2011.1 та чисельна модель геофільтрації, яка представляє собою модель тривимірного потоку підземних вод постійної щільності в пористому середовищі і описується частковим диференціальним рівнянням:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (4.1)$$

де k_{xx} , k_{yy} і k_{zz} – гідравлічні провідності у напрямку координатних осей X , Y і Z ; (L/T); h – шукана функція напору (L); W – одинична витрата потоку (T⁻¹): для вхідного потоку $W > 0$, для вихідного потоку – $W < 0$; S_s – питома ємність пористого середовища (L⁻¹); t – час (T).

Рівняння (4.1) разом з граничними і початковими умовами описує тривимірний нестационарний потік підземних вод в гетерогенному і анізотропному середовищі за умови, що основні напрямки гідравлічних провідностей співпадають з напрямками координатних осей [11 – 15].

Для вирішення рівняння (4.1) в чисельній моделі використовується метод кінцевих різностей, для чого виконується дискретизація області фільтрації прямокутною сіткою на окремі розрахункові блоки (рис. 4.1). В межах кожного блоку існує лише одна точка, яка називається вузловою, і для якої розраховується значення напору.

Параметри сітки визначаються розмірами окремих блоків DEL_R і DEL_C . Колонки блоків нумеруються, починаючи з лівої сторони, рядки пронумеровані починаючи з верхнього краю сітки (в плановому представленні). DEL_R_j – ширина блоків в колонці j . Точно також DEL_C_i – ширина блоків (зверху донизу в плановому представленні) в межах кожного з рядів сітки $NROW$.

Нумерація розрахункових шарів у вертикальному розрізі виконується

зверху донизу.

Рівняння в кінцевих різницях для розрахункових блоків області фільтрації має вигляд:

$$\begin{aligned}
 & CR_{i,j-\frac{1}{2},k} \left(h_{i,j-1,k}^m - h_{i,j,k}^m \right) + CR_{i,j+\frac{1}{2},k} \left(h_{i,j+1,k}^m - h_{i,j,k}^m \right) + \\
 & + CC_{i-\frac{1}{2},j,k} \left(h_{i-1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m \right) + CC_{i+\frac{1}{2},j,k} \left(h_{i+1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m \right) + \\
 & + CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} \left(h_{i,j,k-1}^m - h_{i,j,k}^m \right) + CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} \left(h_{i,j,k+1}^m - h_{i,j,k}^m \right) + \\
 & + P_{i,j,k} h_{i,j,k}^m + Q_{i,j,k} = SS_{i,j,k} \left(DELR_j \cdot DELC_i \cdot THICK_{i,j,k} \right) \frac{h_{i,j,k}^m - h_{i,j,k}^{m-1}}{t^m - t^{m-1}}, \quad (4.2)
 \end{aligned}$$

де $h_{i,j,k}^m$ – напір в блоці i, j, k на часовому кроці $m(L)$; CV , CR и CC – гідравлічні провідності, або провідності в інтервалі між вузлом i, j, k і сусіднім вузлом (L^2/T); $P_{i,j,k}$ – сума коефіцієнтів при напорі, які визначають витрати притока-відтоку в блоці (L^2/T); $Q_{i,j,k}$ – сумарні значення витрат притока-відтоку (L^3/T): $Q_{i,j,k} > 0,0$ – приток, $Q_{i,j,k} < 0,0$ – відтік; $SS_{i,j,k}$ – питома ємність (L^{-1}); $DELR_j$ – ширина блоку j -ої колонки у всіх рядах (L); $DELC_i$ – ширина блоку i -го ряду у всіх колонках (L); $THICK_{i,j,k}$ – вертикальна товщина блоку i, j, k (L); t^m – час на часовому кроці m (T).

Для визначення гідравлічної провідності між вузлами, на відміну від гідравлічної провідності в межах розрахункового блоку, використовується нижній індекс "1/2". Наприклад, $CR_{i,j+\frac{1}{2},k}$ представляє провідність між вузлами i, j, k і $i, j+1, k$.

В умовах стаціонарного потоку ємність постійна, тому права частина рівняння (4.2) прирівнюється до нуля.

Застосування рівняння (4.2) одночасно до всіх блоків модельованої області визначає формування системи рівнянь, рішення якої дозволяє встановити

напір у вузловій точці кожного розрахункового блоку.

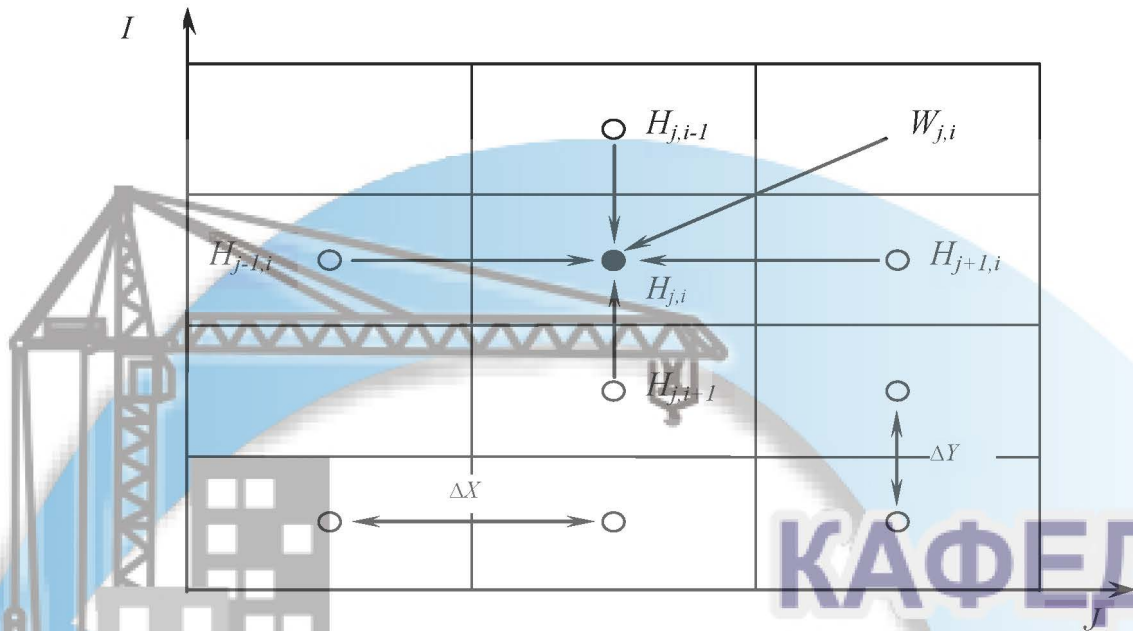


Рисунок 4.1 – Схема до складання та аналізу балансових скінченно-різницевого рівнянь: $H_{j,i}$ – відмітка рівня підземних вод в блоці j, i ; $W_{j,i}$ – величина притоку (відтоку) в розрахунковому блоці j, i ; $\Delta x, \Delta y$ – відстань між центрами блоків відповідно за осями j та i .

Для чисельного рішення рівняння (4.2) приведено до вигляду:

$$\begin{aligned}
 & CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} h_{i,j,k-1} + CC_{i-\frac{1}{2},j,k} + CR_{i,j-\frac{1}{2},k} h_{i,j-1,k} + \\
 & + (-CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} - CC_{i-\frac{1}{2},j,k} - CR_{i,j-\frac{1}{2},k} - \\
 & - CR_{i,j+\frac{1}{2},k} - CC_{i+\frac{1}{2},j,k} - CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} + HCOF_{i,j,k}) h_{i,j,k} + \\
 & + CR_{i,j+\frac{1}{2},k} h_{i,j+1,k} + CC_{i+\frac{1}{2},j,k} h_{i+1,j,k} + CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} h_{i,j,k+1} = RHS_{i,j,k}. \quad (4.3)
 \end{aligned}$$

Це рівняння відноситься до часового кроку t , однак параметр часу опущений для спрощення наведеного виразу.

В рівнянні (4.3) $HCOF_{i,j,k}$ містить $P_{i,j,k}$ і складову ємності, яка визначається напором на поточному часовому кроці (від'ємний знак з'являється через

переніс доданка в ліву частину рівняння). $RHS_{i,j,k}$ містить витрату потоку Q (від'ємний знак з'являється через переніс доданка в праву частину рівняння), і частина питомої ємності, яка помножена на значення напору на часовому кроці $m-1$.

Параметри CV , CR і CC та пов'язані зі складовою ємності параметри $HCOF$ і RHS розраховуються в одному пакеті, який називається внутрішнім пакетом потоку.

При розрахунку вертикальної провідності $VCONT$ в MODFLOW використовуються вертикальні гідравлічні провідності k_{zz} і товщини різних гідрогеологічних одиниць (розрахункових шарів) в межах блоків, а розрахунок провідності виконується за формулою:

$$VCONT_{i,j,k+\frac{1}{2}} = \frac{1}{\frac{(THICK_{i,j,k})/2}{k_{i,j,k}^z} + \frac{(THICK_{i,k,k+1})/2}{k_{i,j,k+1}^z}} \quad (4.4)$$

де $VCONT_{i,j,k+\frac{1}{2}}$ – вертикальна провідність між верхнім та нижнім розрахунковими шарами (1/T), $k_{i,j,k}^z$, $k_{i,j,k+1}^z$, $THICK_{i,j,k}$, $THICK_{i,j,k+1}$ – вертикальні гідравлічні провідності, (L/T), і товщини відповідно верхнього та нижнього розрахункових шарів, (L).

В структурі чисельної моделі при використанні одного пакета параметрів внутрішнього потоку (далі пакета) використовуються пакети характеристик витрат, до яких відносяться живлення в межах модельованої області і на її контурах, інфільтраційне живлення, робота водозабірних і нагнітаючих свердловин, лінійних і площинних дренажних споруд та інше.

Кожен пакет, який містить різні джерела живлення або розвантаження, називається пакетом характеристик витрат, при цьому розвантаження розглядається як від'ємне живлення.

Пакет розподіленого по площі живлення використовується для моделювання поповнення запасів підземних вод, як за рахунок інфільтраційного живлення атмосферними водами, так і надходження на поверхню підземних вод

притоку з інших джерел площинного характеру. В чисельній моделі пакет вимагає двовимірного масиву значень живлення для кожного блоку сітки в горизонтальній площині і додатково двовимірного масиву для розрахункового шару, де поповнення буде застосовуватися для кожного блоку сітки в горизонтальній площині.

За замовчуванням інфільтраційне живлення в пакеті витрат застосовується до самого верхнього активного (водонасиченого) шару моделі в межах кожного вертикального стовпа розрахункових блоків сітки.

Пакет випаровування моделює ефект транспірації рослин, прямого випаровування і просочування на поверхню землі. Для роботи пакета потрібна інформація щодо величини евапотранспірації і глибини залягання рівня ґрунтових вод, нижче якої випаровування незначне.

Пакет заснований на наступних положеннях: коли рівень ґрунтових вод знаходиться на рівні або вище поверхні землі (у верхній частині шару 1), витрата від випаровування ґрунтових вод відбувається при максимальній встановленій величині випаровування; при висоті рівня ґрунтових вод нижче глибини можливого випаровування, або під шаром 1, випаровування з поверхні ґрунтових вод відсутнє.

Для врахування впливу поверхневих водних об'єктів на підземні води в чисельній моделі використовується пакет, який дозволяє реалізовувати в розрахунковій схемі модельованої області роботу граничної умови третього роду. Поверхневі водні об'єкти можуть або сприяти поповненню запасів води в загальній системі підземних вод, не виступаючи в якості зон розвантаження останніх (в залежності від гідравлічного градієнта між поверхнею води в річках і в системі підземних вод), або виступати в якості контурів дренажу підземних вод на ділянці їх гідравлічного взаємозв'язку.

Пакет враховує взаємодію в системі "поверхневі води – підземні води" за рахунок просочування води через шар, що розділяє поверхневий водотік і систему підземних вод. Для роботи пакета в кожному блоці сітки, що містить дану граничну умову, повинна бути задана наступна інформація: відмітка вільної по-

верхні води в річці; відмітка нижньої частини шару просочування (підруслових відкладень), і числовий параметр провідності, який представляє собою опір потоку між поверхневими і підземними водами через розділяючий шар підруслових відкладень.

Значення провідності може бути розраховане за протяжністю і шириною річки в розрахунковому блоці, потужністю підруслових відкладень і вертикальною провідністю матеріалу русла з використанням наступної формули:

$$C = \frac{L \cdot W \cdot K}{M}, \quad (4.5)$$

де C – провідність, (L^2/T); L и W – відповідно протяжність і ширина річки в розрахунковому блоці, (L); M – потужність підруслових відкладень, (L); K – вертикальна гідравлічна провідність матеріалу русла (L/T).

Завдання граничних умов на контурі модельованої області у випадку значного віддалення реальних джерел живлення і/або розвантаження від контурів досліджуваної ділянки (об'єкта) реалізовано в пакеті, який моделює віддалену границю із забезпеченим живленням ($H = Const$). Потік в/із розрахунковий блок від зовнішнього джерела встановлюється пропорційно різниці між напорами в блоці на зовнішньому контурі моделі і напором на контурі забезпеченого живлення і відстані між ними.

Застосування цієї граничної умови доцільно у тому випадку, коли необхідно уникнути зайвого розширення досліджуваної області для досягнення її контурами елементів, які розташовані поза межами моделі і впливають на напори в розрахункових блоках.

Вплив віддаленої границі із забезпеченим живленням на напори в блоках модельованої області враховується завданням на її контурі величини гідравлічної провідності, яка може бути розрахована за формулою:

$$C = \frac{(L \cdot W) \cdot K}{D}, \quad (4.6)$$

де $L \cdot W$ – площа переріза потоку в блоці на зовнішньому контурі модельованої області, (L^2); K – середня гідравлічна провідність водоносного шару в інтервалі

між контуром моделі і джерелом забезпеченого живлення, (L/T) ; D – відстань між контуром моделі і джерелом забезпеченого живлення, (L) .

Пакет дренажу в чисельній моделі використовується для врахування ефекту контурного або площинного водозниження, в результаті якого із водоносного шару видаляється вода у кількості, пропорційній різниці між відміткою рівня води у водоносному горизонті і деякою фіксованою відміткою в межах контуру (площі) водозниження. Пакет підтримує тільки можливість відтоку і його робота не має ніякого ефекту, якщо рівень води у водоносному горизонті знижується нижче заданої фіксованої відмітки на контурі стоку. Для роботи пакета в якості вихідних даних для кожного блоку, який містить цю граничну умову, потрібна наступна інформація: відмітки вільної поверхні води по контуру або площі дрени (при потужності потоку на контурі дренажування, що забезпечує відтік води), провідність на ділянці відтоку, що описує втрати напору між контуром дренажування і системою підземних вод.

