

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Природничих наук та технологій  
(факультет)

Кафедра гідрогеології та інженерної геології  
(повна назва)

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

студента Саулова Костянтина Сергійовича

(ІПБ)  
академічної групи 103М-20-2  
(шифр)

Спеціальності 103 «Науки про Землю»  
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою Гідрогеологія  
(офіційна назва)

на тему «Оцінка інженерно-геологічних умов ділянки проектованої забудови в заплаві р. Дніпро для обґрунтування гідродинамічно доцільної системи дренажу»

(Назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
Кваліфікаційної роботи	Тимошук В.І.			
розділів:				
Загальний	Тимошук В.І.			
Спеціальний	Тимошук В.І.			
Рецензент	Довбніч М.М.			
Нормоконтролер	Загриценко А.М.			

Дніпро  
2022

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
гідрогеології та інженерної геології  
(повна назва)

\_\_\_\_\_ (підпис) Рудаков Д.В.  
(прізвище, ініціали)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеню магістра**  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Саулову К. С.  
(прізвище та ініціали)

академічної групи 103М-20-2  
(шифр)

спеціальності 103 «Науки про Землю»

за освітньо-професійною програмою Гідрогеологія

на тему «Оцінка інженерно-геологічних умов ділянки проектованої забудови в заплаві р. Дніпро для обґрунтування гідродинамічно доцільної системи дренажу»

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 27.10.2021 № 937-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Загальний	Фізико-географічна характеристика досліджуваної території. Аналіз геологічної будови, гідрогеологічних та інженерно-геологічних умов ділянки проектованого будівництва	11.10.2021 – 10.11.2021
Спеціальний	Моделювання змін гідродинамічного режиму на ділянці проектованого будівництва під впливом основних режимоутворюючих факторів. Обґрунтування доцільної системи експлуатаційного дренажу та параметрів дренажного водозниження	11.11.2021 – 11.01.2022

Завдання видано \_\_\_\_\_

(підпис керівника)

Тимощук В.І.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі \_\_\_\_\_

11.10.2021 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_

11.01.2022 р.

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_

(підпис студента)

Саулов К.С.

(прізвище, ініціали)



## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 72 стор., 22 рис., 6 табл., 16 джерел.

В кваліфікаційній роботі виконано дослідження гідрогеологічних та інженерно-геологічних умов ділянки проектованої забудови заплави р. Дніпро у зв'язку з обґрунтуванням доцільної схеми експлуатаційного водозниження.

Об'єктом виконаного дослідження є геофільтраційні процеси в порушених будівництвом та експлуатацією проектованих споруд умовах.

Мета кваліфікаційної роботи полягає в прогностичній оцінці змін гідродинамічного режиму підземних вод на ділянці проектованого будівництва та обґрунтування параметрів дренажного водозниження.

Методи досліджень. Аналіз даних інженерно-геологічних вишукувань та результатів гідрогеологічних досліджень, чисельне моделювання геофільтраційних процесів, аналітичні розрахунки.

Наукова новизна роботи полягає в розробці прогнозу гідродинамічного режиму під впливом проектованого будівництва та обґрунтуванні на цій основі доцільної схеми дренажного водозниження.

У вступі наведені актуальність та мета роботи, поставлені завдання, які необхідно вирішити в роботі.

У загальній частині надана фізико-географічна характеристика досліджуваної території та виконаний аналіз інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов ділянки проектованого будівництва.

У спеціальній частині обґрунтована гідродинамічна модель ділянки проектованого будівництва та виконані прогностичні розрахунки змін гідродинамічного режиму під впливом основних режимоутворюючих факторів.

За результатами виконаних досліджень визначено доцільну схему експлуатаційного дренажу та обґрунтовані параметри дренажного водозниження на ділянці проектованої забудови.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ГІДРОДИНАМІЧНИЙ РЕЖИМ, ПРОГНОЗ РІВНЕВОГО РЕЖИМУ, ДРЕНАЖНА СИСТЕМА, ПАРАМЕТРИ ДРЕНАЖНОГО ВОДОЗНИЖЕННЯ

## ABSTRACT

Explanatory note: 72 pages, 22 figures, 6 tables, 16 sources.

In the qualification work the research of hydrogeological and engineering-geological conditions of the section of the projected construction of the Dnieper floodplain in connection with the substantiation of the expedient scheme of operational water reduction is performed.

The object of the study is geofiltration processes in the conditions disturbed by the construction and operation of the designed structures.

The purpose of the qualification work is to forecast the changes in the hydrodynamic regime of groundwater in the area of the projected construction and justification of the parameters of drainage.

Research methods. Analysis of data of engineering and geological surveys and results of hydrogeological research, numerical modeling of geofiltration processes, analytical calculations.

The scientific novelty of the work is to develop a forecast of the hydrodynamic regime under the influence of the projected construction and substantiate on this basis an appropriate scheme of drainage.

The introduction presents the relevance and purpose of the work, the tasks to be solved in the work.

In the general part the physical-geographical characteristic of the investigated territory is given and the analysis of engineering-geological and hydrogeological conditions of a site of the projected construction is executed.

The special part substantiates the hydrodynamic model of the projected construction site and performs forecast calculations of changes in the hydrodynamic regime under the influence of the main regime-forming factors.

According to the results of the performed researches the expedient scheme of operational drainage is determined and the parameters of drainage water lowering on the site of the designed building are substantiated.

**KEY WORDS:** HYDRODYNAMIC REGIME, PREDICTION OF LEVEL REGIME, DRAINAGE SYSTEM, PARAMETERS OF DRAINAGE WATER DECREASE



## ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП .....	6
1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ .....	8
2 ГЕОЛОГІЧНА БУДОВА І ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ ДІЛЯНКИ ПРОЕКТОВАНОГО БУДІВНИЦТВА .....	12
2.1 Геологічна будова .....	12
2.2 Гідрогеологічні умови .....	18
2.3 Інженерно-геологічні умови .....	19
3 ПРОГНОЗНА ОЦІНКА ГІДРОДИНАМІЧНОГО РЕЖИМУ НА ДІЛЯНЦІ ПРОЕКТОВАНОГО БУДІВНИЦТВА .....	23
3.1 Математичне забезпечення і структура чисельної геофільтраційної моделі .....	23
3.2 Розрахункова схематизація і методика моделювання .....	30
3.2.1 Граничні умови і розрахункові параметри моделі .....	30
3.2.2 Методика моделювання .....	37
3.3 Оцінка змін гідродинамічного режиму в порушених будівництвом умовах .....	38
4 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ДРЕНАЖУ І ПАРАМЕТРІВ ДРЕНАЖНОГО ВОДОЗНИЖЕННЯ .....	46
4.1 Гідродинамічна оцінка ефективності системи дренажного водозниження .....	46
4.2 Обґрунтування параметрів дренажного водозниження на ділянці проектного будівництва .....	60
ВИСНОВКИ .....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	68
Додаток А. Відгук керівника .....	70
Додаток Б. Відгук рецензента .....	71
Додаток В. Протокол перевірки на плагіат .....	72

## ВСТУП

Метою роботи є прогнозна оцінка змін гідродинамічного режиму підземних вод на ділянці проектного будівництва та обґрунтування параметрів дренажного водозниження.

Об'єкт досліджень – геофільтраційні процеси в порушених будівництвом та експлуатацією проєктованих споруд умовах.

Предмет досліджень – параметри гідродинамічного режиму в умовах дренажного водозниження.

Оцінка змін гідродинамічного режиму на ділянці будівництва виконана з використанням чисельного моделювання геофільтрації на базі програмного комплексу Visual MODFLOW.

В процесі виконання роботи були вирішені наступні задачі:

- виконаний аналіз та узагальнення даних про геологічну будову та гідрогеологічні умови досліджуваної території та ділянки будівництва;

- розроблена загальна гідродинамічна схема досліджуваної території, обґрунтовані геометричні розміри модельованої області та структура моделі, визначені початкові та граничні умови;

- виконана прогнозна оцінка рівневого режиму підземних вод на ділянці проектного будівництва з урахуванням основних режимоутворюючих факторів;

- обґрунтовано вибір доцільної дренажної системи, схему розташування водознижувальних споруд та параметри дренажного водозниження.

Наукова новизна роботи полягає в розробці прогнозу гідродинамічного режиму під впливом проектного будівництва та обґрунтуванні на цій основі доцільної схеми дренажного водозниження.

Методи досліджень – аналіз даних інженерно-геологічних та гідрогеологічних вишукувань, чисельне моделювання геофільтраційних процесів, аналітичні розрахунки.

Основа для виконання прогнозних розрахунків склали результати інже-



нерно-геологічних вишукувань, проведених в різні роки на ділянці проектового будівництва та прилеглих територіях.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ГІДРОДИНАМІЧНИЙ РЕЖИМ, ПРОГНОЗ РІВНЕВОГО РЕЖИМУ, ДРЕНАЖНА СИСТЕМА, ПАРАМЕТРИ ДРЕНАЖНОГО ВОДОЗНИЖЕННЯ



# КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

## 1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ

Адміністративно досліджувана територія розташована в Соборному районі міста Дніпро, на вулиці Набережній Перемоги, 9Б. З західної сторони ділянка проектного будівництва обмежена комплексом АЗС, з північної – асфальтованою дорогою до Палацу молоді, зі сходу – одноповерховими будівлями ремонтно-будівельного підприємства «Бартоломео» (рис. 1.1).

У геоморфологічному відношенні територія, що розглядається, належить до правобережної заплави р. Дніпро, що тече на відстані близько 150...200 м на схід від ділянки проектного будівництва.

Природні відмітки поверхні заплави 49,00...51,00 м. Раніше на ділянці була знаходилась стариця річки, яка на початку 80-х років була заспана і спланована насипними ґрунтами до рівня першої заплавної тераси (будівництво Палацу піонерів, благоустрій набережної).

На період досліджень рельєф ділянки бугристо-ямковий, з відвалами ґрунту, а також канавами і виїмками. Сучасні абсолютні відмітки поверхні змінюються від 52,70 м до 56,69 м.

З несприятливих фізико-геологічних процесів відзначається підтоплення території підземними водами.

У відповідності до даних, наведених у ДСТУ-Н В.1-27:2010, згідно з архітектурно-будівельним районуванням території України м. Дніпро знаходиться у II кліматичному районі – Південно-Східному (Степовому).

Клімат характеризується помірно м'якою зимою з частими відлигами і порівняно теплим літом.

Середньорічна температура повітря плюс 8,7 °С. Середня температура в січні становить мінус 2...6 °С, в липні – плюс 21...23 °С. Абсолютний мінімум – мінус 32...42 °С, абсолютний максимум – плюс 39...41 °С.





Рисунок 1.1 – Оглядова схема території проектованої забудови в зашаві  
р. Дніпро

Датою переходу середньодобової температури повітря через (+ 8 °С) є початок 19 жовтня, кінець – 9 квітня; через (+10 °С) – початок 10 жовтня, кінець – 16 квітня.

Територія відноситься до зони недостатньої вологості. Середньорічна кількість опадів становить 400...500 мм. Відносна вологість повітря менше 65 %.