Провідність, як числовий параметр, що відображує опір потоку між контуром дренажування і системою підземних вод, розраховується за формулами:

- для провідності на одиницю довжини

$$COND = RCHLNG \cdot LCOND; \quad (4.7)$$

- для провідності на одиницю площі

$$COND = DX \cdot DY \cdot SCOND, \quad (4.8)$$

де $COND$ – провідність, (L^2/T) , $RCHLNG$ – довжина контуру дренажування в кожному осередку сітки, (L) ; $LCOND$ – провідність на одиницю довжини контуру дренажування в кожному блоці сітки, (L/T) ; DX – довжина блоку сітки в X -напрямку, (L) ; DY – довжина блоку сітки в Y -напрямку, (L) ; $SCOND$ – провідність на одиницю площі дренажування в кожному блоці сітки, $(1/T)$.

Головним компонентом часової дискретизації є часовий крок. Часові кроки групуються в розрахункові періоди, причому, вихідні дані можуть змінюватися в межах кожного розрахункового періоду.

Для кожного розрахункового періоду визначається його повна довжина ($PERLEN$), число часових кроків ($NSTP$) і множник для довжини послідовних

часових кроків ($TSMULT$). Таким чином, крок n -го відрізка часу – довжина часового кроку $n-1$ часу $TSMULT$ раз. Тривалість першого часового кроку Δt_1 може бути визначена із наступного виразу:

$$\Delta t_1 = PERLEN \left(\frac{TSMULT - 1}{TSMULT^{NSTP} - 1} \right). \quad (4.9)$$

В нестаціонарних рішеннях тривалість окремих розрахункових періодів встановлюється у відповідності до набору часових змін розрахункових параметрів моделі і пакетів характеристик витрат.

Схематизація гідрогеологічних умов передбачає узагальнення природних умов і діючих факторів у межах досліджуваної території. В результаті будуються спочатку фільтраційна, а потім модельна схеми досліджуваного об'єкта [16, 17].

Основними завданнями схематизації є:

- а) виявлення головних і другорядних чинників, а також факторів, якими можна знехтувати;
- б) визначення найбільш достовірної схеми будови пласта і розрахункових значень параметрів;
- в) обґрунтування необхідності врахування суміжних пластів, гідравлічно пов'язаних з основним;
- г) виявлення зони впливу інженерної споруди в плані та розрізі;
- д) спрощення форм меж та можливих їх змін у часі.

Схематизація гідрогеологічних умов є важливою стадією моделювання геофільтраційних процесів, від якості якої залежить достовірність побудованої моделі та виконаних інженерних прогнозів.

Схематизація при моделюванні має задовольняти таким вимогам:

- передбачати максимально повне, але обґрунтоване врахування гідрогеологічних умов досліджуваної території і діючих на ній факторів, в результаті чого модель за змістом найбільш близько відповідає природній обстановці;
- забезпечувати можливість побудови надійної моделі, яка гарантує рішення задачі з необхідною точністю;

- зберігати мобільність методу і забезпечувати можливість корегування моделі, а також внесення доповнень в процесі набуття нових фактів щодо об'єкта досліджень;

- виконувати моделювання при дотриманні заданої точності рішення відносно простими способами і в економічно ефективні терміни.

Процес схематизації гідрогеологічних умов складається з двох етапів. Перший етап включає спрощення природних умов і складання фільтраційної схеми. Вона являє собою спеціальну гідрогеологічну карту або розріз, на яких умовними знаками показано всі гідродинамічні особливості досліджуваного об'єкта: а) розміри досліджуваної області та конфігурація її меж; б) будова пласта і значення розрахункових параметрів; в) типи граничних умов і прийняті закони їх трансформаційних змін у плані і розрізі; г) фактори прогнозу і їх зміна за розрахунковий час.

При цьому відзначається достовірність усіх елементів схеми і виділяються ті з них, які будуть піддаватися на наступному етапі подальшій схематизації й уточненню. На основі загального гідрогеологічного аналізу встановлюють можливі діапазони зміни параметрів і граничних умов, що будуть використовуватися як критерії фізичної правдоподібності при побудові моделі та коригуванні її оберненими задачами.

Другий етап схематизації полягає в подальшому спрощенні гідрогеологічних умов відносно до вибраного методу моделювання, прийнятого типу моделі (суцільна, дискретна і т.п.) і способу її побудови та обґрунтування (методом факторно-діпазонної оцінки або оберненими задачами в стаціонарній або не-стаціонарній постановці). На цьому етапі уточнюється структура моделі, гідродинамічна роль границь, види водообміну і їх інтенсивність, розподіл параметрів за площею. Завершується етап побудовою модельної гідродинамічної схеми. Вона будується в тому ж масштабі, що і фільтраційна схема, умовними позначеннями показуються всі елементи моделі та їх відповідність фільтраційній схемі. Прийняті спрощення аналізуються й оцінюються. Так обчислюються похибки методу моделювання, оцінюється сумарний вплив неврахованих у моделі

факторів, за критеріями гідрогеологічної правдоподібності оцінюються внесені в модель уточнення і т.п. Оцінка якості моделі є першим кроком в обґрунтуванні достовірності гідрогеологічних прогнозів, оскільки вона дозволяє неформально оцінити якість використаної інформації (що важливо для подальшого прогнозування), а величини похибки входять як складові в загальну оцінку результатів рішення обернених і прогнозних задач.

Розрахункова схематизація досліджуваної території виконана відповідно до особливостей геологічної будови, характеру залягання водовмісних і водотривких порід, їх гідродинамічних характеристик, наявності гідравлічного взаємозв'язку між підземними і поверхневими водами, характеру живлення і розвантаження водоносних горизонтів як за площею, так і на їх контурах.

Границі модельованої території встановлені у відповідності до меж парку ім. Лазаря Глоби та необхідності врахування припливу підземних вод зі сторони III надзаплавної тераси, їх відтоку в сторону р. Дніпро та дренаючого впливу метрополітену якій будується на просп. Д. Яворницького.

При визначенні розмірів модельованої області до уваги приймалися необхідність встановлення особливостей живлення та розвантаження водоносного горизонту алювіальних відкладень, впливу техногенних втрат із водонесучих комунікацій та поглинаючої дії існуючих дренажних споруд.

З урахуванням просторового положення вказаних елементів розміри модельованої області визначені в межах території 1200 x 900 м відповідно у широтному та меридіональному напрямках при загальній площі моделі 1080 тис. м² (рис. 4.2).

Розбивка області моделювання на розрахункові блоки проведена по ортогональній сітці. Вісь x проведена майже паралельно р. Дніпро, а вісь y – співпадає з напрямком руху підземних вод.

Для детального відображення конфігурації проєктованих гідротехнічних споруд на території парку, геометрії техногенних джерел живлення та дренажу ґрунтових вод, а також гіпсометрії поверхонь породних шарів і рівнів води в алювіальному водоносному горизонті, модельована область представлена:

сіткою розрахункових блоків розмірами 3,0 x 3,0 м;
кількість розрахункових блоків (вузлів) – 400 × 300 (12 000од.);
кількість активних блоків (вузлів) – 74682од (площа 672,138 тис.м²).

Необхідно відзначити, що створена модель у плані є прямокутником, кути якого задані в місцевих координатах, (x,м – y, м):

57800м-26800м;

57800м-27700м;

59000м-27700м;

59000м-26800м;

при цьому система висот Балтійська.

Структура моделі у відповідності до геолого-літологічної будови водовмісних відкладень алювіального водоносного горизонту, в підшві якого залягає монолітна зона гранітів (у районі їх занурення харківські кварцово-глауконітові глини), представлена двошаровою товщею (рис. 4.3). У відповідності до прийнятої структури водовмісні різності порід представлені наступним

чином:

– 1 шар (водоносний) – насипний та ґрунтово-рослинний шар, слабопроникні верхньо-, середньо-, нижньочетвертинні лесовидні супіски і суглинки ІГЕ-1...13, які плащоподібно покривають усю площу парку, сумарною потужністю від 7 до 19 м;

– 2 шар (водоносний) – піски різнозернисті ІГЕ-14...17, дисперсна зона кори вивітрювання кристалічних порід та елювій граніту ІГЕ-18...20, які залягають на абсолютних відмітках 44,2...52,1 м; в межах досліджуваної території розповсюджені повсюдно.

При відтворенні структури модельованої області використані дані інженерно-геологічних та гідрогеологічних вишукувань, виконаних в різні роки [1, 3, 5 – 8].

В якості гідродинамічних границь на зовнішніх контурах моделі приймали наступні умови:

на півдні був прийнятий приплив підземних вод зі сторони III надзапальної тераси, граничні умови I роду ($H = Const$);

на півночі – відтік до суміжної території в сторону р. Дніпро, віддалені границі із забезпеченим живленням які відповідають границям III роду згідно з прийнятою гідродинамічною схемою досліджуваної території;

на сході – абсолютні відмітки рівня ґрунтових вод, граничні умови I роду; на південному заході (на ділянці довжиною 170 м) границя I роду.

Зовнішні границі 1-го розрахункового шару співпадають з границями 2-го розрахункового шару.

Величини гідравлічних напорів на контурах моделі встановлені за даними розвідувального буріння у відповідності до відміток рівнів води в межах досліджуваних ділянок, що пов'язано з визначальним впливом на її гідродинамічний режим особливостей геоморфологічної будови (табл. 4.1).

Абсолютна відмітка рівня підземних вод на зовнішніх границях обрана за результатами інтерполяції значень рівня підземних вод в найближчих до границь свердловин.

Величини водопровідностей на зовнішніх контурах розрахункових шарів визначені виходячи з осереднених значень фільтраційних характеристик та потужностей літологічних різностей, поширених в межах розрахункових ділянок модельованої області.

В умовах, що розглядаються, внутрішніми гідродинамічними границями моделі є поверхневі водоймища (ставок), інфільтраційне живлення за рахунок атмосферних опадів і техногенних втрат на ділянках зрошування рослин і водонесучих комунікацій, горизонтальні дрени та ствол метрополітену. При цьому, ставок на моделі відображується граничною умовою I-го роду, відмітка якої відповідає абсолютній позначки поверхні води в ньому – 54,95 м. Згідно з положенням контурів дренажування відмітки рівнів води в дренах змінюються від 38,1...56,2 м при гідравлічній водопровідності 0,4...10 м²/доб. Величина техногенного живлення в межах досліджуваної території прийнята рівною 140 мм/рік.



Рисунок 4.2 – Кінцево-різницева дискретизація модельованої області: 1, 2 – відповідно зовнішні гідродинамічні границі з граничною умовою I та III роду; 3 – ставок який заданий граничною умовою I роду; 4 – горизонтальні дрени (III род); 5 – спостережувальні (розвідувальні) свердловини; 6 – височування (III род); 7 – перетікання (III род)



Рисунок 4.3 – Структура модельованої області у вертикальному розрізі, а – широтний напрямок, б – меридіональний напрямок: 1 – границі розрахункових шарів; 2, 3 – зовнішні і внутрішні гідродинамічні границі; 4 – горизонтальні дрени (4* – метрополітен); 5 – спостережувальні (розвідувальні) свердловини; 6 – височування (III род); 7 – перетікання (III род)

Таблиця 4.1 – Параметри гідродинамічних границь на контурах розрахункових шарів модельованої області

Гідродинамічна границя	Абсолютні відмітки рівня, м	Водопровідність, м ² /доб
I роду:		
– на півдні	58,0...63,0	51...75
– на сході	53,5...58,0	21...68
– на південному заході	59,0...63,0	32...60
III роду:	51,4	0,008...0,310

Таблиця 4.2 – Розподіл інфільтраційного живлення протягом року

Місяці	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Разом
Опади													
мм	86	53	32	59	79	114	113	85	49	55	35	45	755
Інфільтрація													
мм	18	39	27	20	13	5	-	6	-	-	-	4	132
% від кількості опадів	21	74	84	34	16	4	-	7	-	-	-	9	17,5

Необхідно відзначати, що основну прибуткову частину водного балансу ґрунтових вод дослідної території становить інфільтраційне живлення за рахунок атмосферних опадів. На величину живлення підземних вод впливає нерівномірний розподіл опадів у багаторічному розрізі, протягом року, а також їх вид. Зимові опади сприяють значному накопиченню вологи на поверхні землі, а коли температура підвищується, то відбувається інтенсивне формування поверхневого стоку та інфільтрація.

За результатами досліджень зарубіжних [18] та вітчизняних [19] авторів на балансовій станції в Гессені (центральна частина Німеччини) на глибині 2 м

та станціях Асканійська, Інгулецька, Шкодогорська, Канзаська встановлено, що сумарна інфільтрація в холодний період року більше, ніж в теплий (табл. 5.3).

Таблиця 4.3 – Результати лізиметричних досліджень Гессенської станції

Ґрунт	% від кількості опадів за періодами		Середнє значення у % від кількості опадів за рік
	зимовий	літня	
Пісок	96	55,5	72
Пилуватий ґрунт	71,3	24,4	44,2
Чорнозем	72,0	27,0	46,0

Для досліджуваної зони встановлено, що залежність між величинами інфільтрації й атмосферними опадами за період листопад-березень в інтервалах глибин залягання ґрунтових вод від 0,5 м до 5,0 м для зони аерації, що представлена лесовими суглинками, близька до прямолінійної (рис. 4.4), а коефіцієнт кореляції змінюється з глибиною від 0,75 до 0,25 (табл. 4.4), тобто ступінь зв'язку між інфільтрацією та кількістю опадів зменшується з глибиною або збільшенням потужності зони аерації [20].

При визначенні інфільтраційного живлення дослідної території необхідно враховувати тривалість маловодних і багатоводних років. Застосування методів статистичного аналізу багаторічних даних інструментальних спостережень за стоком річок, атмосферними опадами і температурою повітря дозволяє виділити періодичні і циклічні складові режимоутворюючих факторів і підземних вод. Аналіз багаторічної мінливості сум річних опадів за останні 50 років (рис. 4.5) вказує на тенденцію поступового збільшення їх величин до 2006 року [21], наступного циклу до 2015 року очікується їх зменшення, а з 2016 року – наступне збільшення.

У центральній Україні майже повсюди зволоження здійснюється за рахунок прямої інфільтрації і конденсації, особливо на ділянках більш глибокого залягання ґрунтових вод під покривом слабо проникних лесових порід.

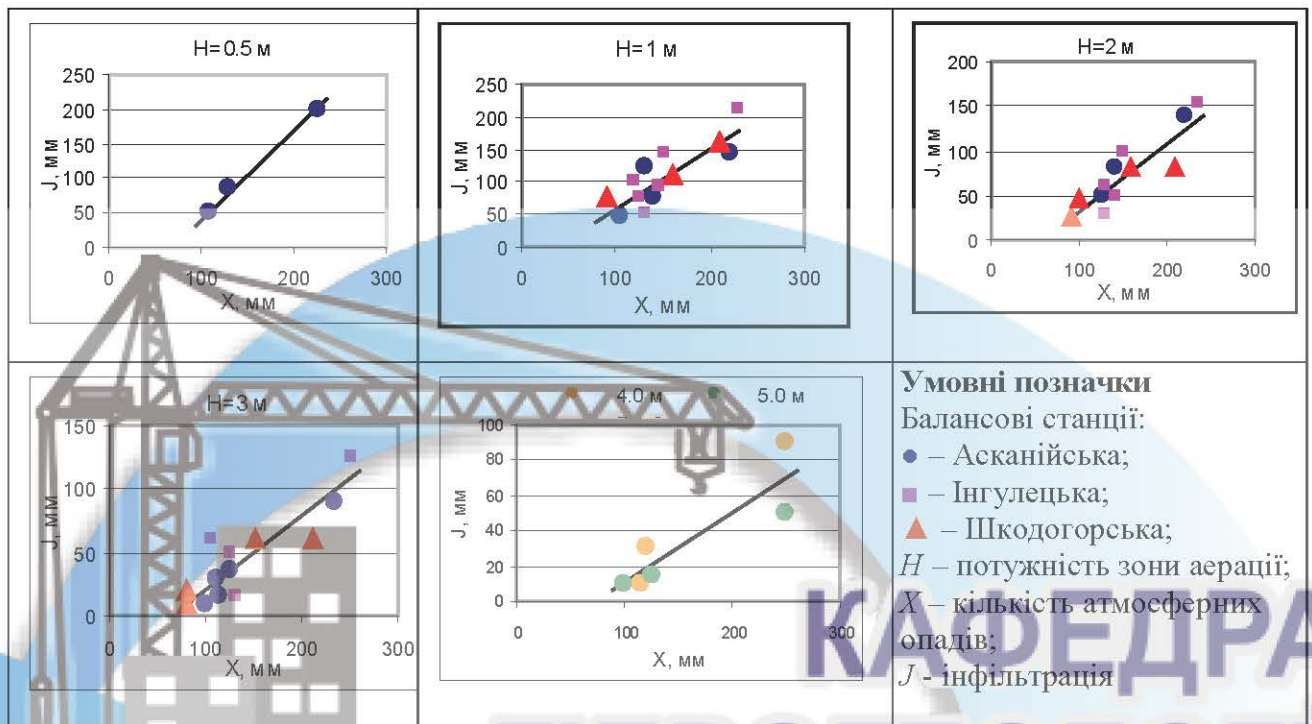


Рисунок 4.4 – Графіки залежності інфільтрації від кількості атмосферних опадів в період з листопада по вересень

Таблиця 4.4 – Зміни кореляційного зв'язку з глибиною

Глибина до рівня підземних вод, м	Кількість опадів, мм/рік	Інфільтрація, мм/рік	Коефіцієнт кореляції
0,5-1,0	170	128	0,75
2,0	170	94	0,55
3,0	170	51	0,3
4,0-5,0	170	43	0,25

При аналізі розподілу інфільтраційного живлення за площею і глибиною, розглядаються ландшафтні гідрогеологічні комплекси (ЛГТК) – це ділянки, на які поділено простір поширення першого від поверхні водоносного горизонту, що відображають певні варіанти будови зони аерації, водовмісної та водотривкої товщ, і значною мірою обумовлюють особливості живлення і розвантаження ґрунтових вод та колекторські властивості шарів гірських порід, де відбувається їх формування. ЛГТК займають верхній шар зони активного водообміну.

Їх верхньою границею служить денна поверхня, а нижньою – поверхня перших регіональних водотривів.

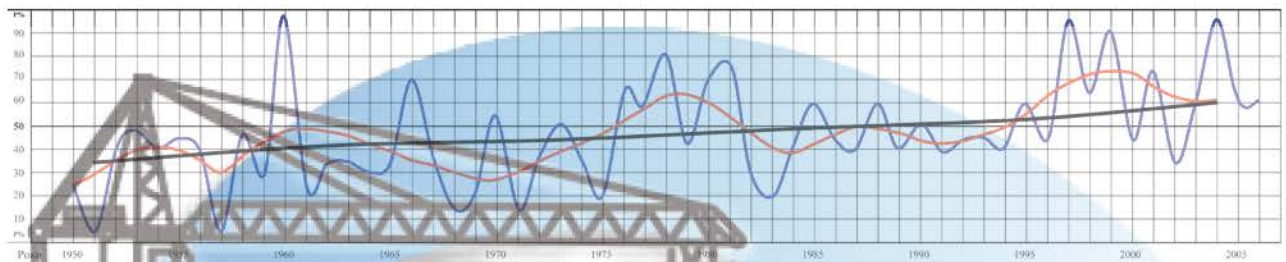


Рисунок 4.5 – Розподіл кількості атмосферних опадів у багаторічному розрізі за даними гідрометеорологічної станції м. Дніпро (синім кольором відображена кількість атмосферних опадів, чорним і красним – лінійний і нелінійний тренд, відповідно)

На території м. Дніпро поширені ЛГТК двох типів 5а (9) і 4а (7). Величини інфільтраційного живлення, отримані за результатами аналізу інформаційних зведень [21], наведені у табл. 4.5 і представлені на рис. 4.6.

Відповідно до результатів вищенаведених досліджень з урахуванням геоморфологічної будови, літологічного складу, глибини залягання рівня ґрунтових вод й місцезнаходження джерел техногенного навантаження створені числові масиви природного й техногенного інфільтраційного живлення підземних вод в межах території досліджень. Це дозволяє в процесі рішення обернених задач з'ясувати частку впливу природної та техногенної складової на формування гідродинамічного режиму підземних вод території досліджень.

Масив поверхні землі складено на основі топографічної карти та геодезичних вимірювань. Абсолютні відмітки поверхні землі використовуються програмно при визначенні випаровування з поверхні підземних вод. Поверхня парку має відмітки 32,4 – 75,6 м, при цьому максимальні відмітки характерні для III надзаплавної тераси (рис.4.7). Загальне зниження території відбувається в напрямку до р. Дніпро.

Таблиця 4.5 – Величини інфільтраційного живлення (W , мм)

№	Породи зони аерації	Водо-віддача, μ	Інтервал глибин, м	Роки, що відповідають 50% забезпеченості		Роки, що відповідають 95% забезпеченості	
				Рік	W , мм	Рік	W , мм
1	суглинок	0,05	2,4-3,3 (0-3)	1993	57	1976	36
2	суглинок	0,05	3,6-4,4 (3-5)	1986	68,5	1976	37
3	суглинок	0,05	3,9-4,6 (3-5)	1986	63	1991	29
4	суглинок, пісок	0,075	3,2-3,9 (3-5)	1986	157	1991	104
5	суглинок, пісок	0,15	6,7-7,3 (5-10)	1986	63	1991	37
6	суглинок	0,05	4,7-5,2 (3-5)	1981	90	1986	50
7	суглинок	0,05	1,7-2,4 (0-3)	1981	52	1986	29
8	суглинок	0,05	4,8-5,2(3-5)	1978	74	1976	36
9	суглинок	0,05	4,0-4,7 (3-5)	1971	47	1976	29
10	суглинок	0,05	5,0-5,6 (5-10)	1983	52	1986	30
11	суглинок	0,05	3,6-4,2 (3-5)	1968	57	1976	37
12	суглинок	0,05	4,8-5,2 (3-5)	1978	62	1975	28
13	суглинок	0,05	8,0-8,7(5-10)	1969	19	1976	9
14	суглинок	0,05	2,8-3,2 (0-3)	1986	68	1975	35

Абсолютні відмітки покрівлі й підшови розрахункових використовуються для визначення потужності водоносних горизонтів та їх фільтраційних властивостей. При створенні масивів було використано геолого-літологічні колонки свердловин та гідрогеологічні розрізи. Покрівля першого розрахункового шару співпадає з поверхнею землі, другого – знаходиться на відмітках – 49,1 – 60,2 м (рис. 4.7). Абсолютні відмітки підшови другого розрахункового шару змінюються від 35,5 м до 51,4 м.

При оцінці параметрів гідравлічної провідності для розрахункових шарів використані дані виконаних в різні роки вишукувань. Згідно цим даним значення коефіцієнтів фільтрації наведені в табл. 2.1.

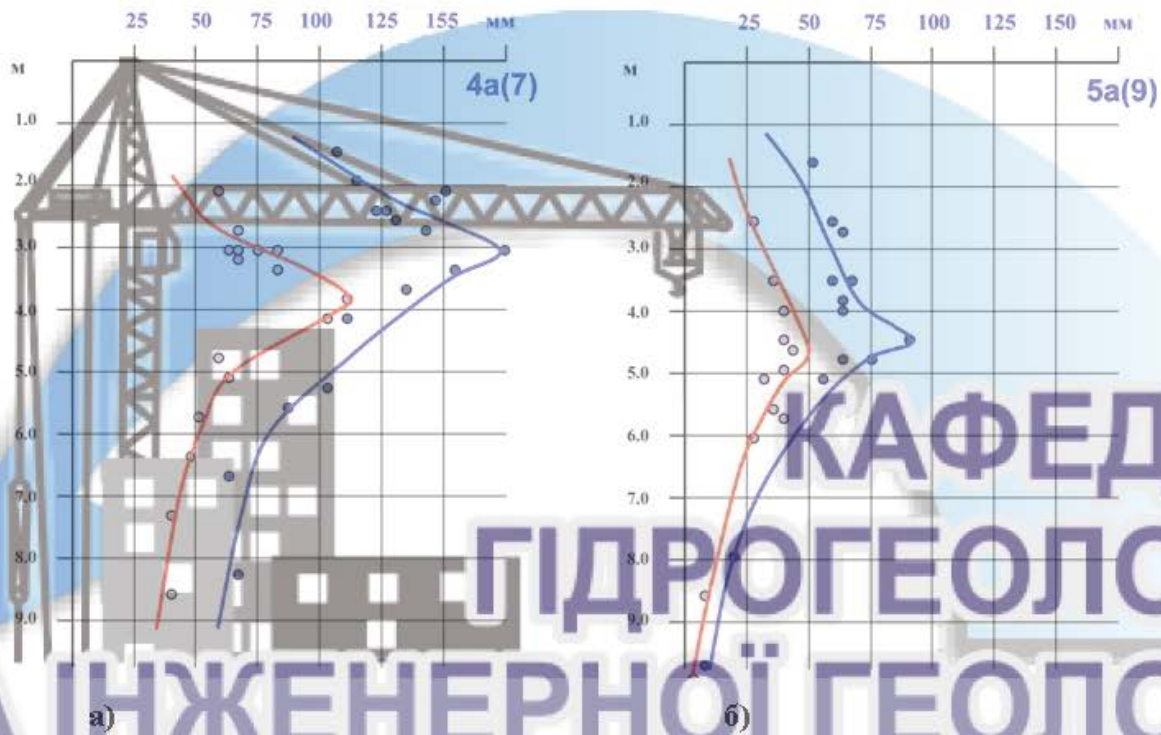


Рисунок 4.6 – Залежність величини інфільтраційного живлення у роки п'ятдесяти відсоткової (синій колір) та дев'яносто п'яти відсоткової (червоний колір) забезпеченості від потужності зони аерації та її літологічного складу: а) суглинки; б) суглинки і пісок

З урахуванням цих значень величина розрахункового коефіцієнта фільтрації для кожного шаруватого розрахункового шару визначалася за формулами:

– при фільтрації підземних вод паралельно шарам

$$\kappa = \frac{\kappa_1 m_1 + \kappa_2 m_2 + \kappa_n m_n}{m_1 + m_2 + m_n};$$

– при фільтрації підземних вод нормально до шарів

$$\kappa = \frac{m_1 + m_2 + m_n}{m_1/\kappa_1 + m_2/\kappa_2 + m_n/\kappa_n}.$$

де κ_i і m_i – коефіцієнт фільтрації і потужність i -ої верстви розрахункового шару, відповідно, м/добу і м.