Переважає напрямки вітрів у січні – північний, південно-західний і західний (повторюваність 13,7...16,7 %). Переважає напрямки вітрів у липні – східний і північний.

Характеристики значень напружень і впливів, згідно з додатком Е (ДБН В.2.2:2006), становлять: вітрове навантаження – 470 Па; снігове навантаження – 1340 Па; товщина стінки ожеледиці – 19 мм; вітрове навантаження при ожеледиці – 260 Па.

Нормативне промерзання ґрунту – 0,96 м.

Характерними особливостями клімату є:

- значні коливання температур протягом року, місяця, сезону;
- зливовий характер літніх дощів;
- часті відлиги взимку, і в зв'язку з цим, нестійкий сніговий покрив;
- інтенсивне весіннє сніготанення.

За гідрологічним режимом р. Дніпро можна віднести до річок зі сніговим живленням, яка характеризується високою весняною повінню, низькою літньою і зимовою меженню, підвищеним стоком восени. Ширина русла річки 1,5 км, глибина 3,1...5,7 м біля берегів, на фарватері – 6,6...7,0 м.

Пік повені, як правило, приходиться на кінець квітня – початок травня. Наприкінці червня – початку липня повинь закінчується, її тривалість становить в середньому 3,5...4,0 місяці. Літньо-осіння межень припадає на липень-листопад.

Зимовий сезон починається наприкінці листопада – на початку грудня. Льодостав встановлюється у другій половині грудня при відхиленнях у межах листопад – лютий. Тривалість льодоставу коливається від одного до п'яти місяців. Крижаний покрив характеризується наявністю полину, що затягується ли-



ше виключно у суворі зими. Товщина льоду становить у середньому 22 см, найбільша – 40 см.

Розкриття річки відбувається переважно в середині березня, очищення від льоду – наприкінці місяця. Загальна тривалість періоду з льодовими явищами становить 63...110 днів.

Рівневий режим річки визначається режимом роботи ДніпроГЕС та водосховищ, розташованих вище за течією. Абсолютна відмітка 1 % та 10 % забезпеченості, за даними ПАТ «УКРГІДРОПРОЕКТ» становить, відповідно, 52,68 м та 51,42 м.

Спрацювання водосховища в літньо-осінній та зимовий періоди не відбувається, допускається лише в межах до 0,5 м для несення служби добового та тижневого регулювання, а також в аварійних ситуаціях, коли вона дозволяється до відміток у навігацію – 50,5 м, взимку – 48,5 м.

Амплітуда коливання рівня води біля м. Дніпро при добовому регулюванні на Дніпродзержинській ГЕС не перевищує 0,36 м. Максимально можлива відмітка рівня води за рахунок такого виду регулювання (в зиму багатоводного року) – 51,84 м, мінімальна (восени маловодного року) – 50,52 м.

Середньорічна витрата води Дніпра – 1650 м<sup>3</sup>/с, обсяг річного стоку – 53,2 км<sup>3</sup>, швидкість течії – 0,1 м/с.

## 2 ГЕОЛОГІЧНА БУДОВА І ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ ДІЛЯНКИ ПРОЕКТОВАНОГО БУДІВНИЦТВА

### 2.1 Геологічна будова

Характеристика геолого-гідрогіологічних умов ділянки проектного будівництва виконана на основі даних інженерно-геологічних вишукувань, виконаних на досліджуваній ділянці ДФ ДП «ДніпроДПНТР» у 2016 році [14] – рис. 2.1.

Згідно з даними інженерних вишукувань геологічний розріз ділянки будівництва до глибини 22,0 м представлений комплексом сучасних, верхньо-середньочетвертичних старичних, алювіальних відкладень (шари 2...7), які підстилаються потужною товщею ґрунтів кори вивітрювання скельних порід палеозой-кайнозойського віку (рис. 2.2, 2.3 і 2.4). З денної поверхні корінні відкладення перекриті насипними техногенними ґрунтами (шар 1).

Опис виділених геолого-літологічних шарів наведено зверху донизу.

Техногенні відкладення.

Шар 1 (t IV). Насипні ґрунти – суміш суглинистих ґрунтів (супіски, суглинки), рідше пісків, ґрунтового-рослинного шару, сірих, темно-сірих до чорних, твердої консистенції вище капілярної кайми рівня підземних вод та м'якопластичної, пластичної та текучої консистенції в зоні капілярної кайми рівня підземних вод і нижче, з прощарками мулу, замуленого пилюватого піску, з вмістом водної рослинності, що слабо розкладалася, з болотним запахом, з включенням будівельного, рідше побутового сміття (шлак, щебінь, уламки цегли та бетону тощо) вмістом від 5...10 % до 30...40 %, рідше 50...80 %.

Ґрунти відсипані сухим способом без ущільнення. Утворені при засипці та плануванні стариці річки, у дні якої знаходилися мулисті суглинисто-супіскові відкладення та мули, які перемішалися з насипними ґрунтами. Характеризуються переважно як незлежалі.



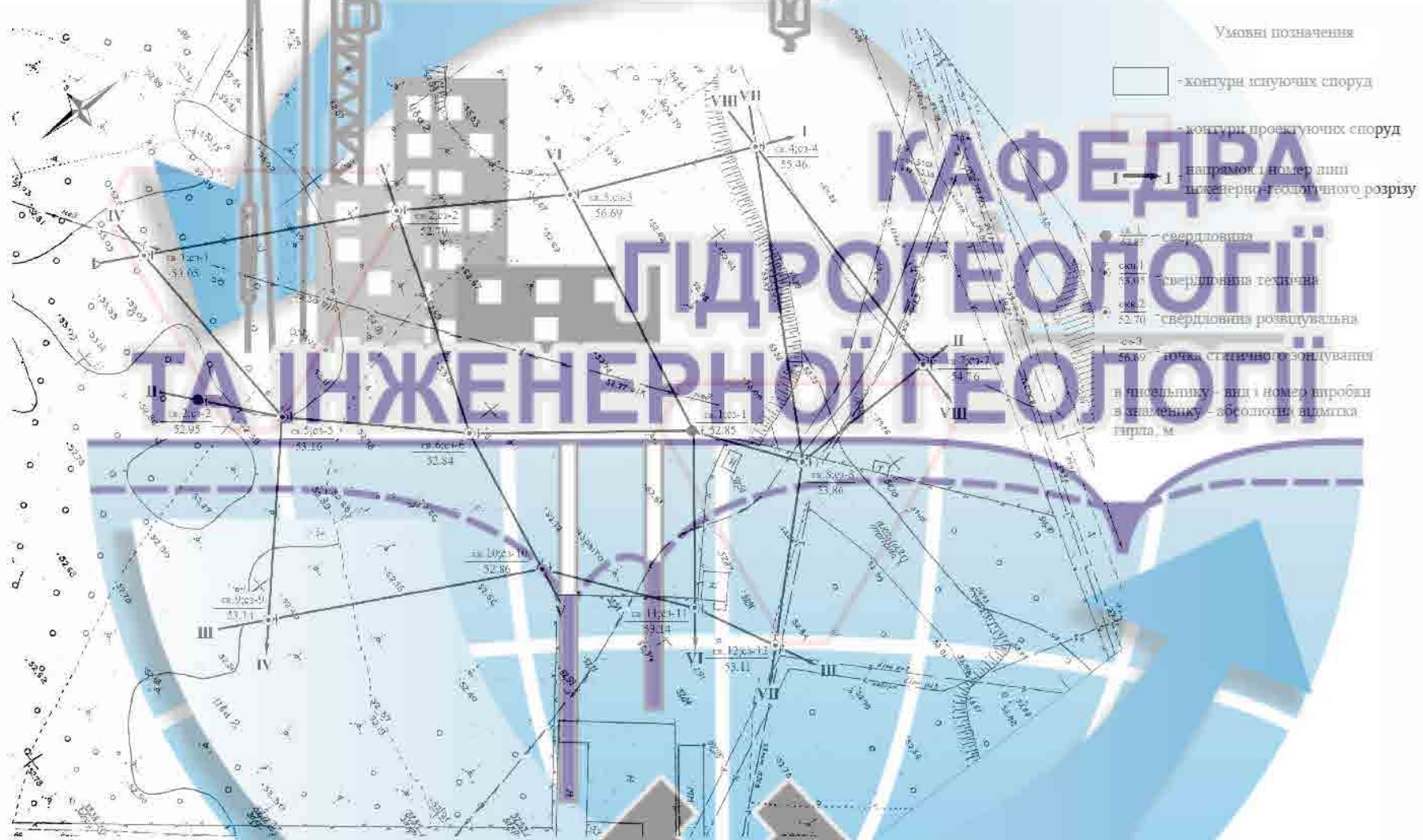


Рисунок 2.1 – Схема розташування розвідувальних свердловин на ділянці проєктованої забудови

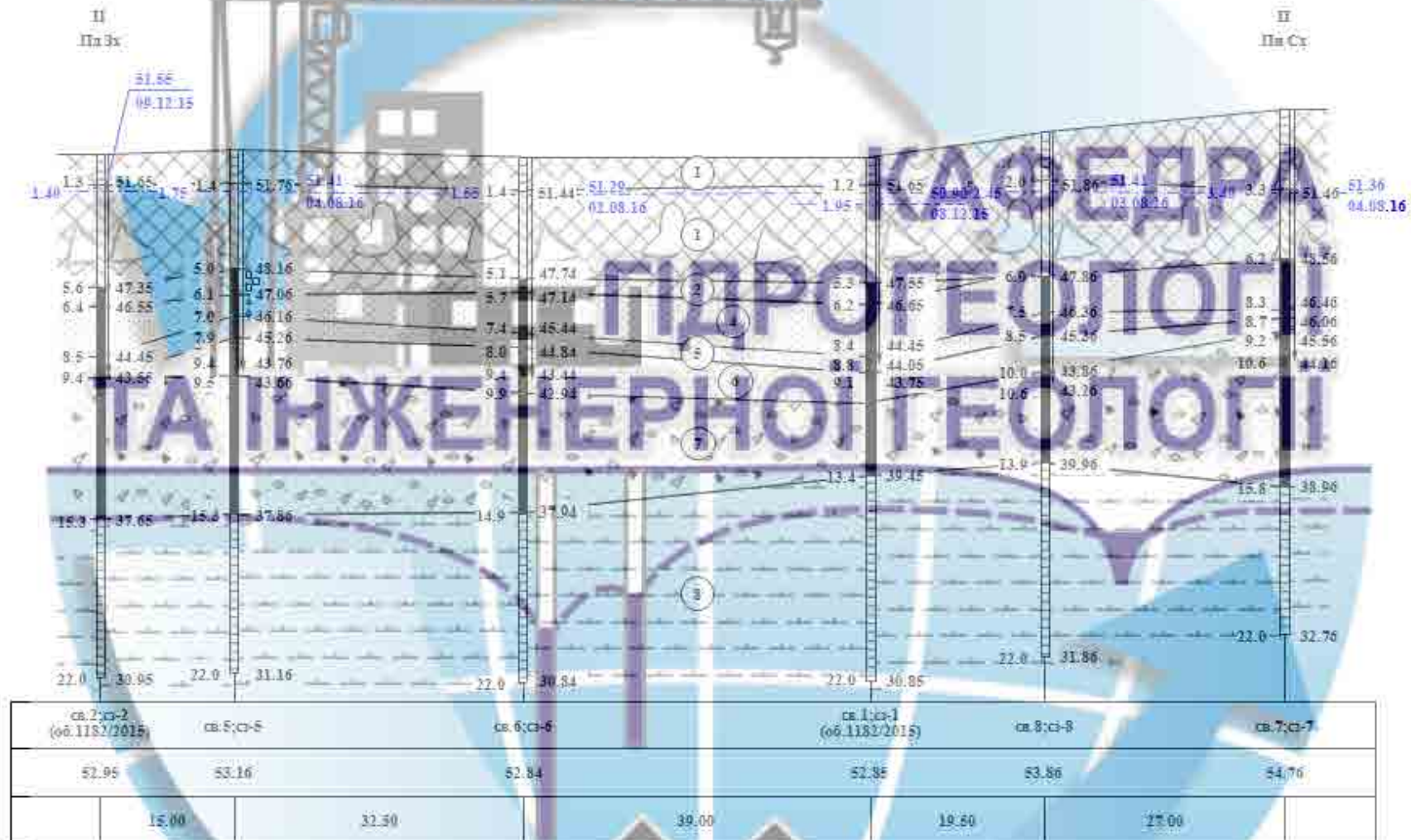


Рисунок 2.2 – Інженерно-геологічний розріз ділянки проєктованого будівництва по лінії II-II





Рисунок 2.3 – Інженерно-геологічний розріз ділянки проектного будівництва по лінії VI-VI



Рисунок 2.4 – Умовні позначення до інженерно-геологічних розрізів



Потужність насипних ґрунтів у межах ділянки змінюється від 3,8 до 7,0 м. Четвертинні сучасні старичні відкладення.

Шар 2 (a IV-III st). Суглинки чорні, мулисті, текучі, з рідкими тонкими прошарками пісків пилуватих, насичених водою, з включенням залишків водної рослинності. Розповсюдження локальне, малопотужні від 0,3 м до 1,1 м.

Шар 3 (a IV-III st). Супіски чорні, темно-сірі, пластичні, з гніздами і тонкими прошарками мулу, піску пилуватого, з включенням водної рослинності, що слабо розклалися. Розповсюдження локальне, потужність шару змінюється в межах від 0,8 м до 3,3 м.

Четвертинні алювіальні відкладення.

Шар 4 (a III). Піски кварцові, сірі, світло-сірі, темно-сірі, дрібні, неоднорідні, насичені водою, в покрівлі шару з прошарками мулу і пилуватого піску. Мають повсюдне поширення, залягають під насипними ґрунтами, суглинками і супісками (шари 1, 2, 3) на глибинах 4,9...8,4 м, не витриманою потужністю від 0,8 м до 2,1 м.

Шар 5 (a III). Піски кварцові, сірі, дрібні, однорідні, насичені водою, із залишками раковин молюсків, з лінзами піску середньої крупності та одиничними включеннями гравію та гальки. Поширені повсюдно, залягають під пісками шару 4 на глибинах 6,5...9,8 м потужністю від 1,4 м до 1,8 м.

Шар 6 (a II). Піски кварцові, жовті, середньої крупності, однорідні, насичені водою, з рідкими включеннями гравію кварцу. Мають повсюдне поширення, залягають під пісками шару 5 на глибинах 7,8...10,6 м. Потужність змінюється від 0,5 м до 2,0 м.

Шар 7 (a II). Піски кварцові, сірі, темно-бурі, різнозерністі (від дрібних до гравелистих), неоднорідні, насичені водою, з включенням гравію кварцу, жорстви, щебеню та слабоокатаної гальки скельних порід, рідше обломків пісковику вмістом від 12...15 % до 35 %, з рідкими грудками буровугільної глини та з уламками і цілими раковинами молюсків. Розповсюджені повсюдно, залягають під пісками шару 6 на глибинах 8,4...12,0 м, потужність змінюється у значних межах – від 2,4 м до 6,8 м.

Палеозой-кайнозойські відкладення.

Шар 8 (PZ-KZ). Дисперсна зона кори вивітрювання скельних порід (підзона глинистих продуктів розкладання) – каоліни первинні (за номенклатурою – суглинки), білі, сірувато-білі, сірі, тверді, з включенням зерен кварцу, жорстви та щебеню скельних порід, вмістом до 25...35 %.

Поширені повсюдно, залягають під пісками шару 7 на глибинах від 12,4 м до 18,8 м, максимально розкрита потужність становить 9,6 м.

## 2.2 Гідрогеологічні умови

У гідрогеологічному відношенні в межах ділянки проектного будівництва поширений один водоносний горизонт, приурочений до четвертинних відкладень, область поширення обмежена річкою Дніпро. Установлений рівень горизонту зафіксований (серпень 2016 р.) на глибинах від 1,3 м до 5,3 м (абс. відм. 51,2...51,50 м) від поверхні землі. Режим водоносного горизонту тісно пов'язаний з рівневим режимом руслових вод річки.

Водовмісними ґрунтами служать насипні (шар 1 – з глибини залягання рівня підземних вод), супіщано-суглинисті та піщані відкладення (шари 2...7), що характеризуються різними фільтраційними властивостями. Коефіцієнти фільтрації водовмісних ґрунтів наступні: насипних ґрунтів (шар 1) – 1,0 м/добу, супіщано-суглинистих різностей (шари 2...3) – 0,1...0,4 м/добу, пісків дрібних (шар 4, 5) – 5,0 м/добу, пісків середніх (шар 6) – 8,5 м/добу, пісків різнозернистих (шар 7) – 13,5 м/добу.

Відносним водотривом є каоліни (шар 8) – коефіцієнт фільтрації 0,002...0,004 м/добу.

Водоносний горизонт поповнює свої запаси за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, втрат з водонесучих комунікацій, припливу з боку вище розташованих забудованих територій, а також підпору з боку річки. Максимально розкрита потужність водоносного горизонту 13,55 м. Розвантаження здійсню-



ється у східному напрямку до річки Дніпро (НПГ = 51,40 м).

Вода-середовище прозоре, безбарвне, без запаху.

Відповідно до ДСТУ Б В.2.6-145:2010 вода за вмістом сульфатів ( $SO_4 = 84,8... 389,3$  мг/дм<sup>3</sup>;  $HCO_3 = 4,0... 10,6$  мг-екв/дм<sup>3</sup>) неагресивна до бетонів марок  $W_4, W_6, W_8$  за водонепроникністю на портландцементі ДСТУ Б В.2.7-46, а також неагресивна до бетонів всіх марок на портландцементі з вмістом в клінкері мінеральних добавок.

За вмістом хлоридів ( $Cl = 149,1... 191,7$  мг/дм<sup>3</sup>) неагресивна до арматури залізобетонних конструкцій при постійному зануренні і слабоагресивна при періодичному змочуванні.

За водневим показником, сумою хлоридів і сульфатів середньоагресивна до металевих конструкцій при вільному доступі кисню.

### 2.3 Інженерно-геологічні умови

Досліджувана товща ґрунтів за номенклатурними ознаками і властивостями поділена на 9 інженерно-геологічних елементів (ІГЕ), в межах яких товща є статистично однорідною за складом і властивостями. Нумерація виділених ІГЕ відповідає нумерації геологічних шарів.

Нижче описані найбільш характерні особливості фізико-механічних властивостей ґрунтів ІГЕ.

Насипні ґрунти ІГЕ-1а. Через різний склад і щільність складання в ґрунтах спостерігається велика різниця значень показників фізико-механічних властивостей. Консистенція ґрунтів змінюється від м'якопластичної, пластичної, до текучої, показник текучості 0,0...1,3 (нормативне значення 0,79). Природна вологість – від 0,18 до 0,51 дол. од. (нормативне значення 0,25 дол. од.), щільність – від 1,65 г/см<sup>3</sup> до 1,98 г/см<sup>3</sup> (нормативне значення 1,88 г/см<sup>3</sup>, щільність сухого ґрунту – від 1,09 г/см<sup>3</sup> до 1,66 г/см<sup>3</sup> (нормативне значення 1,51 г/см<sup>3</sup>). Вміст органічних речовин 1,5...5,6 %. Коефіцієнт пористості змінюється від 0,60 до

1,46, а питомий опір ґрунту при статичному зондуванні від 1,3 МПа до 11,6 МПа.

Гранулометричний склад дуже неоднорідний, через хаотичний вміст будівельного і побутового сміття визначення вмісту окремих фракцій не було можливим. За давності виникнення відносяться від незлежаних до злежаних.

Розрахунковий опір ґрунту в природному стані становить 66,0 кПа.

Суглинки чорні ІГЕ-2. Число пластичності 0,08 дол. од. Природна вологість 0,24...0,30 дол. од. (нормативне значення 0,27 дол. од.), мають текучу консистенцію (показник текучості 1,13 при розкиді значень 0,7...1,63). Щільність ґрунту 1,82...1,88 г/см<sup>3</sup> (нормативне значення 1,85 г/см<sup>3</sup>), щільність сухого ґрунту 1,40...1,48 г/см<sup>3</sup> (нормативне значення 1,45 г/см<sup>3</sup>). Коефіцієнт пористості 0,82...0,91 (нормативне значення 0,84), питомий опір при статичному зондуванні 1,54 МПа. Вміст органічних речовин від 3,0 % до 8,3 %.

Деформаційні показники ґрунту низькі: модуль загальної деформації 4,0 МПа. Характеристики міцності показників наступні: кут внутрішнього тертя 18,0°, питоме зчеплення 15,0 кПа.

Супіски чорні ІГЕ-3. Число пластичності 0,05 дол. од. Природна вологість 0,20...0,22 дол. од. (нормативне значення 0,21 дол. од.), консистенція пластична (показник текучості 0,53), щільність ґрунту 1,90...1,94 г/см<sup>3</sup> (нормативне значення 1,92 г/см<sup>3</sup>), щільність сухого ґрунту 1,56...1,61 г/см<sup>3</sup> (нормативне значення 1,59 г/см<sup>3</sup>). Коефіцієнт пористості 0,66...0,71 (нормативне значення 0,68), питомий опір при статичному зондуванні 3,52 МПа. Вміст органічних речовин від 1,0 % до 3,2 %.

Деформаційні показники ґрунту: модуль загальної деформації 5,5 МПа. Характеристики міцності показники наступні: кут внутрішнього тертя 23,0°, питоме зчеплення 11,0 кПа.

Піски дрібні ІГЕ-4. За гранулометричним складом піщана фракція розміром 0,10...0,25 мм становить 77,06 %, що характеризує піски як дрібні, неоднорідні (ступінь неоднорідності 6,89).