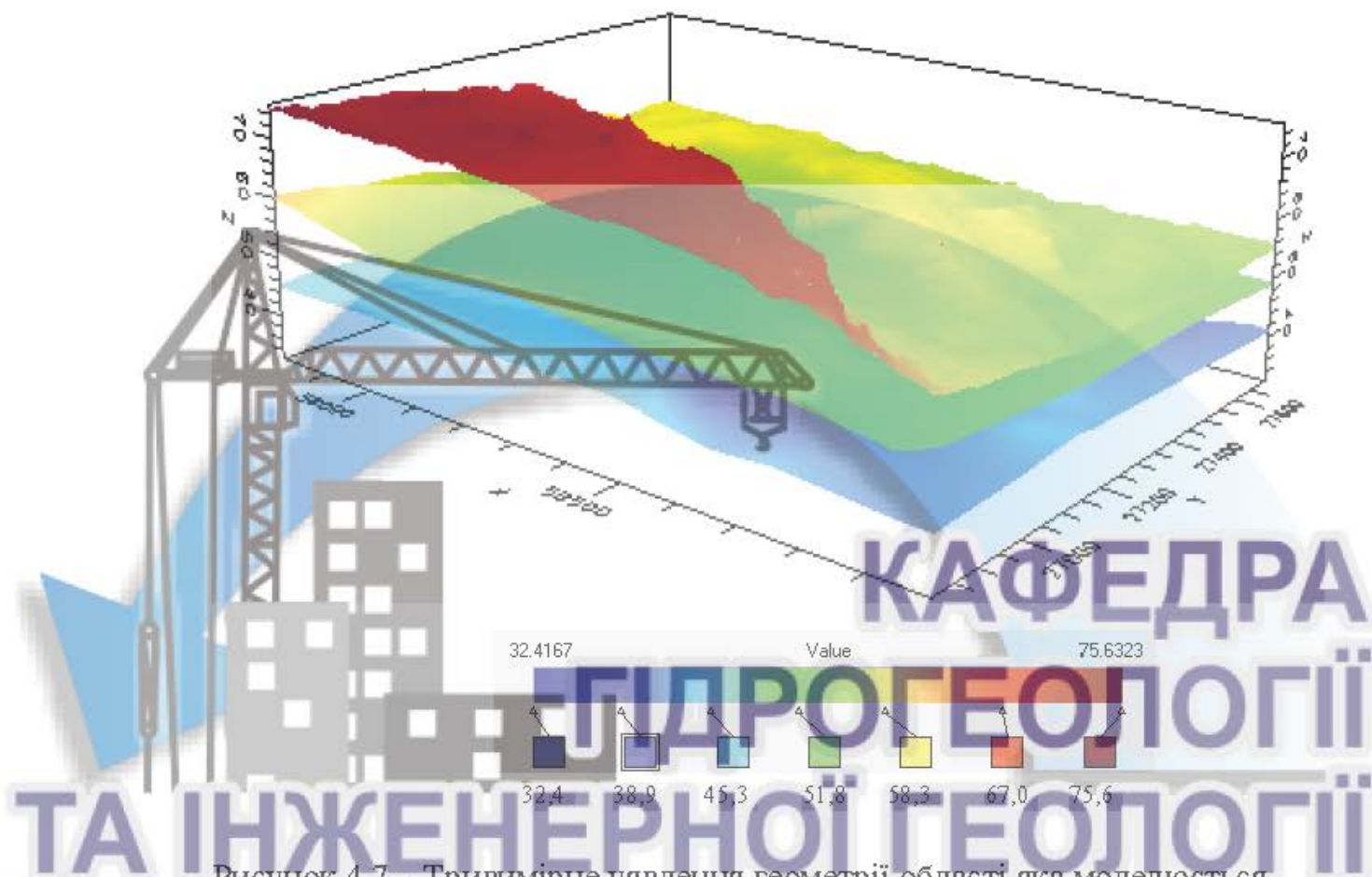


Рисунок 4.7 – Тривимірне уявлення геометрії області яка моделюється

Прийняті до розрахунку значення гідравлічних провідностей, які встановлено за цими формулами у програмному середовищі Excel, наведено на рис. 4.8. Враховуючи значний розкид значень гідравлічної проникності водовмісних літологічних різностей, а також відсутність чітко вираженої зональності фільтраційних характеристик у межах розрахункових шарів, їх величини задані локально шляхом інтерполяції розрахованих коефіцієнтів фільтрації по території парку за методом Гауса-Крюгера. При цьому значення коефіцієнта водовіддачі шарів визначалося залежно від коефіцієнта фільтрації за формулами:

– для пісків

$$\mu = 0,117\sqrt{k},$$

– для інших ґрунтів

$$\mu = 0,13 + 0,07 \lg k.$$

Коефіцієнт пружної ємності порід визначався згідно з рекомендаціями [22] за формулою (табл. 4.7).

$$\eta^* = \gamma_e \left[\frac{n}{E_e} + (1-n)a \right],$$

де γ_e – густина води; n – пористість; E_e – об'ємний модуль Юнга (для чистої води $2 \cdot 10^3$ МПа); a – коефіцієнт стисливості породи.

Прийняті до розрахунку значення гідравлічних провідностей, які встановлені відповідно до структури чисельної моделі і уточнені за результатами вирішення зворотних задач, наведені на рис. 4.8 і 4.9.

Таблиця 4.7 – Розрахункові фільтраційні параметри чисельної моделі

Розрахунковий шар	Фільтраційні параметри	
	Коефіцієнт гравітаційної водовіддачі, μ , дол. од.	Коефіцієнт пружної ємності, η^* , 1/м
Шар 1	0,1	0,001
Шар 2	0,15	0,0001

Початкові рівні алювіального водоносного горизонту, представленого суглинками сірими, зеленувато-сірими та пісками пилюватими та дрібними, а на окремих ділянках – пісками середніми та щебенем граніту з піщаним заповнювачем, встановлені за даними розвідувального буріння [8] станом на грудень 2021 р. – березень 2022 р. і представлені у вигляді карти гідроізогіпс на рис. 4.10. При побудові карти гідроізогіпс приймалися середні значення рівня ґрунтових вод за означений період, зміна якого з часом наведена в додатку Г.

Для визначення сумарного випаровування з дзеркала ґрунтових вод і транспірації рослинністю (евапотранспірації) використовується формула С.Ф. Авер'янова:

$$W_{evap} = W_0 \cdot \left(1 - \frac{Z}{Z_{evap}} \right)^n,$$

де W_0 – інтенсивність випаровування при високому рівні залягання ґрунтових вод (для території ділянки прийнята приблизно 200 мм/рік; практично її зна-

чення можуть досягати інтенсивності випаровування з поверхні землі), м/добу;
 z – глибина до рівня води, м; z_{evap} – критична глибина до води, нижче якої випаровування можна не враховувати, м; n – емпіричний показник ступеня прийнято $n \approx 2$, може змінюватися в межах $1 \leq n \leq 3$. Критичну глибину залягання рівня підземних вод для території ділянки прийняли 3 м. За літературними даними її значення може складати 3 – 5 м. У блоках, де розташовані водойми значення випаровування дорівнювали нулю.

Величина випаровування в моделі задавалась рівною від 450 мм/рік для схилених ділянок, газонів та скверів, 0 мм/рік – в межах будівель та асфальтованих покриттів.

Параметр взаємозв'язку підземних вод з існуючими дренажами і ставком залежить від фільтраційних параметрів лицьовального матеріалу дна ставка, його стану (ступеня його руйнування) і ступеня розкриття ставком водоносного горизонту, а також від площі водойми у блоці. Цей параметр розраховували за залежністю:

$$DL = \frac{k_0}{m_0} \cdot F_0,$$

де k_0 , m_0 – коефіцієнт фільтрації і потужність лицьовального матеріалу, м/добу, м; F_0 – площа водойми у розрахунковому блоці, м².

Для лінійних водотоків, каналів і дренажів він розраховується за залежністю для недосконалого водотоку:

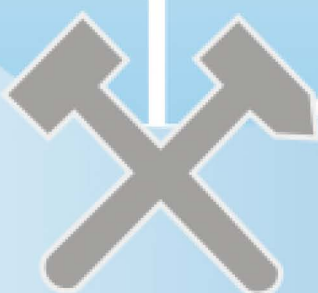




Рисунок 4.8 – Діапазон значень коефіцієнт фільтрації (м/доб) в першому розрахунковому шарі моделі

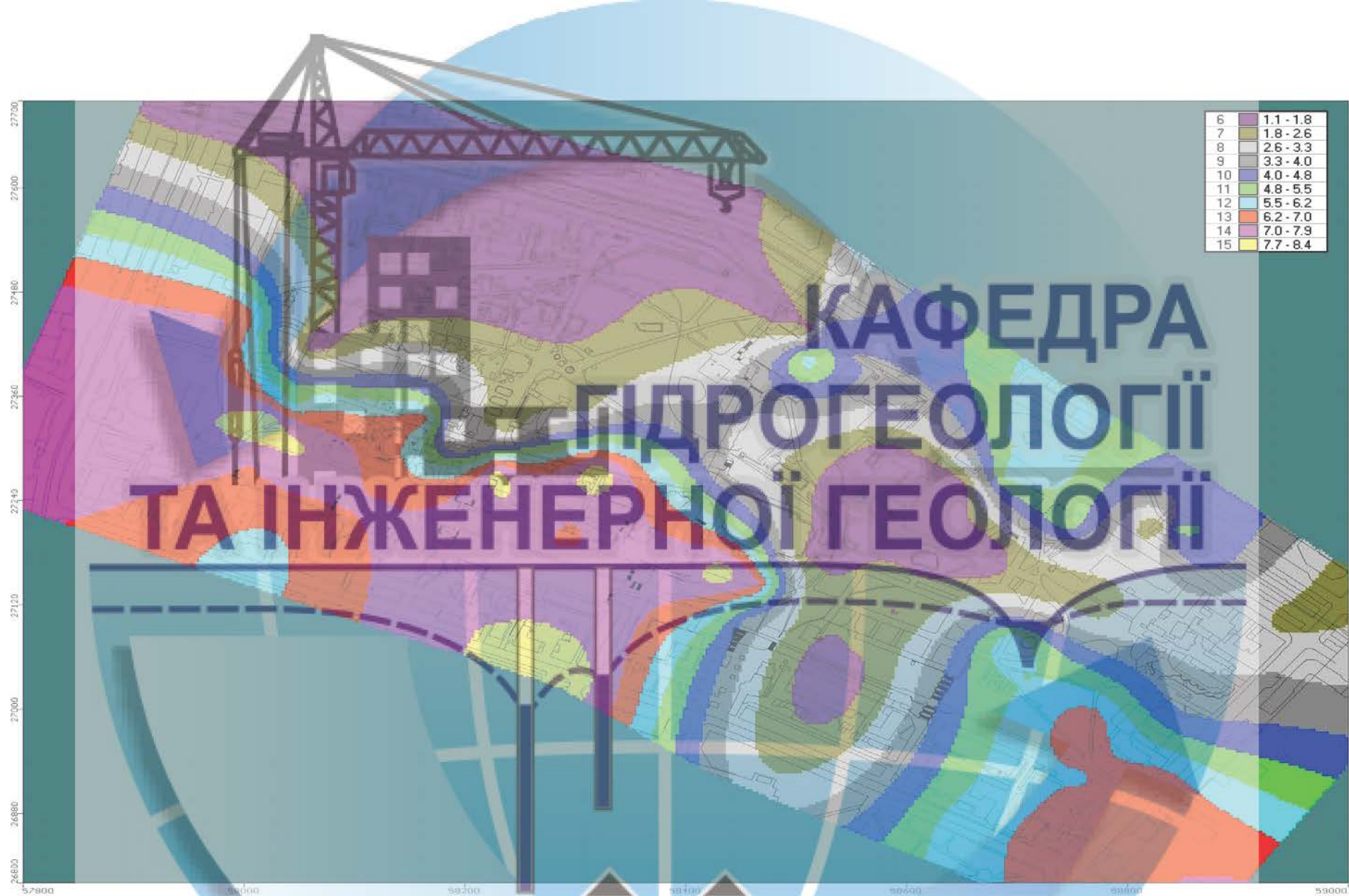


Рисунок 4.9 – Діапазон значень коефіцієнт фільтрації (м/доб) в другому розрахунковому шарі моделі



Рисунок 4.10 – Карта гідроізогіпс алювіального водоносного горизонту, яка побудована за даними розвідувального буріння, станом на лютий 2022 р, абс. відм., м

$$DL = \frac{TS \cdot N}{L + \Delta L},$$

де N – довжина водотоку в блоці, м; L – путь фільтрації від водотоку до центру блока, м; TS – водопровідність водовмісних порід, м²/доб; ΔL – недосконалість дрен, ставків, м. Для визначення ΔL в однорідному пласті можна використовувати залежність: $\Delta L = 0,44 m$, m – потужність водоносного горизонту [23].

Так, недосконалість ΔL дрен, дно яких розкриває піски при потужності водоносного комплексу від 14 м до 18 м, буде складати від 6,2 м до 7,9 м. DL дрен при умові, що вони не замулені, при водопровідності водоносного комплексу 31 м²/добу і ΔL від 6,2 м до 7,9 м буде складати біля 39 – 50 м²/доб.

Там, де поблизу дрен і ставка були дані про рівні підземних вод, то параметри взаємозв'язку підземних вод з дренажем і водоймами підбирали на моделі на їх основі.

КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



5. РЕЗУЛЬТАТИ РІШЕННЯ ОБЕРНЕНОЇ ЗАДАЧІ

За результатами рішення зворотних задач встановлено, що досягнення розрахунковими рівнями води положення, близького до фактично зафіксованого за даними виконаних в грудні 2021 р. – березні 2022 р. гідрогеологічних вишукувань (рис. 4.8), відбувається при значеннях фільтраційних характеристик водовмісних порід, наведених на рис. 4.7 и табл. 4.7.

Збіжність чисельної моделі оцінювалась за величиною нев'язки балансу, яка за даними рішення зворотної задачі не перевищує 0,001 % і підтверджує коректність завдання в моделі розрахункових фільтраційних характеристик, зовнішніх і внутрішніх гідродинамічних границь та їх параметрів.

Згідно даним калібровки, виконаної за результатами рішення зворотних задач, відхилення розрахункових відміток рівнів води в алювіальному горизонті від фактично встановлених не перевищує 0,3 м (рис. 5.1).



Рисунок 5.1 – Результати калібровки моделі

Слід відзначити, що отримане відхилення розрахункових рівнів від фак-

тично встановлених характерно для свердловин які знаходяться в межах дії старих горизонтальних дрен і не впливає на загальну точність чисельного рішення. Встановлена за результатами виконаних розрахунків стандартна похибка оцінки складає 0,034 м. Значущість статистичних оцінок характеризується значенням $R^2=0,998$ і її нормованою величиною 1,872 %.

Стосовно до умов, що розглядаються, наведені оцінки свідчать про задовільну збіжність результатів моделювання, враховуючи профільну фільтраційну неоднорідність відкладів лесового комплексу та невитриманий характер просторового залягання водовмісних та водотривких порід.

Згідно результатам розрахунків формування гідродинамічного режиму алювіального горизонту, представленого суглинками сірими та пісками пілуватими та середніми, відбувається за рахунок витрат на границях, інфільтрації атмосферних опадів і техногенного живлення на ділянках розташування водонесучих комунікацій (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Балансові складові модельованої області за результатами вирішення зворотних задач, м³/доб

Складові балансу	Живлення	Розвантаження
Витрати, гранична умова I – роду	2810,8	-845,5
Витрати, гранична умова III – роду	212,06	-55,848
Інфільтраційне живлення	281,68	–
Дрени	–	-2244,9
Евапотранспірація	-	-158,33
Всього	3304,54	3304,578
Похибка		0,038
Нев'язка, %		0,001

Аналіз балансових складових показує, що в загальному живленні терито-

рії парку переважають витрати на південній, східній та південно-західній границі, витрати на північній границі приблизно збігаються з інфільтраційним живленням. Так, за даними рішення зворотних задач величина інфільтраційного живлення на цій ділянці рівняється $281,68 \text{ м}^3/\text{доб}$, витрати на півночі – $212,06 \text{ м}^3/\text{доб}$. При цьому витрати на інших границях модельованої ділянки (переважно зі сторони III тераси) складають $2810,8 \text{ м}^3/\text{доб}$ та перевищують інфільтраційне живлення в 10 разів.