Природна вологість ґрунтів 0,22 дол. од., за ступенем вологості 0,86 – на-



сичені водою. Нормативне значення щільності ґрунту  $1,93 \text{ г/см}^3$ , щільності сухого ґрунту  $1,58 \text{ г/см}^3$ . За коефіцієнтом пористості  $0,68$  і питомим опором ґрунту при статичному зондуванні  $7,54 \text{ МПа}$  класифікуються як середньої щільності.

Модуль загальної деформації дорівнює  $25,0 \text{ МПа}$ . Показники міцності: кут внутрішнього тертя  $31,0^\circ$ , пито́ме зчеплення  $1,5 \text{ кПа}$ .

Піски дрібні ІГЕ-5. За гранулометричним складом піщана фракція розміром  $0,10 \dots 0,25 \text{ мм}$  становить  $85,53 \%$ , що характеризує піски як дрібні, однорідні (ступінь неоднорідності  $2,78$ ).

Природна вологість ґрунтів  $0,21$  дол. од., за ступенем вологості  $0,94$  – насичені водою. Нормативне значення щільності ґрунту  $2,02 \text{ г/см}^3$ , щільність сухого ґрунту  $1,67 \text{ г/см}^3$ . За коефіцієнтом пористості  $0,59$  і питомим опором ґрунту при статичному зондуванні  $13,6 \text{ МПа}$  класифікуються як щільні.

Модуль загальної деформації дорівнює  $33,0 \text{ МПа}$ . Показники міцності: кут внутрішнього тертя  $34,0^\circ$ , пито́ме зчеплення  $3,0 \text{ кПа}$ .

Піски середні ІГЕ-6. За гранулометричним складом піщана фракція розміром  $0,25 \dots 0,5 \text{ мм}$  становить  $51,6 \%$ , що характеризує піски як середньої крупності, однорідні (ступінь неоднорідності  $2,85$ ).

Природна вологість ґрунтів  $0,19$  дол. од., за ступенем вологості  $0,94$  – насичені водою. Нормативне значення щільності ґрунту  $2,06 \text{ г/см}^3$ , щільності сухого ґрунту  $1,73 \text{ г/см}^3$ . За коефіцієнтом пористості  $0,54$  і питомим опором ґрунту при статичному зондуванні  $20,42 \text{ МПа}$  класифікуються як щільні.

Модуль загальної деформації дорівнює  $41,0 \text{ МПа}$ . Показники міцності: кут внутрішнього тертя  $38,0^\circ$ , пито́ме зчеплення  $2,0 \text{ кПа}$ .

Піски різнозернисті ІГЕ-7. Відрізняються неоднорідністю за рахунок включень гальки, гравію, жорстви і щебеню скельних порід.

У гранулометричному складі переважає піщана фракція розміром  $0,25 \dots 0,5 \text{ мм}$  вмістом  $45,94 \%$ , фракція крупніше  $2,0 \text{ мм}$  складає  $11,64 \%$ .

Природна вологість ґрунтів  $0,19$  дол. од., за ступенем вологості  $1,00$  – насичені водою. Нормативне значення щільності ґрунту  $2,10 \text{ г/см}^3$ , щільності су-

хого ґрунту  $1,76 \text{ г/см}^3$ . За коефіцієнтом пористості  $0,51$  і питомим опором ґрунту при статичному зондуванні  $22,19 \text{ МПа}$  класифікуються як щільні.

Модуль загальної деформації  $44,0 \text{ МПа}$ , кут внутрішнього тертя  $39,0^\circ$ , питоме зчеплення  $2,5 \text{ кПа}$ .

Каоліни ІГЕ-8. Літологічно представлені суглинками твердими (показник текучості  $< 0$ ), природна вологість  $0,23 \dots 0,26$  дол. од. (нормативне значення  $0,25$  дол. од.). За гранулометричним складом глиниста фракція розміром  $< 0,005 \text{ мм}$  становить  $19,0 \%$ , пилювата фракція розміром  $0,005 \dots 0,05 \text{ мм}$  –  $35,37 \%$ , піщана фракція розміром  $0,05 \dots 2,0 \text{ мм}$  –  $39,22 \%$ , вміст фракції розміром  $> 2,0 \text{ мм}$  –  $6,42 \%$ . Щільність змінюється від  $1,91 \text{ г/см}^3$  до  $2,02 \text{ г/см}^3$  (нормативне значення  $1,98 \text{ г/см}^3$ ), щільність сухого ґрунту  $1,52 \dots 1,63 \text{ г/см}^3$  (нормативне значення  $1,59 \text{ г/см}^3$ ).

Величина нормативного значення модуля загальної деформації в інтервалі навантажень  $0,1 \dots 0,2 \text{ МПа}$  становить  $15,0 \text{ МПа}$ , поступово зростає при збільшенні навантаження і в інтервалі навантажень  $0,9 \dots 1,0 \text{ МПа}$  становить  $45,0 \text{ МПа}$ .

Показники міцності отримані при випробуваннях на зріз ступенями  $0,2$ ,  $0,4$  і  $0,6 \text{ МПа}$ : нормативне значення кута внутрішнього тертя  $19,0^\circ$ , питомого зчеплення  $32,0 \text{ кПа}$ .

Прогнозна оцінка інженерно-геологічних умов.

За глибиною залягання рівня підземних вод і близького розташування від річки досліджувана територія відноситься до категорії природно і постійно підтоплених підземними водами територій.

При аналізі гідрогеологічної обстановки за різні роки не відзначено будь-якої закономірності в зміні глибини залягання рівня підземних вод, що пояснюється залежністю коливань від рівневого режиму річки. Гідрогеологічні умови на досліджуваній ділянці несприятливі для будівництва та експлуатації будівель і підземних комунікацій.

При будівництві і експлуатації проєктованих споруд погіршення фізико-механічних властивостей виділених ІГЕ не відбудеться.



### 3 ПРОГНОЗНА ОЦІНКА ГІДРОДИНАМІЧНОГО РЕЖИМУ НА ДІЛЯНЦІ ПРОЕКТОВАНОГО БУДІВНИЦТВА

#### 3.1 Математичне забезпечення і структура чисельної геофільтраційної моделі

Для оцінки змін гідродинамічного режиму на ділянці проєктованого будівництва використана у програмному комплексі Visual MODFLOW чисельна модель геофільтрації, яка представляє собою модель тривимірного потоку підземних вод постійної щільності в пористому середовищі і описується диференціальними рівняннями в часткових похідних [1,4-7,12,13]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (3.1)$$

де  $k_{xx}$ ,  $k_{yy}$  і  $k_{zz}$  – гідрравлічна проникність 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 (3.1) разом з граничними і початковими умовами описує тривимірний нестационарний потік підземних вод в гетерогенному і анізотропному середовищі за умови, що основні напрямки гідрравлічної проникності співпадають з напрямками координатних осей.

Для вирішення рівняння (3.1) в чисельній моделі використовується метод кінцевих різностей, для чого виконується дискретизація області фільтрації прямокутною сіткою на окремі розрахункові блоки. 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).  $DEL_R_j$  – ши-

рина блоків в колонці  $j$ ,  $DEL C_i$  – 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:

$$\begin{aligned}
 & CR_{i,j-\frac{1}{2},k} \left( h_{i,j-1,k}^m - h_{i,j,k}^m \right) + CR_{i,j+\frac{1}{2},k} \left( h_{i,j+1,k}^m - h_{i,j,k}^m \right) + \\
 & + CC_{i-\frac{1}{2},j,k} \left( h_{i-1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m \right) + CC_{i+\frac{1}{2},j,k} \left( h_{i+1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m \right) + \\
 & + CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} \left( h_{i,j,k-1}^m - h_{i,j,k}^m \right) + CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} \left( h_{i,j,k+1}^m - h_{i,j,k}^m \right) + \\
 & + P_{i,j,k} h_{i,j,k}^m + Q_{i,j,k} = SS_{i,j,k} \left( DELR_j \cdot DELC_i \cdot THICK_{i,j,k} \right) \frac{h_{i,j,k}^m - h_{i,j,k}^{m-1}}{t^m - t^{m-1}}, \quad (3.2)
 \end{aligned}$$

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 ( $L^{-1}$ );  $DEL R_j$  – ширина блоку  $j$ -ої колонки у всіх рядах ( $L$ );  $DEL C_i$  – 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 (3.2) прирівнюється до нуля.



Застосування рівняння (3.2) одночасно до всіх блоків модельованої області визначає формування системи рівнянь, рішення якої дозволяє встановити напір у вузловій точці кожного розрахункового блоку.

Для чисельного рішення рівняння (3.2) приведено до вигляду:

$$\begin{aligned}
 & CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} h_{i,j,k-1} + CC_{i-\frac{1}{2},j,k} + CR_{i,j-\frac{1}{2},k} h_{i,j-1,k} + \\
 & + (-CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} - CC_{i-\frac{1}{2},j,k} - CR_{i,j-\frac{1}{2},k} - \\
 & - CR_{i,j+\frac{1}{2},k} - CC_{i+\frac{1}{2},j,k} - CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} + HCOF_{i,j,k}) h_{i,j,k} + \\
 & + CR_{i,j+\frac{1}{2},k} h_{i,j+1,k} + CC_{i+\frac{1}{2},j,k} h_{i+1,j,k} + CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} h_{i,j,k+1} = RHS_{i,j,k}. \quad (3.3)
 \end{aligned}$$

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

В рівнянні (3.3)  $HCOF_{i,j,k}$  містить  $P_{i,j,k}$  і складову ємності, яка визначається напором на поточному часовому кроці (від'ємний знак з'являється через перенесення доданка в ліву частину рівняння).  $RHS_{i,j,k}$  містить витрату потоку  $Q$  (від'ємний знак з'являється через перенесення 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:

$$VCONT_{i,j,k+\frac{1}{2}} = \frac{1}{\frac{(THICK_{i,j,k})/2}{k_{i,j,k}^z} + \frac{(THICK_{i,k,k+1})/2}{k_{i,j,k+1}^z}}, \quad (3.4)$$

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 гідрравлічні 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 області моделювання і на її контурах, інфільтраційне живлення, робота дренажних споруд та ін.

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.

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

Пакет випарювання моделює ефект транспірації рослин, прямого випарювання та просочування на поверхню землі. Пакет заснований на наступних положеннях: коли рівень ґрунтових вод знаходиться на рівні або вище поверхні землі (у верхній частині шару 1) витрата від випарювання ґрунтових вод відбувається при максимально встановленій величині випарювання; при висоті рівня ґрунтових вод нижче глибини можливого випарювання, або ж під шаром 1, випарювання 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 зага-



льній 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 дренавання 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 поверхні 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:

$$C = \frac{L \cdot W \cdot K}{M}, \quad (3.5)$$

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 на-

пори 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:

$$C = \frac{(L \cdot W) \cdot K}{D}, \quad (3.6)$$

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, ( $L$ ).

Водозабірні свердловини в чисельній моделі відтворюються завданням від'ємних значень витрат у блоках, в межах яких розташовані модельовані свердловини. Основними параметрами, що визначають роботу водозабірних свердловин, є їх просторові координати, глибина закладення, діаметр, інтервал встановлення фільтру (водоприймальної частини) і розрахунковий дебіт.

При перетині водоприймальною частиною свердловини декількох шарів дольова участь кожного шару, що перетинається, у загальному водопритоці до свердловини визначається довжиною відповідного інтервалу і гідравлічною провідністю розрахункового шару на контурі свердловини. Витрата водозабірної свердловини для  $i$ -го розрахункового шару визначається за формулою:

$$Q_i = \frac{L_i K_{xi}}{\sum (LK_x)_i} Q_t, \quad (3.7)$$

де  $Q_i$  – приток до свердловини із  $i$ -го розрахункового шару протягом розрахункового періоду часу, ( $L^3/T$ );  $Q_t$  – приток до свердловини протягом цього ж часового періоду, ( $L^3/T$ );  $L_i$  – довжина водоприймальної частини свердловини в  $i$ -ому шарі, ( $L$ );  $K_x$  – гідравлічна провідність в напрямку  $x$  в  $i$ -ому розрахунковому шарі, ( $L/T$ );  $\sum (LK_x)_i$  – сума добутків довжин водоприймальної частини свердловини і гідравлічні провідності у напрямку  $x$  для всіх шарів, що перетинаються свердловиною.

У процесі виконання основного пакету чисельного рішення Visual



MODFLOW пакетом витрат для водозабірних свердловин передбачена зміна їх характеристик у відповідності до часової дискретизації чисельної моделі на кожному  $m$ -му часовому кроці.

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, використовується 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

$$COND = RCHLNG \cdot LCOND; \quad (3.8)$$

- для провідності на одиницю площі

$$COND = DX \cdot DY \cdot SCOND, \quad (3.9)$$

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  $\Delta t_1$  може бути визначена із наступного виразу:

$$\Delta t_1 = PERLEN \left( \frac{TSMULT - 1}{TSMULT^{NSTP} - 1} \right). \quad (3.10)$$

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

### 3.2 Розрахункова схематизація і методика моделювання

#### 3.2.1 Граничні умови і розрахункові параметри моделі

Відповідно до основних режимоутворюючих факторів, якими в природних умовах є розподілене за площею інфільтраційне живлення і дренажний вплив річки Дніпро, модельована область визначена в контурах основних геоморфологічних елементів і складових гідрографічної мережі.

З урахуванням просторового положення зазначених меж розміри модельованої області визначені прямокутними координатами 1000 м і 1760 м по осі *x* (в субмеридіональному напрямку) і 1000 м і 1840 м – по осі *y* (в субширотному напрямку), із загальною площею моделюється області 0,64 км<sup>2</sup>.

Розміри розрахункових блоків прийняті рівними 10×10 м, що дозволило з достатньою детальністю відобразити геометрію досліджуваної ділянки, а також гіпсометрію поверхонь модельованих породних шарів, контури внутрішніх гідродинамічних границь і рівневу поверхню водоносного горизонту (рис. 3.1).

Використання в чисельній моделі рівномірної сітки при заданому рівні розрахункової деталізації забезпечує отримання більш стійких рішень порівняно з нерівномірними сітками.





Рисунок 3.1 – Сіткове представлення кінцево-різницевої дискретизації модельованої області



Структура моделі відповідно до геологічної будови території та характеру залягання розвиненого її межах четвертинного водоносного горизонту приведена до тришарової товщі, складеної піщано-глинистими та піщаними відкладеннями (рис. 3.2). У якості нижньої межі моделі прийнята поверхня дисперсної зони кори вивітрювання скельних порід – первинних каолінів, що залягають під піщаними відкладеннями і є відносним водотривом.

Відповідно до прийнятої структури модельованої області розрахункові шари в чисельній моделі представлені наступним чином:

1 шар – водопроникний – складений товщею насипних ґрунтів, представлених сумішшю суглинистих ґрунтів, пісків, ґрунтово-рослинного шару та будівельного сміття, відсипаних без ущільнення (ІГЕ-1, 1а), і старичних суглинків легких піщанистих (ІГЕ-2), а також супісків пилюватих з прошарками пісків (ІГЕ-3). Потужність товщі суглинисто-піщаних відкладень першого шару залежно від природного рельєфу змінюється від 4,0 до 16,7 м.

2 шар – водопроникний – в межах модельованої області представлений алювіальними відкладеннями пісків неоднорідних, дрібних і середньої крупності верхньо- і середньочетвертичного віку (ІГЕ-4, 5, 6). Потужність шару змінюється від 3,1 до 6,4 м.

3 шар – водопроникний – представлений товщею алювіальних пісків середньочетвертичного віку (ІГЕ-7), неоднорідних, із включеннями щебеню, жорстви, гравію, гальки потужністю від 2,7 до 6,9 м, що залягають на первинних каолінах (ІГЕ-8).

Характер залягання розрахункових шарів та їх потужності встановлені за результатами обробки даних буріння розвідувальних свердловин та стратиграфічного розчленування породної товщі, і відображають загальні закономірності геологічної будови досліджуваної території.

У якості зовнішньої гідродинамічної границі на західному контурі моделі прийнята віддалена границя із забезпеченим живленням ( $Q = f(H)$ ), положення якої встановлено відповідно до загальної гідродинамічної схеми досліджуваної території (рис. 3.3).



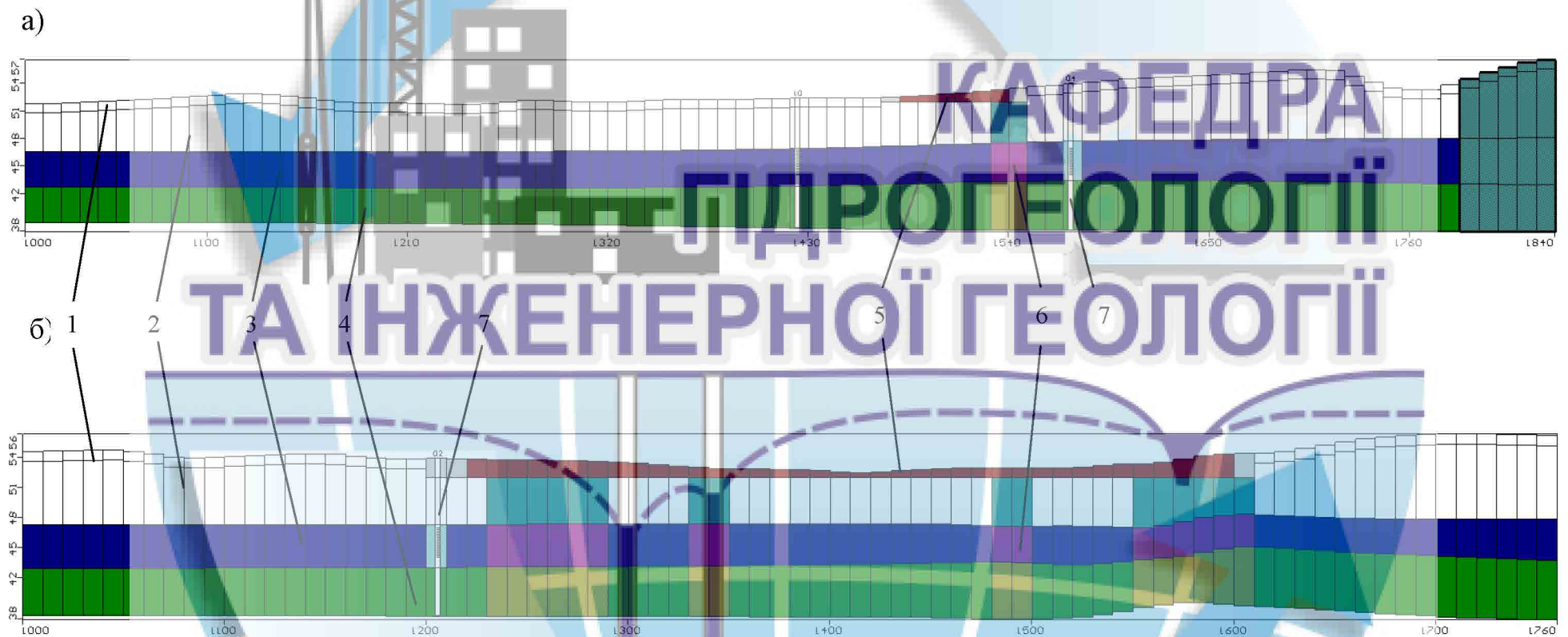


Рисунок 3.2 – Структура модельованої області у вертикальному перерізі – субширотний (а) і субмеридіональний (б) напрямки: 1...4 – розрахункові шари; 5 – пластовий дренаж; 6 – пальове поле під проєктованими будівлями; 7 – водознижувальні свердловини



Рисунок 3.3 – Зовнішні і внутрішні гідродинамічні границі модельованої області



Величина напору на цій границі прийнята рівною 54,0 м, що відповідає фактично встановленому положенню рівневої поверхні четвертинного горизонту в інтервалі зчленування заплави р. Дніпро та корінного схилу, що відповідає абсолютним відміткам 53,16...54,96 м [16].

Значення гідравлічних провідностей на контурі віддаленого живлення для розрахункових шарів моделі задані відповідно до їх фільтраційних властивостей і змінюються в межах від 0,056...0,096 м<sup>2</sup>/добу для товщі насипних ґрунтів (шар 1) і 0,245...0,327 м<sup>2</sup>/добу для дрібних пісків (шар 2) до 0,653...0,736 м<sup>2</sup>/добу – для неоднорідних гравелистих пісків в основі водовмісної товщі (шар 3).

Враховуючи характер живлення та розвантаження четвертинного водоносного горизонту, а також загальний напрямок підземного потоку від корінного схилу у бік річки Дніпро, на зовнішніх північній та південній границях моделі задано граничну умову другого роду, що відповідає відсутності бічного притоку –  $Q = 0$ .

Зовнішньою гідродинамічною границею на східному контурі моделі є річка Дніпро, рівневий режим якої, згідно з даними, наведеними в [14,15], визначається режимом роботи ДніпроГЕС і розташованих вище за течією водосховищами. При абсолютній відмітці нормального підпірного горизонту 51,40 м амплітуда коливання рівня води у м. Дніпро при добовому регулюванні на Дніпродзержинській ГЕС не перевищує 0,36 м, а максимально і мінімально можливі відмітки рівня води складають відповідно 51,84 м і 50,52 м.

При вирішенні обернених задач та оцінці збіжності чисельної моделі абсолютна відмітка води в р. Дніпро прийнято згідно з періодом проведення інженерно-геологічних вишукувань – серпень 2016 р., який відповідає літньо-осінньому періоду малої водності – 51,00 м.

В прогнозних розрахунках при оцінці порушень гідродинамічного режиму на ділянці проектного будівництва відмітка рівня води в р. Дніпро задавалася рівною величині нормального підпірного горизонту – 51,40 м, а при оцінці ефективності роботи дренажних систем в умовах роботи водозниження –

абсолютній відмітці 1 % забезпеченості – 52,68 м.

Гідравлічна провідність підруслових відкладень р. Дніпро встановлена у відповідності до фільтраційних властивостей ґрунтів розрахункових шарів 1 і 2 у межах прибережної ділянки русла та прийнята рівною 250 м<sup>2</sup>/добу.