Розвантаження ґрунтових вод у межах області яка моделюється в основному відбувається в існуючі дренажі та складає $2244,9 \text{ м}^3/\text{доб}$. Ця величина більш ніж у 2 рази перевищує сумарне розвантаження на граничних умовах та евапотранспірацію. За результатами моделювання також встановлено, що здебільшого розвантаження підземних вод відбувається у ствол метрополітену, який проходить під пр. Д. Яворницького. Це добре видно з рис. 5.4 де глибина залягання рівня ґрунтових вод алювіального водоносного горизонту на цій ділянці досягає максимальних величин і становить $18,5 \text{ м}$.

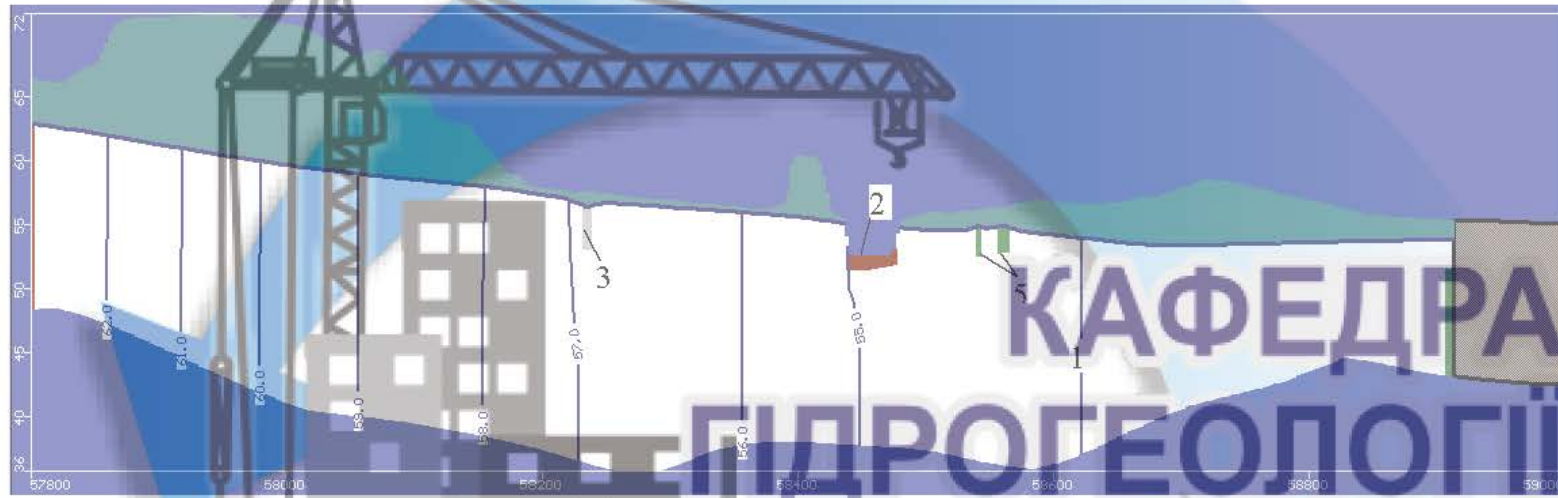
Розрахункові поверхні підземних вод алювіальних водоносних горизонтів в межах досліджуваної території у відповідності до виконаної гідродинамічної схематизації представлені на рис. 5.2, 5.3 та 5.4. Встановлено, що напрямок руху підземних вод відбувається зі сторони схилу у бік р. Дніпро. Глибина залягання рівня складає від $-18,5 \text{ м}$ (глибина в районі будівництва метрополітену) до $+0,54 \text{ м}$ (в районі свердловини №110) і до $+2,6 \text{ м}$ (глибина в існуючому озері).

Результати розв'язання зворотної задачі показують, що запропонована гідродинамічна модель парку ім. Лазаря Глоби є адекватною процесу якій вона відображає. Отримані з її допомогою розподіли рівня ґрунтових вод, фільтраційні властивості водовмісних порід та інфільтраційні характеристики можуть бути використані як початкові умови при проектуванні та оцінці ефективності роботи гідротехнічних та інженерних споруд на території парку шляхом їх задання на моделі.



Рисунок 5.2 – Карта гідроізогіпс алювіального водоносного горизонту станом на березень 2022 р, абс. відм., м

а)



б)

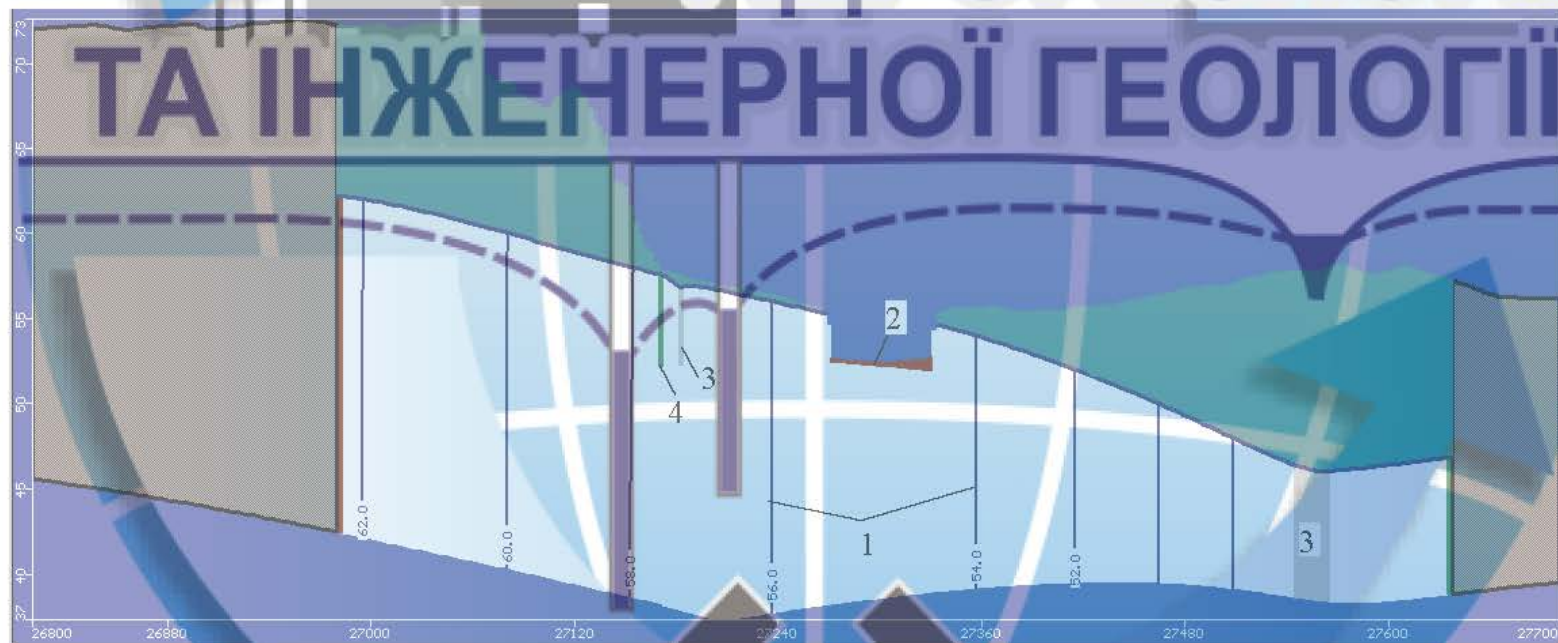


Рисунок 5.3 – Гідродинамічні профілі в широтному (а) та меридіональному (б) напрямках: 1 – еквіпотенціалі, м; 2 – ставок; 3 – дрени (3* – метрополітен); 4 – височування; 5 – перетікання

6. ПОРЯДОК СПОРУДЖЕННЯ НОВИХ ГІДРОТЕХНІЧНИХ ТА ДРЕНАЖНИХ СПОРУД

Згідно з планом реконструкції парку ім. Лазаря Глоби на його території планується створення нових об'єктів культурно-господарського призначення (ставків, каналів, газонів та скверів) будівництво та обслуговування яких потребує врахування їх взаємодії з довкіллям. При реконструкції парку Глоби буде вирішено три основні проблеми. По перше, будуть оновлені зелені насадження: уздовж пр. Д. Яворницького та вул. Староказацька замість сухих та аварійних дерев висадять нові. Окрім того, будуть виконані роботи з пониження ґрунтових вод. Майже уся частина парку підтоплюється, тому буде проведено комплекс робіт по улаштуванню інженерних комунікацій для контролювання рівня ґрунтових вод. Також будуть проведені роботи пов'язані зі зміною невизначеної планувальної частини парку.

При цьому за впливом на гідросферу парку найбільш значним буде будівництво двох нових ставків, розташованих в західній та східній частині парку. Такий західний ставок характеризується більш складною конфігурацією і приблизною площею водної поверхні 8000 м^2 . Східний ставок має менш складну конфігурацію та характеризується площею близько 7500 м^2 (рис. 6.1).

У зв'язку з тим що рух підземних вод відбувається зі сторони схилу у бік р. Дніпро горизонтальний дренаж пропонується розташувати вздовж схилу у його підстави, а також на окремих ділянках біля західного ставку, які знаходяться в підтопленому стані. При цьому загальна довжина дренажу складає близько 600 м, відмітка рівня води у ньому 56 – 57 м, його провідність $10 \text{ м}^2/\text{доб}$. Необхідно відзначити, що горизонтальний дренаж повинен, як правило, перетинати потік підземних вод по всій його ширині (рис. 6.2). При його довжині, меншій ширини підземного потоку, слід влаштовувати додаткові дренажі вздовж границі території, яка дрениується. При неглибокому заляганні водотриву дренаж слід закладати на його поверхні (з деяким заглибленням у нього) з метою повного перехоплення потоку підземних вод.



Рисунок 6.1 – Схема розташування нових гідротехнічних і дренажних споруд на території парку ім. Лазаря Глоби:
1,2 – відповідно новий західний і східний ставок; 3 – горизонтальний дренаж; 4 – існуючий ставок

У тих випадках, коли немає можливості закласти дренаж на позначці водотриву, то за умовами дренажу слід у повній мірі перехопити потік підземних вод та нижче дренажу зробити екран з водонепроникного шпунтового шару, опущеного нижче позначки водотриву.



Рисунок 6.2 – Видгляд головного дренажу [6]: 1 – будівля; 2 – колектор; 3 – дренаж; 4, 5 – відповідно рівень підземних вод до і після зниження

При глибокому заляганні водотриву головний дренаж закладають вище нього, як дренаж недосконалого типу. У цьому разі слід зробити розрахунок депресійної кривої. Якщо однієї лінії головного дренажу недостатньо для зниження рівня підземних вод до заданих позначок, слід запроєктувати другу лінію дренажу паралельно головному. Відстань між лініями визначається розрахунком.

Якщо частина водоносного пласта, яка розташована над дренажем, складається з піщаних ґрунтів з коефіцієнтом фільтрації менше 5 м/добу, то нижню частину траншеї дренажу засипають піском з коефіцієнтом фільтрації більше 5 м/добу. Висота засипки піском становить $0,6 - 0,7H$, де H – висота від низу траншеї дренажу до незниженого рівня підземних вод. При шаруватій будові частини водоносного пласта, розташованого над дренажем, з чергуванням прошарків піску та суглинків, траншею дренажу засипають піском з коефіцієнтом фільтрації більше 5 м/добу, при чому на 30 см вище рівня підземних вод. При

цьому піском засипають всю ширину траншеї. Для дренажу досконалого типу коли водоносний пласт не має глинистих, суглинних і супіщаних прошарків, піщану призму можна зробити тільки з одного боку траншеї (з боку припливу води). Якщо дренаж закладається у шарі порівняно слабководонних ґрунтів, які підстилаються добреводонними, слід прокласти комбінований дренаж, що складається з горизонтальної дрени і вертикальних колодязів.

Глибина закладення дренажів повинна бути більше глибини промерзання ґрунту. Глибина закладення головних, кільцевих і систематичних дренажів визначається величиною заглиблення захисних будівель і споруд. Глибина закладення пристінних і супутніх дренажів визначається відповідно до глибини закладення споруд, що захищаються. Поздовжній нахил дренажу рекомендується приймати не менше 0,002 для глинистих ґрунтів і 0,003 – для піщаних ґрунтів. Найбільший нахил дренажів слід визначати виходячи з максимально допустимої швидкості течії води в трубах.

Оглядові колодязі слід встановлювати в місцях поворотів траси і зміни нахилу на перепадах, а також між цими точками при великих відстанях. На прямих ділянках дренажу необхідна відстань між оглядовими колодязями – 40 м, а найбільша відстань між оглядовими колодязями дренажу – 50 м.

Вода з дренажів надходить у водостоки, водойми та яри. При випуску води у водойму дренаж слід закладати вище горизонту води у водоймі (що спостерігається під час паводку). При короткочасному підвищенні рівня води водойми дренаж слід закладати нижче повеневого горизонту за умови обладнання дренажу зворотним клапаном випуску води. Гирлова ділянка дренажного випуску у водойму має бути заглиблена нижче горизонту води на товщину крижаного покриття з обладнанням перепадного колодязя. У разі неможливості влаштування пристрою випуску води з дренажу самопливом необхідно передбачити насосну станцію (установку) перекачування дренажних вод, яка працює в автоматичному режимі.

При проектуванні дренажу слід розглянути варіант його спільного прокладення з водостоком. При достатній глибині закладення водостоку дренаж

слід розташовувати над водостоком в одній вертикальній площині з випуском дренажних вод у кожен оглядовий колодязь. Відстань у просвіті між трубами дренажу і водостоку має бути не менше 5 см. У разі неможливості через глибини закладення розташувати дренаж над водостоком треба закладати дренаж паралельно водостоку.

Для дренажу слід застосовувати азбестоцементні труби. Виняток становлять дренажі, які закладаються в підземних водах, агресивних до бетонів та розчинів на портландцементі. У цьому разі для дренажу слід застосовувати пластмасові труби.