Фільтраційні параметри розрахункових шарів чисельної моделі задані згідно з результатами досліджень, виконаних на етапі інженерно-геологічних вишукувань.

До розрахунку були прийняті значення коефіцієнту фільтрації, пружної і гравітаційної водовіддачі у відповідності до значень, наведених у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахункові фільтраційні параметри чисельної моделі

Розрахунковий шар	Фільтраційні параметри		
	Коефіцієнт фільтрації, $K$ ( $K_X = K_Y / K_Z$ ), м/добу	Коефіцієнт гравітаційної водовіддачі, $\mu$ , дол. од.	Коефіцієнт пружної водовіддачі, $\mu^*$ , дол. од.
Шар 1	1,0/0,1	0,10	0,0001
Шар 2	5,0/0,5	0,15	0,0001
Шар 3	13,5/1,35	0,20	0,00001

За відсутності вираженої зональності гідравлічних характеристик в межах розрахункових шарів їх величини в чисельній моделі задані рівними середнім значенням у межах усєї площі модельованих шарів.

Інфільтраційне живлення за площею моделі встановлено рівним 15,7 мм/рік, що становить близько 3 % від загальної кількості атмосферних опадів, що складає, згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-27:210 «Будівельна кліматологія», 522 мм/рік.

При оцінці природного інфільтраційного живлення до уваги було прийняті дані досліджень [2,3], виконаних на балансових станціях Причорноморського артезіанського басейну (Асканійська, Інгулецька, Шкодогірська, Казанська).

Виділення в межах досліджуваної території істотно різних за природним інфільтраційним живленням зон на етапі вирішення обернених задач вважалось



недоцільним, оскільки частка атмосферних опадів, що надходить на рівень підземних вод, в умовах, що розглядаються, визначається різноспрямованою дією сукупності факторів – характеру рельєфу, наявності рослинності, ухилів денної поверхні, проникності порід зони аерації тощо.

Для врахування випаровування та височування підземних вод на ділянках їх виклинювання в розрахунок введено параметр, що забезпечує відтік підземних вод у межах контурів, де глибина їх залягання не перевищує 50 см. Величина випаровування в моделі задана рівною 495 мм/рік, що відповідає величині, характерною для випаровування (евапотранспірації) для даної кліматичної зони.

### 3.2.2 Методика моделювання

Методикою моделювання передбачалося вирішення обернених і прогнозних задач для оцінки змін гідродинамічного режиму на ділянці проектного будівництва відповідно до просторового розташування проєктованих об'єктів, як в існуючих умовах, так і в умовах, порушених в результаті баражного впливу паливних фундаментів і нормативних втрат із водонесучих комунікацій.

Вирішення прогнозних задач виконувалося в нестационарній постановці для розрахункових періодів, визначених відповідно до часу досягнення в межах модельованої області квазістационарного режиму фільтрації.

Основними факторами, що визначають формування гідродинамічного режиму в межах ділянки проектного будівництва, були зміна інтенсивності інфільтраційного живлення на ділянці забудови внаслідок втрат із водонесучих комунікацій, баражний ефект, створюваний в результаті спорудження паливних фундаментів, і зміни рівня води в р. Дніпро.

Відповідно до [11] нормативна величина додаткового техногенного інфільтраційного живлення для міських територій з відповідним типом забудови в умовах нестійкого зволоження становить  $2,3 \cdot 10^{-3}$  м/добу або 839,5 мм/рік. На-

ведене значення з урахуванням величини природного інфільтраційного живлення 15,7 мм/рік задавалася в чисельній моделі в межах ділянки проекрованої забудови у вигляді розподіленого по площі розрахункового шару 1 живлення.

Для врахування впливу баражного ефекту пальових фундаментів у чисельній моделі в контурах проєктованих будівель задавалися знижені на порядок значення коефіцієнтів фільтрації водовмісних ґрунтів у першому і другому розрахункових шарах – на глибину, що відповідає положенню підшови пальового фундаменту.

Прогнозний вплив рівневого режиму річки Дніпро на гідродинамічний стан ґрунтового водоносного горизонту оцінювався при підтримці рівня води на абсолютній відмітці нормального підпірного горизонту 51,40 м та в умовах досягнення рівнем води у річці абсолютної відмітки з 1 % забезпеченістю – 52,68 м.

Порівняльна оцінка роботи дренажних систем проводилася в умовах усталеного режиму фільтрації при сукупній дії всіх зазначених вище факторів і досягнутому положенні рівня води в р. Дніпро з абсолютною відміткою 52,68 м.

### 3.3 Оцінка змін гідродинамічного режиму в порушених будівництвом умовах

Оцінка гідродинамічного режиму ділянки проектованого будівництва в умовах існуючого станом на серпень 2016 р. гідродинамічного режиму виконана за даними вирішення обернених задач у стаціонарній постановці.

Згідно з даними моделювання, досягнення розрахунковими рівнями фактично встановлених у період проведення інженерно-геологічних вишукувань відбувається при заданих фільтраційних параметрах розрахункових шарів товщі, що моделюється (табл. 3.1), і абсолютній відмітці рівня води в р. Дніпро 51,00 м. Встановлені для існуючих умов розрахункові відмітки рівня підземних



вод на ділянці будівництва розташовуються в межах 51,20...51,55 м (рис. 3.4) при фактичному їх положенні на відмітках 51,29...51,50 м, при цьому відхилення розрахункових і фактичних відміток рівня підземних вод не перевищує 0,2 м.

Оцінена при калібруванні моделі збіжність розрахункових даних з даними фактичних спостережень характеризується коефіцієнтом кореляції, рівним 0,78 при стандартній похибці оцінки 0,033 м, що підтверджує коректність постановки розв'язуваних задач і достовірність прогнозних розрахунків.

Балансові складові модельованої області, встановлені за даними рішення обернених задач, наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Балансові складові модельованої області станом на серпень 2016 р., відмітка рівня води у р. Дніпро 51,40 м, м<sup>3</sup>/добу

Складові балансу	Живлення	Розвантаження
Інфільтрація	25,789	-
Взаємозв'язок з річкою	66,253	-176,856
Витрати по контуру моделі	155,544	-83,16
Випарювання	-	-72,592
Всього	247,855	-249,449
Похибка		-1,594
Нев'язка, %		0,64

При вирішенні прогнозних задач положення рівня води в р. Дніпро визначалося відміткою НППГ = 51,40 м, що в умовах існуючого гідравлічного взаємозв'язку забезпечувало відповідний підпір рівня ґрунтових вод на ділянці проектного будівництва.

Оцінка баражного впливу пальового фундаменту, пов'язаного зі зниженням проникності водовмісної товщі в основі проєктованих будівель, показала, що при десятикратному зниженні гідравлічної провідності ґрунтів в інтервалі передбачуваного закладення пальового фундаменту не спостерігаються значні деформації рівневої поверхні.

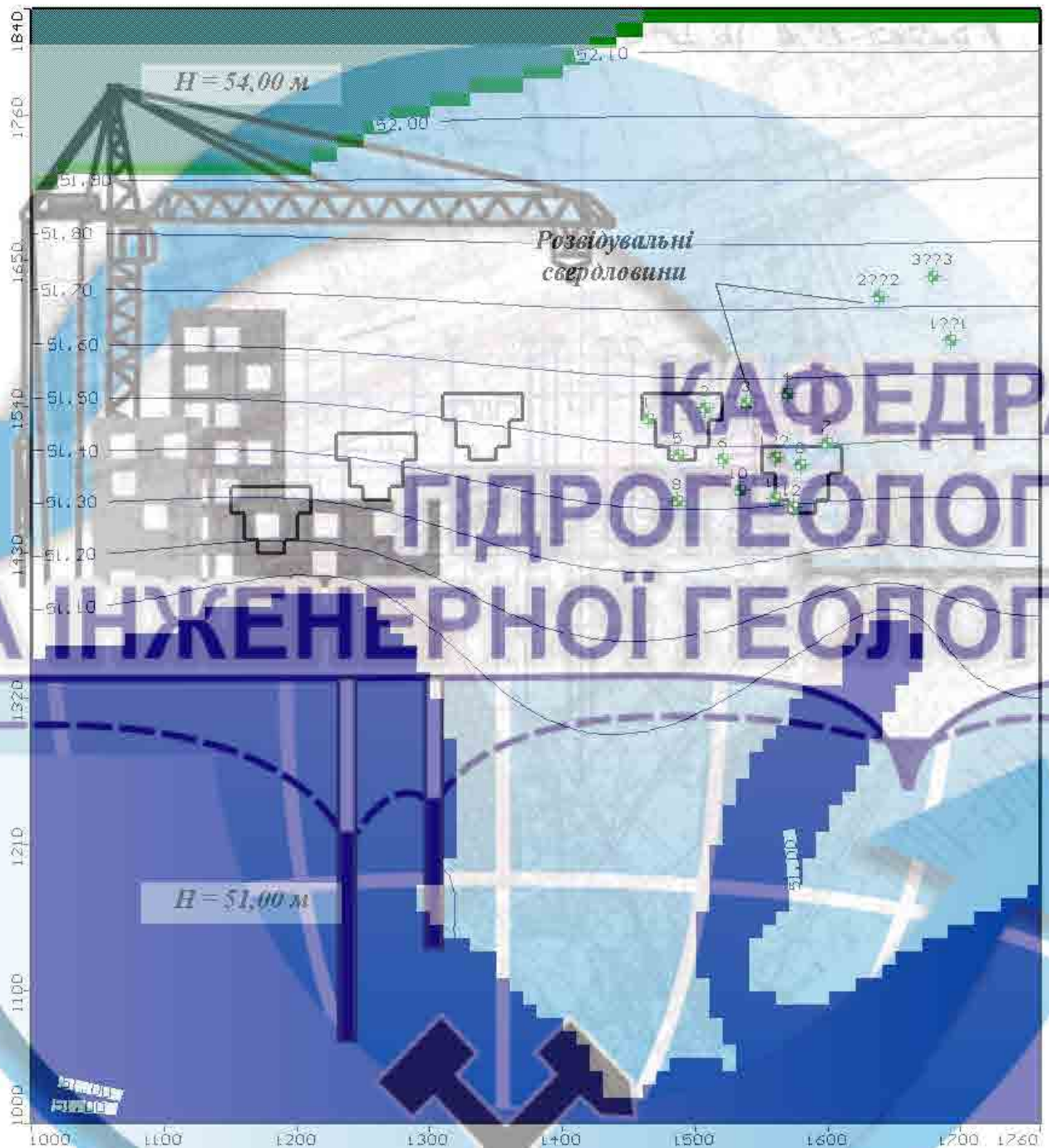


Рисунок 3.4 – Рівнева поверхня ґрунтових вод станом на серпень 2016 р.,  
 м – відмітка рівня води в р. Дніпро – 51,00 м



Згідно з розрахунковими даними в умовах баражного впливу пального фундаменту прогнозне підняття рівня ґрунтових вод відбувається безпосередньо біля контурів проєктованих будівель і не перевищує 3,0...5,0 см (рис. 3.5).