Водоприймальні отвори в трубах треба влаштовувати у вигляді пропилів шириною 3 – 5 мм. Довжина пропила має дорівнювати половині діаметра труби. Пропили роблять з обох боків труби в шаховому порядку. Відстань між отворами на одному боці – 50 см. Є варіант з просвердлюванням водоприймальних отворів. При укладенні труб необхідно враховувати, щоб пропили знаходились збоку труби (верх і низ труби повинен бути без розрізання).

Азбестоцементні труби з'єднують муфтами. При застосуванні полівінілхлоридних труб водоприймальні отвори виконуються аналогічно азбестоцементним трубам. Гофрована дренажна труба з поліетилену виготовляється з водоприймальними отворами.

Дренуючі обсіпки, відповідно до складу ґрунтів, виконують одношаровими або двошаровими. При розташуванні дренажу в пісках великої і середньої крупності (при середньому діаметрі частинок 0,3 – 0,4 мм і більше) роблять одношарові обсіпки з гравію або щебеню. При розташуванні дренажу в пісках середньої крупності із середнім діаметром частинок, меншим 0,3 – 0,4 мм, а також в дрібних і пилюватих пісках, супісках – двошарові обсіпки. Внутрішній шар обсіпки роблять із щебеню, а зовнішній – піску. Для внутрішнього шару дренуючих обсіпок застосовують гравій, за відсутності його – щебінь вивержених гірських порід (граніт, сієніт, габро, базальт, діабаз). Для зовнішнього шару обсіпок застосовують піски, які є продуктом вивітрювання вивержених порід.

Матеріали для дренажних обсыпок мають бути чистими і не містити більше 3 – 5 % за вагою частинок з діаметром менше 0,1 мм.

Дренажі слід укладати в сухі траншеї. У піщаних ґрунтах застосовують водозниження голкофільтрами. При закладенні дренажу в місцях водотриву застосовують водовідлив, заморожування або хімічне закріплення ґрунтів. Труби дренажів недосконалого типу укладають на нижні шари дренажної обсыпки, які, в свою чергу, укладаються безпосередньо на дно траншеї.

При неоднорідній будові водоносного пласта, коли горизонтальна дрена проходить у верхньому менш проникному шарі, а нижче знаходиться більш проникний шар, влаштовують комбінований дренаж, який складається з горизонтальної дрени і вертикальних колодязів-фільтрів. На територіях, що підтоплюються потоком ґрунтових вод, область живлення яких охоплює також і територію, що дренається, слід використовувати разом головний і систематичний дренажі. Для захисту від підтоплення ґрунтовими водами підвальних приміщень окремо розташованих будівель або групи будинків під час закладення підвалів у водоносних піщаних ґрунтах слід робити кільцеві дренажі. *Кільцеві дренажі* застосовують також для захисту заглиблених підвалів у нових кварталах і мікрорайонах при недостатній глибині зниження рівня ґрунтових вод загальною системою дренажу території.

При більш великій водопроникності піщаних ґрунтів, а також під час закладення дренажу на водотриви можна влаштовувати загальний кільцевий дренаж для групи сусідніх будівель. При надходженні ґрунтових вод дренаж може мати вигляд незамкненого кільця за типом головного дренажу. Кільцевий дренаж треба закладати нижче рівня підлоги споруди, яка захищається та прокладається на відстані 5 – 8 м від стіни будови. При великому заглибленні дренажу необхідно вжити заходи проти винесення, ослаблення і осідання ґрунту під фундаментом будівлі.

Для захисту підвальних приміщень і споруд, в яких за умовами експлуатації не допускається поява вогкості, при закладенні цих приміщень у зоні капілярного зволоження ґрунтів слід влаштовувати пластові дренажі. Ці дренажі

прокладають у поєднанні з трубчастими дренажами (кільцевими і пристінними). Для з'єднання пластового дренажу із зовнішнім прокладають трубчастий дренаж. Для підпілля будівель з фундаментами на палях пластовий дренаж влаштовують у поєднанні з однолінійним дренажем, який прокладається під будівлею.



КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

7. ПОСТАНОВКА І РІШЕННЯ ПРОГНОЗНИХ ЗАДАЧ НА МОДЕЛІ

Результати епігнозного моделювання з відновлення динаміки рівневої поверхні підземних вод дозволили встановити, що рух підземних вод відбувається зі сторони схилу у бік р. Дніпро [2]. Глибина залягання їх рівня складає від – 18,5 м (глибина в районі будівництва метрополітену) до +0,54 м (в районі свердловини №110) і до +2,6 м (глибина в існуючому озері). Формування гідродинамічного режиму алювіального горизонту відбувається за рахунок витрат на границях, інфільтрації атмосферних опадів і техногенного живлення на ділянках розташування водонесучих комунікацій.

Аналіз балансових складових показує, що в загальному живленні території парку переважають витрати на південній, східній та південно-західній границі, витрати на північній границі приблизно збігаються з інфільтраційним живленням. Так, за даними рішення епігнозних задач величина інфільтраційного живлення рівняється $281,68 \text{ м}^3/\text{доб}$, витрати на півночі – $212,06 \text{ м}^3/\text{доб}$. При цьому витрати на інших границях модельованої ділянки (переважно зі сторони III тераси) складають $2810,8 \text{ м}^3/\text{доб}$ та перевищують інфільтраційне живлення в 10 разів.

Розвантаження ґрунтових вод у межах області яка моделюється в основному відбувається в існуючі дренажі та складає $2244,9 \text{ м}^3/\text{доб}$. Ця величина більш ніж у 2 рази перевищує сумарне розвантаження на граничних умовах та евапотранспірацію. За результатами моделювання також встановлено, що здебільшого розвантаження підземних вод відбувається у ствол метрополітену, який проходить під пр. Д. Яворницького та характеризується максимальною величиною глибини залягання рівня ґрунтових вод на досліджуваній території – 18,5 м [2].

При реконструкції території парку запропоновані будівництво двох ставків «Західного» і «Східного», а також нового горизонтального дренажу. Передбачається, що всі старі дренажні споруди будуть демонтовані. При рішенні прогностичних задач буде оцінено вплив на підземні води цих споруд (табл. 7.1). По-

чатковими умовами для рішення прогностичних задач приймали рішення оберненої задачі на грудень 2021 р. – травень 2022 р [2].

Таблиця 7.1 – Перелік прогностичних задач

№ задачі	Зміст задачі (на моделі відтворені)	№ рисунків
1	Існуючий та проектні ставки, абсолютна відмітка рівня води у ставку 54,5 м, без дренажу	7.1
2	Існуючий та проектні ставки, абсолютна відмітка рівня води у ставку 54,0 м, без дренажу	7.2
3	Існуючий та проектні ставки, абсолютна відмітка рівня води у ставку 54,0 м, з дренажем	7.3

Прогностична задача 1. Оцінюється вплив запроєктованих ставків та непрацездатність існуючих дрен, які будуть демонтовані при будівництві нових ставків. При цьому нові ставки на моделі відтворено граничною умовою першого роду з абсолютною позначкою 54,5 м. Інші внутрішні та зовнішні граничні умови, фізико-механічні та фільтраційні властивості ґрунтів на моделі не змінювались.

Аналіз отриманих за результатами розрахунків в програмному середовищі Visual MODFLOW 2011.1 даних показує, що абсолютна відмітка рівня ґрунтових вод алювіального водоносного горизонту в межах парку ім. Лазаря Глоби при відмітці рівня води в запроєктованих ставках 54,5 м змінюється від 62 до 52 м (рис. 7.1). При цьому глибина залягання рівня ґрунтових вод знаходиться в діапазоні 0 – 15 м, обумовлюючи тим самим підтоплення на окремих ділянках парку. Необхідно відмітити, що ділянки які характеризуються найменшими глибинами залягання ґрунтових вод знаходяться в західній частині парку в основі його схилу та між існуючим та запроєктованим західним ставком. Балансові складові підземних вод показують, що до ставків «Західний» і «Східний» надходить підземних вод відповідно з витратою 283,8 м³/добу і 553,9 м³/добу. У зв'язку з тим, що при даному варіанті розташування ставків у парку присутні зони з глибиною залягання ґрунтових вод менше 1 м, необхідний пошук нових варіантів розташування ставків.

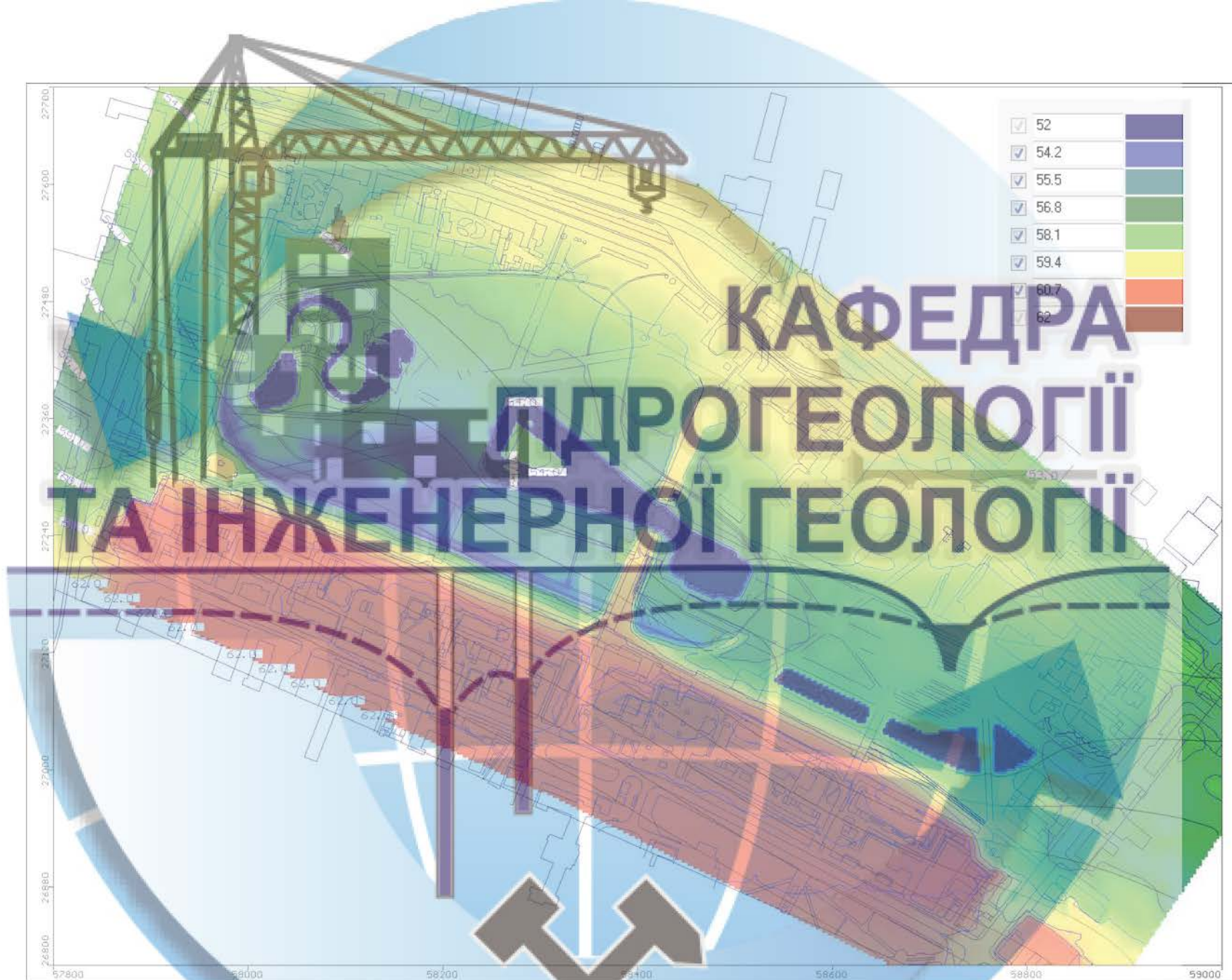


Рисунок 7.1 – Карта гідроізогіпс алювіального водоносного горизонту в прогнозній задачі 1, абс. відм., м

Прогнозна задача 2. Оцінюється вплив заглиблення запроектованих ставків та непрацездатність дрен, які демонтуються при будівництві нових ставків. При цьому нові ставки на моделі відтворено граничною умовою першого роду з абсолютною позначкою 54,0 м. Інші внутрішні та зовнішні граничні умови, фізико-механічні та фільтраційні властивості ґрунтів на моделі не змінювались.

Аналіз отриманих за результатами розрахунків даних показує, що як і в прогнозній задачі 1 абсолютна відмітка рівня ґрунтових вод алювіального водоносного горизонту в межах парку ім. Лазаря Глоби змінюється від 62 до 52 м. При цьому глибина залягання рівня ґрунтових вод також знаходиться в діапазоні 0 – 15 м. Однак на відміну від прогнозної задачі 1 в задачі 2 (позначка води в ставках 54,0 м) незначно зменшується зона де глибина до рівня ґрунтових вод менше 1 м. При цьому місце розташування цієї зони в обох прогнозних задачах практично збігається.

Балансові складові підземних вод показують, що до ставків «Західний» і «Східний» надходить підземних вод відповідно з витратою 306,3 м³/добу і 652,1 м³/добу. У зв'язку з тим, що при даному варіанті розташування ставків у парку також присутні зони з глибиною залягання ґрунтових вод менше 1 м, необхідний пошук нових варіантів їх розташування.

Прогнозна задача 3. Оцінюється вплив запроектованих ставків та нових дренажних споруд, які будуть встановлені у місцях, показаних на рис. 6.1. При цьому нові ставки на моделі відтворено граничною умовою першого роду з абсолютною позначкою 54,0 м. Нові дренажні споруди на моделі відображуються. Загальна довжина дренажу складає близько 600 м, відмітка рівня води у ньому 56 – 57 м, його провідність 10 м²/доб. Інші внутрішні та зовнішні граничні умови, фізико-механічні та фільтраційні властивості ґрунтів на моделі не змінювались.

Аналіз отриманих за результатами розрахунків даних показує, що як і в прогнозній задачі 1 та 2 абсолютна відмітка рівня ґрунтових вод алювіального водоносного горизонту в межах парку ім. Лазаря Глоби змінюється від 62 до 52 м. Однак на відміну від прогнозних задач 1 та 2, у задачі 3 зона де глибина до рівня ґрунтових вод менше 1 м відсутня.