В умовах додаткового техногенного інфільтраційного живлення, заданого в моделі в межах ділянки розташування будівель відповідною зоною (рис. 3.6) зі значенням  $W_t = 855$  мм/рік, спостерігається формування куполу підземних вод з абсолютними відмітками поверхні 51,60...52,25 м. В умовах техногенної інфільтрації помітніше стає і баражний ефект паливих фундаментів: у межах контурів проєктованих будівель підняття рівня підземних вод досягає величини 20,0 см, що відповідає його положенню на відмітці близько 52,40 м.

При підйомі рівня води в р. Дніпро до відмітки 52,68 м, що відповідає 1% забезпеченості при проходженні паводку, прогнозне підвищення рівня ґрунтових на ділянці проєктованого будівництва досягає абсолютних відміток 52,8...53,00 м, що еквівалентно підпору підземного потоку на 1,1...1,3 м (рис. 3.7). У цих умовах додаткове інфільтраційне живлення і баражний вплив паливих фундаментів є факторами, що сприяють утворенню куполів на поверхні ґрунтових вод, приурочених до ділянок проєктованих будівель і мають абсолютні відмітки 53,10...53,30 м.

Зміни гідродинамічного режиму алювіального водоносного горизонту при підйомі рівня води в р. Дніпро до відмітки 52,68 м пов'язане з різким зростанням його живлення річковими водами, про що свідчить розподіл балансових складових модельованої області (табл. 3.3).

Комплексна дія факторів, що впливають на гідродинамічний режим ґрунтових вод у межах ділянки проєктованого будівництва, сприяє зростанню рівнів ґрунтових вод на величину до 1,8 м, результатом якого є підтоплення і часткове затоплення досліджуваної території.

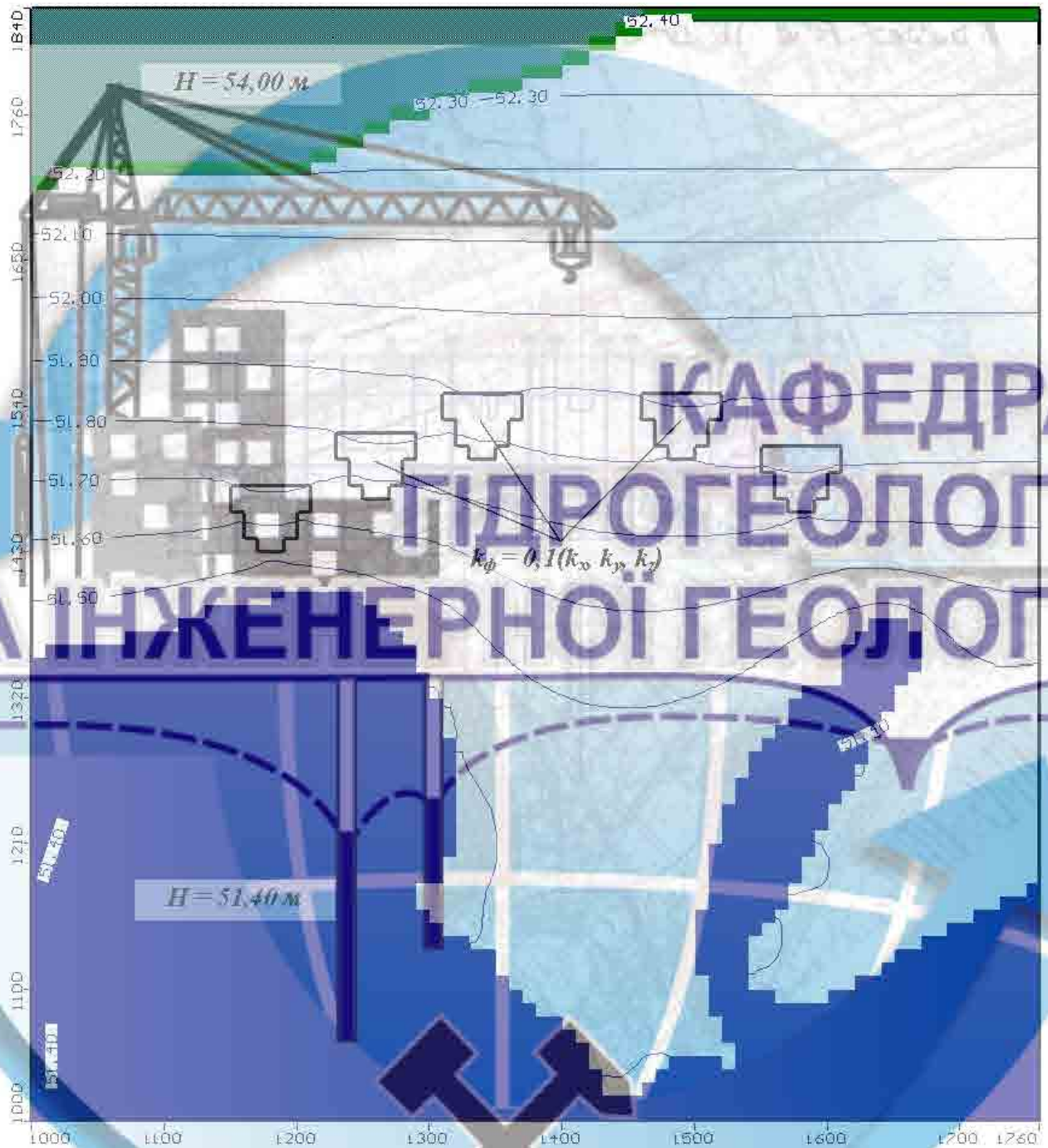


Рисунок 3.5 – Рівнева поверхня ґрунтових вод, баражний вплив пальового фундаменту, м – відмітка рівня води в р. Дніпро – 51,40 м



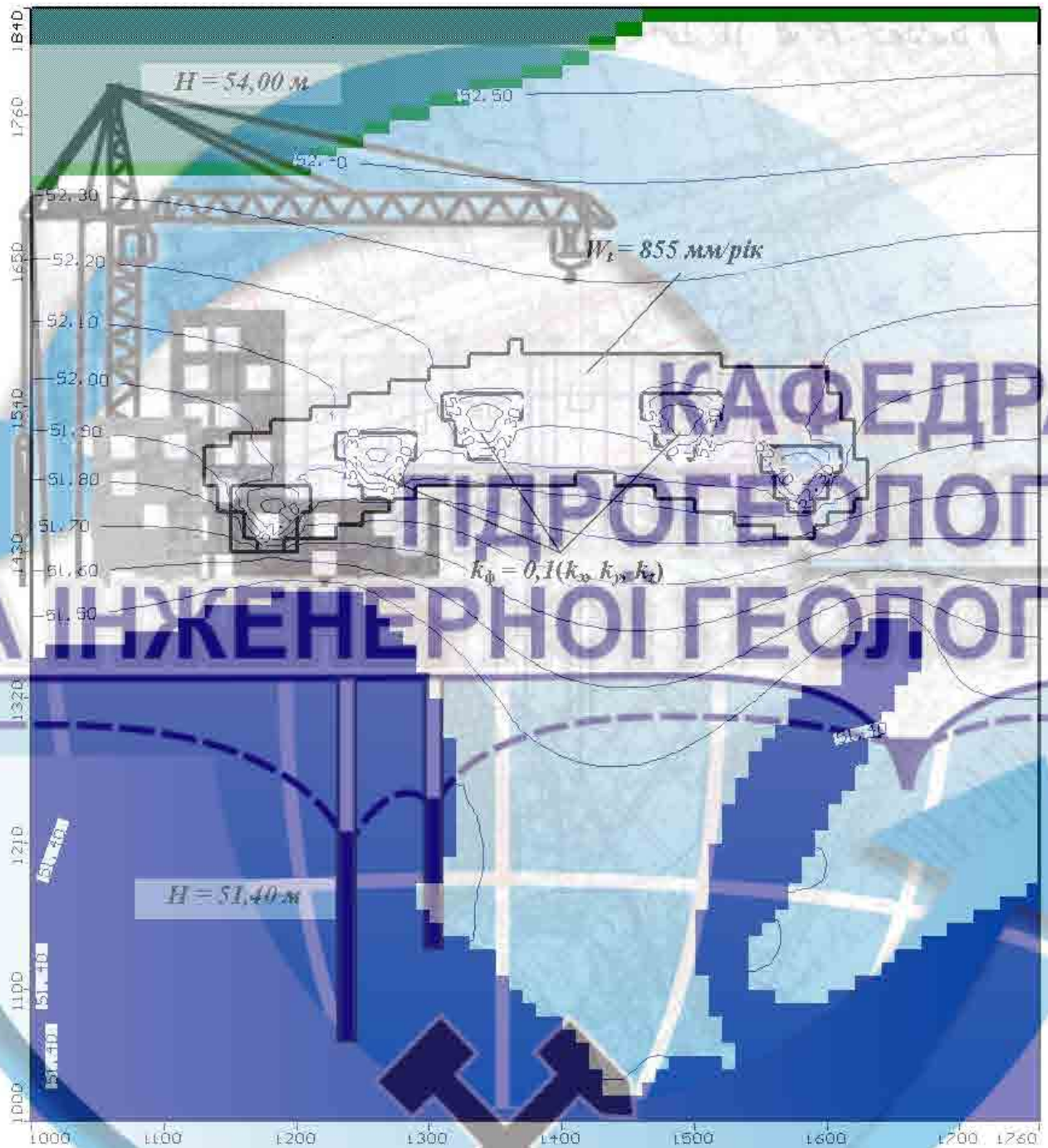


Рисунок 3.6 – Рівнева поверхня ґрунтових вод, техногенне живлення 855 мм/рік, баражний вплив пального фундаменту, м – відмітка рівня води в р. Дніпро – 51,40 м