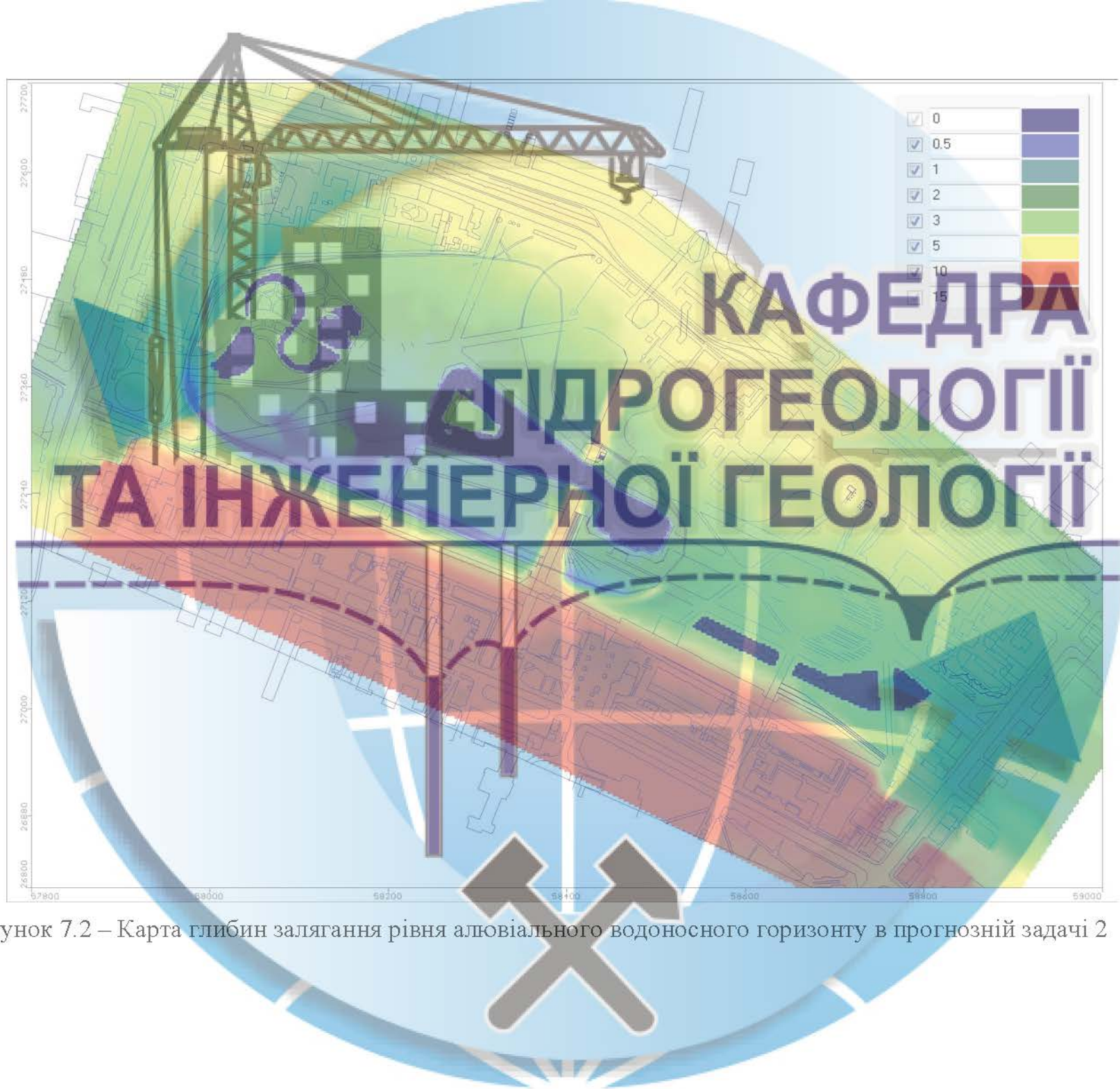


Рисунок 7.2 – Карта глибин залягання рівня аллювіального водоносного горизонту в прогнозній задачі 2

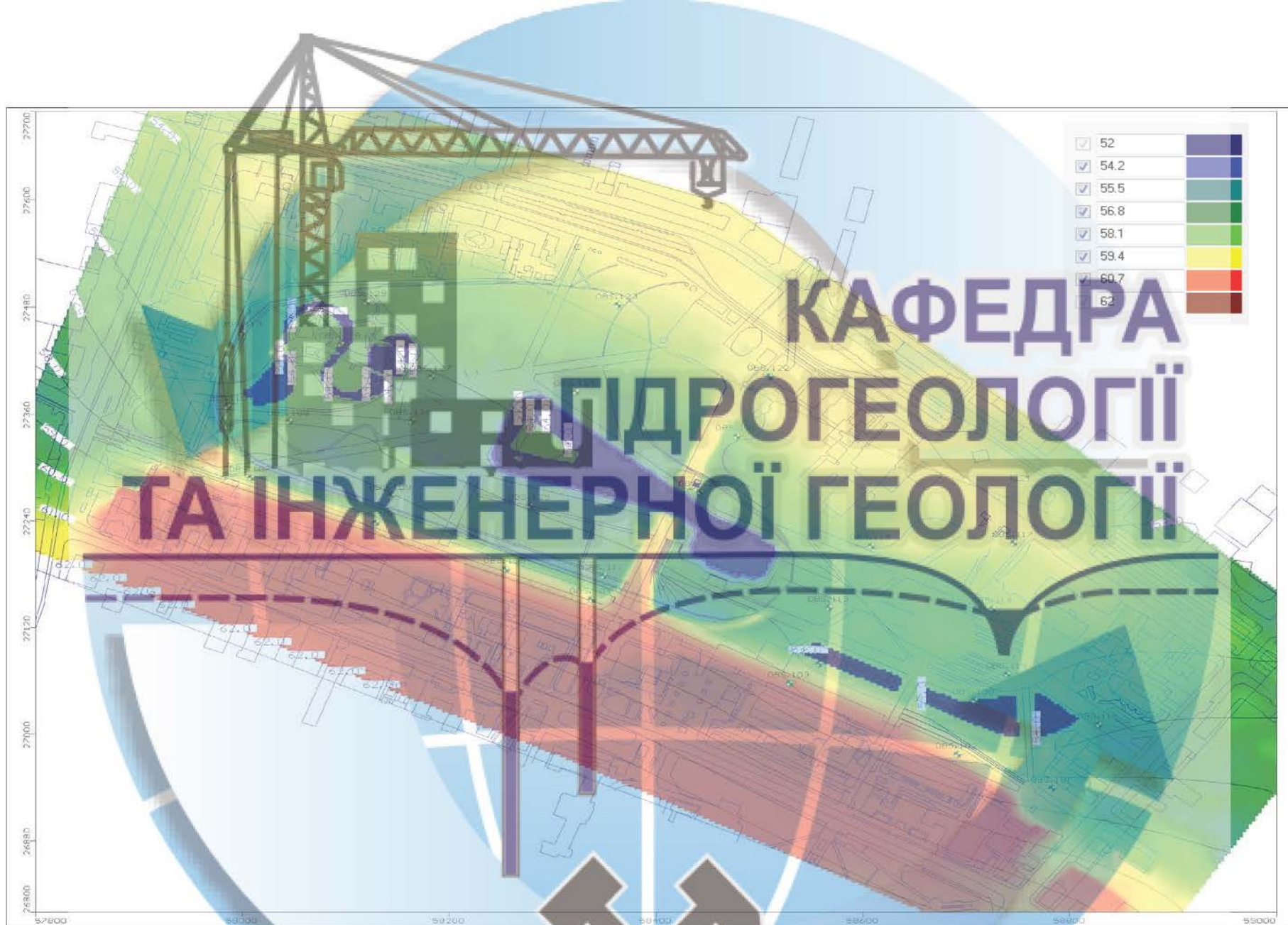


Рисунок 7.3 – Карта гідроізогіпс алювіального водоносного горизонту в прогностичній задачі 3, абс. відм., м

Результати розв'язання прогнозної задачі 3 можуть вважатися задовільними, тому що на території парку Глоби відсутні ділянки з глибиною залягання ґрунтових вод менше одного метра, що відповідає нормативним вимогам [19, 20]. За результатами рішення цієї прогнозної задачі (при функціонуванні існуючого ставка, нових ставків та дренажних споруд) отримані балансові складові підземних вод (табл. 7.2).

Таблиця 7.2 – Балансові складові модельованої області за результатами вирішення прогнозної задачі 3, м³/доб

Складові балансу	Живлення	Розвантаження
Ставок «Західний»		
Витрати, гранична умова I – роду	27,069	-209,47
Інфільтраційне живлення	0,0135	
Евапотранспірація		-0,0079
Витрати з водоносного горизонту	209,46	-27,069
Всього	236,54	-236,54
Ставок «Східний»		
Витрати, гранична умова I – роду	–	-650,18
Витрати з водоносного горизонту	650,18	–
Всього	650,18	-650,18
Ставок «Центральний» (існуючий)		
Витрати, гранична умова I – роду	54,84	-355,96
Витрати з водоносного горизонту	355,72	-54,84
Дрени	0,24	–
Всього	410,8	-410,8

Аналіз балансових складових показує, що в загальному живленні ставка «Західний» переважають витрати ґрунтових вод алювіального водоносного горизонту з території парку ($209,46 \text{ м}^3/\text{доб}$) та витрати з граничних умов ($27,06 \text{ м}^3/\text{доб}$). Розвантаження з ставка відбувається на границі та в алювіальний водоносний горизонт. Живлення ставка «Східний» відбувається за рахунок витрат з алювіального водоносного горизонту ($650,18 \text{ м}^3/\text{доб}$), а розвантаження – на границі. Живлення існуючого ставка «Центральний» відбувається за рахунок витрат з алювіального водоносного горизонту ($355,72 \text{ м}^3/\text{доб}$), з граничних умов ($54,84 \text{ м}^3/\text{доб}$) та дрен ($0,24 \text{ м}^3/\text{доб}$). Розвантаження цього ставка відбувається на границі та в алювіальний водоносний горизонт.

Увесь надлишок стоку зі ставків відводяться самопливними скидними колекторами до головної природної дрени міста – р. Дніпро. Напрямки та топологія цих скидних трубопроводів розробляється за окремим проектним рішенням з урахуванням обсягу добового стоку, який розрахований вище.

КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



ВИСНОВКИ

1. У геоморфологічному відношенні територія парку ім. Лазаря Глоби приурочена до II надзаплавної тераси р. Дніпро, яка на півдні парку уступом заввишки 10 – 12 м переходить в III надзаплавну терасу. Поверхня парку спланована, рівна, її абсолютні позначки змінюються в межах 55,56 – 58,4 м. У геоструктурному відношенні територія парку знаходиться в межах північно-східного схилу Українського кристалічного щита і приурочена до дніпровської зони глибинних розломів 1-го порядку, що мають субширотний напрямок.

2. Основним водоносним горизонтом який визначає гідродинамічну обстановку на території парку, є водоносний горизонт алювіальних відкладень надзаплавної тераси представлений суглинками сірими та пісками дрібними. При цьому, водовміщуюча товща неоднорідна як по площі, так і в розрізі. Живлення горизонту здійснюється за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, поливу газонів, витоків із водонесучих комунікацій та припливу ґрунтових вод з боку високих терас. Розвантаження водоносного горизонту здійснюється в р. Дніпро та у горизонтальний дренаж. Аналіз геологічного розрізу території, її тектоніки та геоморфології, а також фізико-механічних властивостей ґрунтів дозволив виділити у межах парку 21 інженерно-геологічний елемент. Значення коефіцієнтів фільтрації водонасичених елементів були встановлені на основі гідрогеологічних вишукувань.

3. Основними причинами високого стану рівня ґрунтових вод на території парку є природні (приуроченість до II надзаплавної тераси, слабкий ухил денної поверхні та рівня підземних вод, приплив вод з боку більш вищих терас та наявність у верхній частині геологічного розрізу суглинків) та штучні (рясний полив газонів, витоків води з водонесучих комунікацій, кольматация дрен та розташований у центрі парку ставок, який має штучний скид надлишкового рівня води на незначній глибині від середньої денної поверхні парку) фактори.

4. В розрізі модель представлена двохшаровою водоносною товщею, де перший розрахунковий шар відображує слабопроникну суглинко-супіщану товщу сумарною потужністю від 7 до 19 м, а другий – піски різнозернисті, диспе-

рену зону кори вивітрювання кристалічних порід та елювій граніту, які залягають на абсолютних відмітках 44,2 – 52,1 м.

У плані модельована область в межах території 1200 x 900 м при її загальній площі 1080 тис. м² представлена сіткою (400 × 300) розрахункових блоків розмірами 3,0 x 3,0 м. Кількість розрахункових блоків (вузлів) – 400 × 300 (12 000од.), активних блоків (вузлів) – 74682од (площа 672,138 тис.м²). Вісь x сітки проведена майже паралельно р. Дніпро, а вісь y – співпадає з напрямком руху підземних вод.

В якості гідродинамічних границь на зовнішніх контурах моделі на півдні був прийнятий приплив підземних вод зі сторони III надзапальної тераси, граничні умови I-го роду ($H = Const$); на півночі – відтік до суміжної території в сторону р. Дніпро (віддалені границі із забезпеченням живленням які відповідають границям III-го роду); на сході – абсолютні відмітки рівня ґрунтових вод, граничні умови I-го роду; на південному заході (на ділянці довжиною 170 м) границя I-го роду. Зовнішні границі 1-го розрахункового шару співпадають з границями 2-го шару. Величини гідравлічних напорів на контурах моделі встановлені за даними розвідувального буріння відповідно до відміток рівнів води в межах досліджуваних ділянок.

5. За результатами рішення оберненої задачі встановлено, що досягнення розрахунковими рівнями води положення, близького до фактично зафіксованого за даними виконаних в грудні 2021 р. – березні 2022 р. гідрогеологічних вишукувань, відбувається при позначених вище фільтраційних характеристиках водовмісних порід. Збіжність чисельної моделі за величиною нев'язки балансу не перевищує 0,001 % і підтверджує коректність завдання в моделі зовнішніх і внутрішніх гідродинамічних границь та їх параметрів. Згідно з даними калібрування відхилення розрахункових відміток рівнів води в алювіальному горизонті від фактично встановлених не перевищує 0,3 м, стандартна похибка оцінки складає 0,034 м. Значущість статистичних оцінок характеризується значенням $R^2 = 0,998$ і її нормованою величиною 1,872 %.

6. Аналіз балансових складових показує, що в загальному живленні тери-

торії парку переважають витрати на південній, східній та південно-західній границі, витрати на північній границі приблизно збігаються з інфільтраційним живленням. Так, за даними рішення епігнозних задач величина інфільтраційного живлення рівняється $281,68 \text{ м}^3/\text{доб}$, витрати на півночі – $212,06 \text{ м}^3/\text{доб}$. При цьому витрати на інших границях модельованої ділянки (переважно зі сторони III тераси) складають $2810,8 \text{ м}^3/\text{доб}$ та перевищують інфільтраційне живлення в 10 разів.

Розвантаження ґрунтових вод у межах області яка моделюється в основному відбувається в існуючі дренажі та складає $2244,9 \text{ м}^3/\text{доб}$. Ця величина більш ніж у 2 рази перевищує сумарне розвантаження на граничних умовах та евапотранспірацію. За результатами моделювання також встановлено, що здебільшого розвантаження підземних вод відбувається у ствол метрополітену, який проходить під пр. Д. Яворницького та характеризується максимальною величиною глибини залягання рівня ґрунтових вод на досліджуваній території – $18,5 \text{ м}$.

7. Результати розв'язання оберненої задачі показують, що запропонована математична гідрогеологічна модель парку ім. Лазаря Глоби є адекватною процесу якій вона відображає. Отримані з її допомогою розподіли рівня ґрунтових вод, фільтраційні властивості водовмісних порід, границі та інфільтраційні характеристики можуть бути використані як початкові умови при проектуванні та оцінці гідродинамічного та геомеханічного впливу експлуатації різних інженерних та гідротехнічних споруд на навколишнє середовище.

8. У зв'язку з тим що існуючий ставок і горизонтальні дрени на території парку на сьогодні не забезпечують норми осушення між схилом і існуючим ставком, а також з рухом підземних вод зі сторони схилу парку у бік р. Дніпро новий горизонтальний дренаж пропонується розташувати вздовж основи схилу, а також на окремих ділянках біля західного ставка, які знаходяться в підтопленому стані. При цьому загальна довжина дренажу становитиме близько 600 м , відмітка рівня води у ньому $56 - 57 \text{ м}$. Для обраного дренажу обґрунтовано методику, послідовність та порядок його створення.

9. Оцінка впливу нових ставків та дренажних споруд на гідродинамічний режим алювіального водоносного горизонту у межах парку ім. Лазаря Глоби виконано за допомогою розробленої та верифікованої раніше чисельної математичної моделі геофільтрації у програмному середовищі Visual MODFLOW 2011.1. При цьому передбачалось, що всі старі дренажні споруди будуть зруйновані. Оцінка гідродинамічної обстановки у парку в умовах будівництва додаткових гідротехнічних споруд була виконана шляхом вирішення (відтворення на моделі) наступних прогнозних задач:

- існуючий та проєктні ставки, абсолютна відмітка рівня води у ставках складає 54,5 м, нові дренажні споруди не працюють;
- існуючий та проєктні ставки, абсолютна відмітка рівня води у ставках складає 54,0 м, нові дренажні споруди не працюють;
- існуючий та проєктні ставки, абсолютна відмітка рівня води у ставках складає 54,0 м, нові дренажні споруди працюють.

Початковими умовами для рішення прогнозних задач приймали рішення оберненої задачі на грудень 2021 р. – травень 2022 р.

10. За результатами вирішення першої та другої прогнозної задачі встановлено, що абсолютна відмітка рівня ґрунтових вод алювіального водоносного горизонту в межах парку змінюється від 62 до 52 м. При цьому глибина залягання рівня ґрунтових вод знаходиться в діапазоні 0 – 15 м, обумовлюючи тим самим підтоплення на окремих ділянках. Підтоплені ділянки знаходяться в західній частині парку в основі його схилу та між існуючим та запроєктованим західним ставком.

За результатами рішення третьої прогнозної задачі встановлено, що робота нових дренажних споруд ліквідує ділянки підтоплення з глибиною залягання ґрунтових вод менше одного метра практично на всій території парку ім. Лазаря Глоби, що відповідає діючим нормативним вимогам. Отримані балансові складові підземних вод показують, що до ставків «Західний» і «Східний» надходять підземні води відповідно з витратою 236,54 м³/доб та 650,18 м³/доб. Розвантаження зі ставків відбувається на границі та в алювіальний водоносний горизонт.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Звіт про інженерно-геологічні вишукування на об'єкті: «Нове будівництво багатофункціонального комплексу житлового та громадського призначення з паркінгом по вул. Набережна Перемоги, 128, 128к, у м. Дніпро» / В.І. Федоренко, О.О. Ревенко. – Дніпро, 2021.

2. Мельник А.М. Робоча документація для проведення будівельного водозниження при будівництві котловану багатофункціонального комплексу житлового та громадського призначення з паркінгом по вул. Набережна Перемоги, 128, 128к у м. Дніпро. – Дніпро, 2021.

3. ДСТУ-Н Б В.1.1-38:2016 «Настанова щодо інженерного захисту територій, будівель і споруд від підтоплення та затоплення». – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 135 с.

4. Рубан С.А., Шинкаревский М.А. Гідрогеологічні оцінки та прогнози режиму підземних вод України: монографія. – К.: УкрДГРІ, 2005. – 572 с.

5. Положення про стадії геолого-розвідувальних робіт на підземні води (гідрогеологічні роботи). Мінекоресурсів України. К. 2000, - 20 с.

6. Порядок вивчення та підрахунку експлуатаційних запасів супутніх підземних вод родовищ твердих корисних копалин. Методичні вказівки ДКЗ України. К. 2000, 12 с.

7. Удалов І.В., Решетов І.К. Еколого-геологічне картографування та моніторинг геологічного середовища. Навчальний посібник. –Х. В-во ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2012. – 152 с

8. Корнеєнко С.В. Методика гідрогеологічних досліджень: підручник / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: geol.univ@kiev.ua, 2015 – 275с.

9. Ларін К.Л. Геологорозвідувальна справа: гірничі, підривні, бурові роботи / К.Л. Ларін, Г.Ф. Виноградов, В.С. Шабатінта інш.// –К.: Либідь, 1996.

10. Мандрик Б.М. Гідрогеологія / Б.М. Мандрик, Д.Ф. Чомко, Ф.В. Чомко. // – К.: ВПЦ «Київський університет» 2005. – 197 с.

11. Огняник М.С. Мінеральні води України / М.С. Огняник. // – К.: ВРЦ

«Київський університет», 2000. – 230 с.

12. Корнеєнко С.В. Навчальна гідрогеологічна та інженерно-геологічна практика / С.В. Корнеєнко, Д.Ф. Чомко, А.В. Шостак, О.М. Корбутяк. – К., 2010.

13. Шевченко О.Л. Методи досліджень мінеральних підземних вод / О.Л. Шевченко. – К., 2004.

14. М.О.Клименко, А.М.Прищеп, Н.М. Вознюк «Моніторинг довкілля» Підручник для студентів ВНЗ.– Київ.: «Академія», 2006. – 359 с.

15. Білявський Г.О., Падун М.М., Фурдуй Р.С. Основи екології: теорія й практикум: Навч. посібн. – К.: Либідь, 1995.

16. Положення про державний моніторинг навколишнього середовища.- К.,1993.

17. Величко О. В., Зеркалов Д. В. Екологічний моніторинг: Навчальний посібник. – К.: Науковий світ, 2001. – 205 с.

18. Величко О. М., Гало М., Дудич І. І., Шпеник Ю. О. Основи метрології та моніторинг довкілля: Навчальний посібник. – Ужгород: Вид-во УжНУ, 2001. – 285с.

19. Крайнюков О. М. Моніторинг довкілля: Навчальний посібник. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2009. – 176 с.

20. Концепція екологічного нормування допустимого антропогенного навантаження на ґрунтовий покрив. За ред. С. А. Балюка та М. І. Ромащенко. – К.: Аграрна наука, 2004. – 34 с.

21. Методичні рекомендації з підготовки регіональних та загальнодержавних програм моніторингу довкілля. Нормативний докумен. – Київ, 2001. – 36 с.

22. Енергетика, радіаційна безпека та захист довкілля від фізичних забруднень. Загальний курс: навч. посібник / В.В. Сабадаш, І.М. Петрушка, М.С. Мальований, О.А. Нагурський. – Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2014. – 295 с.

23. Енергетика України на шляху до Європейської інтеграції / [А.І. Шевцов, М.Г. Земляний, В.О. Бараннік та ін.]. – Д.: Журфонд, 2004. – 160 с.

24. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі. Посібник для вищ. навч. закл. / [Д.Л. Дудюк, С.С. Мазепа, Я.М. Гнатишин та ін.]. – Львів: Магнолія, 2008. – 187 с.

25. Маляренко В.А. Енергетика і навколишнє середовище: навчальний посібник. / В.А. Маляренко. – Х.: Видавництво Сага, 2008. – 364 с.

A stylized globe in shades of blue and white, featuring a grid of latitude and longitude lines. Overlaid on the globe are several symbols: a crane at the top left, a city skyline in the middle left, a large blue arrow pointing right on the right side, and a crossed hammer and pickaxe at the bottom center. The text 'КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ' is written in a bold, blue, sans-serif font across the middle of the globe.

КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

ВІДЗИВ

наукового керівника на кваліфікаційну роботу ступеня магістр
НТУ «Дніпровська політехніка» спеціальності 103 «Науки про Землю»,
студента гр. 103м-22-1 Говоруха Олега Володимировича
«Обґрунтування раціональних типів і режимів роботи дренажних
споруд шляхом гідрогеологічного моделювання»

Зв'язок завдання на кваліфікаційну роботу з об'єктом діяльності магістра.
Завдання на представлену кваліфікаційну роботу безпосередньо пов'язано з об'єктом діяльності магістра за освітньо-професійною програмою «Гідрогеологія» спеціальності 103 «Науки про Землю» – дослідженням водообміну на техногенно порушених територіях.

Актуальність. Дослідження гідродинамічної та геомеханічної обстановки у парку ім. Лазаря Глоби виконано у зв'язку з створенням додаткових гідротехнічних споруд запланованих для благоустрою його території та періодичним підтопленням різних ділянок парку. Вирішення поставлених в роботі завдань виконано за допомогою математичної чисельної гідрогеологічної моделі адекватність якої доведена за допомогою вирішення обернених завдань.

Відповідність змісту стандартам вищої освіти та дескрипторам НРК.
Зміст роботи повністю відповідає стандартам вищої освіти та дескрипторам НРК. Робота складається зі вступу, 6 розділів, висновку, переліку посилань, та додатків.

Інноваційність отриманих рішень. Розглянуто гідрогеологічні умови території центрального міського дитячого парку Лазаря Глоби в м. Дніпрі при створенні нових гідротехнічних споруд (ставків) в різних конструктивних та гідродинамічних варіантах. За результатами чисельного математичного моделювання гідродинамічних процесів встановлено вплив роботи дренажних споруд на формування гідрогеологічного режиму підземних вод. Крім того, визначені складові балансу підземних вод на досліджуваній території які надалі будуть використані при проектуванні водовідвідних комунікацій необхідних для попередження підтоплення на території парку.

Практичне значення результатів. Запропоновані технічні рішення, спрямовані на визначення гідрогеологічного режиму досліджуваної території, а також визначення зниження рівня ґрунтових вод від роботи дренажних споруд.

Недоліки. В роботі не показано варіанти використання дренажних споруд різних конструкцій.

Ступінь самостійності виконання. Студент Говоруха О.В. виконав кваліфікаційну роботу самостійно за допомогою консультацій наукового керівника.

Застосування ПЕОМ, реальність, комплексність. Всі розрахунки виконані автором з використанням обчислювальної техніки та свідчать про його високий рівень підготовки як фахівця. Робота оформлена відповідно до вимог до кваліфікаційних робіт ступеня магістра, має необхідний графічний та табличний матеріал.

Комплексна оцінка. Кваліфікаційна робота Говоруха Олега Володимировича відповідає вимогам до рівня вищої освіти за НРК та компетентностям освітньої програми «Науки про Землю» і заслуговує оцінки «відмінно», а її автор Говоруха О.В. – присвоєння кваліфікації магістр за спеціальністю 103 – Науки про Землю.

Науковий керівник:
проф. каф. гідрогеології та інженерної геології
д.т.н., проф.

О.В. Інкін

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу ступеня магістр

НТУ «Дніпровська політехніка» спеціальності 103 «Науки про Землю»,

студента гр. 103м-22-1 Говоруха Олега Володимировича

«Обґрунтування раціональних типів і режимів роботи дренажних споруд шляхом гідрогеологічного моделювання»

У магістерській роботі Говоруха О.В. встановлено вплив додаткових гідротехнічних споруд при впорядкуванні парку на формування гідрогеологічного режиму його території. Для вирішення поставлених у роботі завдань використано методи чисельного геофільтраційного моделювання та аналітичні гідрогеологічні та геомеханічні розрахунки, а також методика оцінки осідання гірських порід при зніженні рівня ґрунтових вод. За результатами рішення прогностичної задачі встановлено, що робота нових дренажних споруд ліквідує ділянки підтоплення з глибиною залягання ґрунтових вод менше одного метра практично на всій території парку ім. Лазаря Глоби, що відповідає діючим нормативним вимогам.

Всі розрахунки виконані автором з використанням обчислювальної техніки. Робота оформлена у відповідності з вимогами до кваліфікаційних робіт ступеню магістра, має необхідний графічний та табличний матеріал.

Кваліфікаційна робота магістра Говоруха О.В. заслуговує оцінки «Відмінно».

Завідувач кафедри
геофізичних методів розвідки
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»,
доктор геологічних наук

М.М. Довбніч

Протокол перевірки кваліфікаційної роботи бакалавра

студента групи 103м-22-1

(шифр групи)

Говоруха Олега Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові)

Назва роботи: «Обґрунтування раціональних типів і режимів роботи дренажних споруд шляхом гідрогеологічного моделювання»

Науковий керівник проф. Інкін О.В.

(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

Plagiat.pl «StrikePlagiarism»	Unicheck	
	Оригінальність	72
Схожість	28	

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи та відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними та мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховання недобросовісних запозичень.

Науковий керівник

проф. Інкін О.В.

Нормо контролер

доц. Деревягіна Н.І.

Зав. кафедри

доц. Загриценко А.М.

18.12.2023 р.