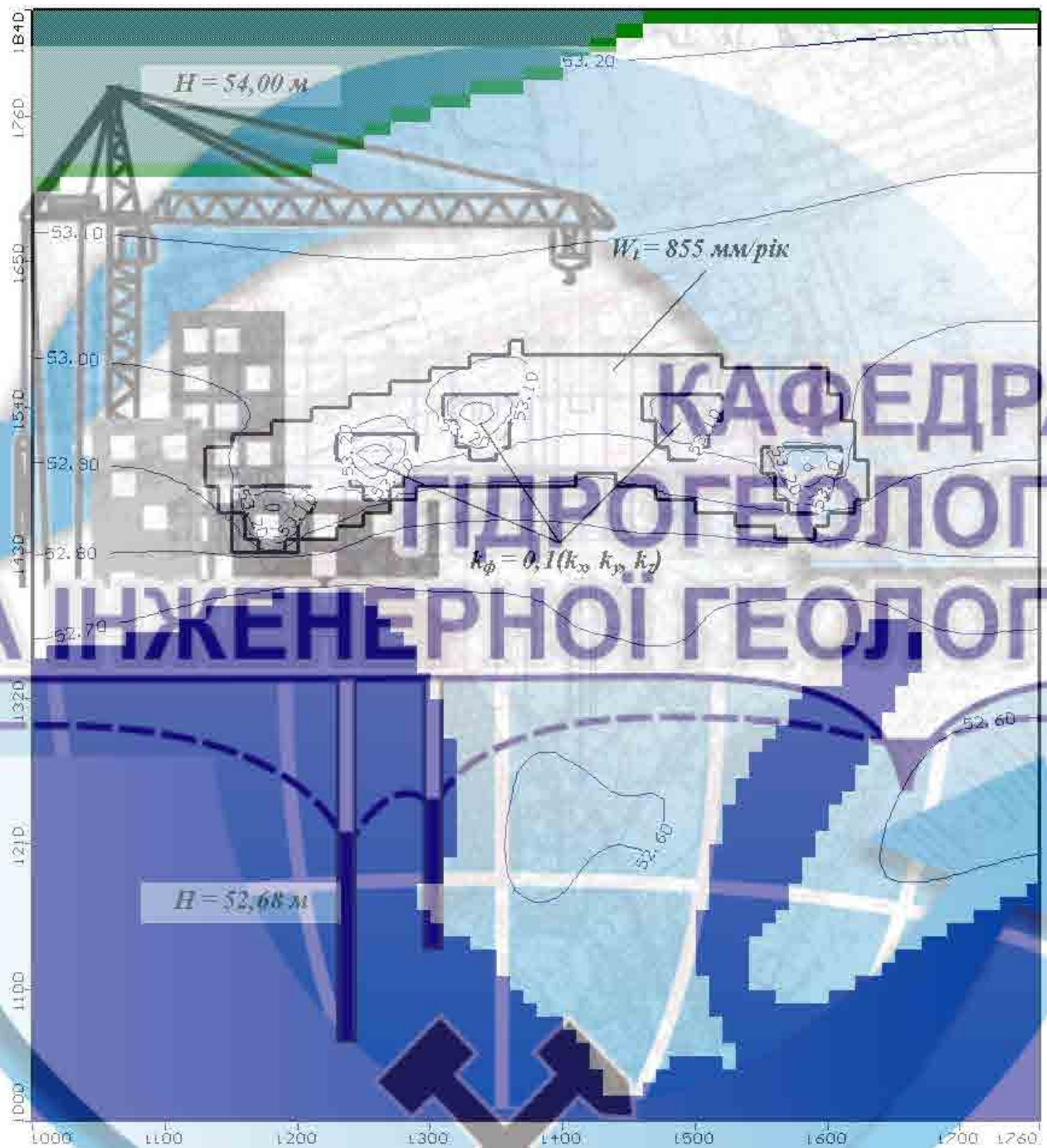


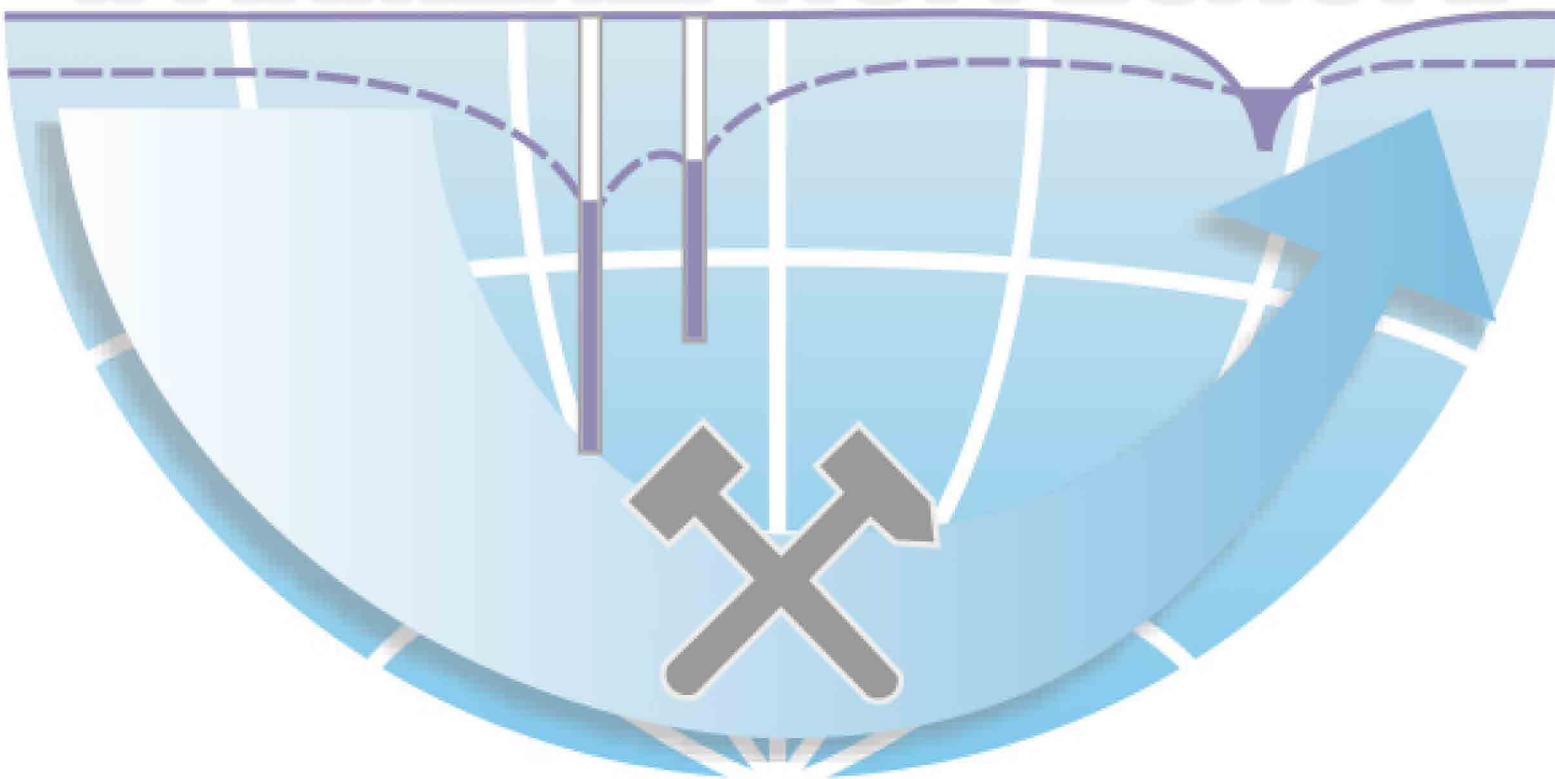
Рисунок 3.7 – Рівнева поверхня ґрунтових вод, техногенне живлення 855 мм/рік, баражний вплив пальового фундаменту, м – відмітка рівня води в р, Дніпро 1 % забезпеченості – 52,68 м



Таблиця 3.3 – Балансові складові модельованої області в умовах баражного впливу пального фундаменту і техногенного живлення водоносного горизонту, відмітка рівня води в р. Дніпро – 52,68 м<sup>3</sup>/добу

Складові балансу	Живлення	Розвантаження
Інфільтрація	137,544	-
Взаємозв'язок з річкою	316,389	-49,615
Витрати по контуру моделі	65,179	-0,00
Ємнісна складова	-	-0,466
Випарювання	-	-457,187
Всього	519,113	-507,267
Похибка		11,846
Нев'язка, %		2,31

# КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



## 4 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ДРЕНАЖУ І ПАРАМЕТРІВ ДРЕНАЖНОГО ВОДОЗНИЖЕННЯ

### 4.1 Гідродинамічна оцінка ефективності системи дренажного

#### водозниження

Серед основних видів дренажу, використання яких доцільно для захисту ділянки проектованого будівництва від підтоплення і затоплення, слід виділити горизонтальний пластовий та вертикальний дренажі. Застосування горизонтального самопливного дренажу в умовах, що розглядається, обмежено з огляду на практичну відсутність перевищення рівнем ґрунтових вод (51,29...51,50 м) відмітки нормального підпірного горизонту річки Дніпро (51,40 м) та визначального впливу річкового режиму на гідродинамічний режим підземних вод прибережної зони.

Облаштування пластових дренажів входить до складу запобіжних заходів, що оберігають окремі будівлі та споруди від підтоплення ґрунтовими водами [8,9]. Такі дренажі, як правило, споруджуються в період будівництва і перешкоджають підйому рівня ґрунтових вод під спорудами, що захищаються, а також знижують можливість додаткового інфільтраційного живлення ґрунтових вод за рахунок перехоплення і відведення втрат води із водонесучих комунікацій.

Пластові дренажі застосовуються для захисту заглиблених частин споруд за умови, щоб дно котлованів і траншей не доходило до водотриву. Застосування пластових дренажів особливо доцільно в слабопроникних ґрунтах.

Вертикальний дренаж представляє собою ряд або групу вертикальних свердловин, призначених для відбору підземних вод і зниження їх рівня, і застосовується в тих випадках, коли облаштування горизонтального дренажу є економічно недоцільним, або є ускладненим або навіть неможливим внаслідок високої щільності забудови території, що підтоплюється, і насиченості її інженерними комунікаціями [8,10].



За геолого-гідрогеологічними умовами вертикальний дренаж доцільно застосовувати:

- в обводнених ґрунтах досить високої проникності (з коефіцієнтом фільтрації більше 5,0 м/добу), потужності обводнених порід, що перевищує кілька метрів, і глибині залягання водотриву понад 8,0...10,0 м;
- при двошаровій будові обводненої товщі порід, коли верхній шар складений слабопроникними глинистими породами потужністю кілька метрів, а нижній – добре проникними породами;
- при багат шаровій будові обводненої товщі порід значної (більше 10,0 м) потужності.

При обґрунтуванні вибору доцільної системи дренажу для захисту ділянки проєктованого будівництва від підтоплення та затоплення в паводкові періоди до розгляду прийняті пластовий і вертикальний дренажі з варіантами розміщення водознижувальних свердловин.

При визначенні відмітки необхідної підтримки рівня ґрунтових вод на ділянці, що захищається, враховувалися відмітка найнижчого положення підлоги паркінгу (53,70 м), існуюче положення рівня ґрунтових вод (51,29...51,50 м) і величина його сезонного коливання (0,5...1,1 м), висота капілярного підняття (0,35 м для дрібних пісків) та глибина сезонного промерзання (0,96 м).

При величині сезонного коливання рівня ґрунтових вод в алювіальному горизонті 1,0 м та середній відмітці рівня води на ділянці будівництва 51,40 м (з огляду на його залежність від режиму р. Дніпро), відмітка «ординарного» положення рівня води при його піднятті на ділянці, що захищається, становить:  $51,40 + 1,00 = 52,40$  м.

Близька до «ординарної» відмітка необхідного дренажного водозниження може бути отримана при оцінці глибини сезонного промерзання ґрунтів відносно відмітки підлоги паркінгу з урахуванням висоти капілярного підняття в насипних ґрунтах:  $53,70 - 0,96 - 0,35 = 52,39$  м.

Прийнята як критерій необхідного водозниження абсолютна відмітка рівня ґрунтових вод алювіального горизонту 52,40 м використана при порівняль-

ній оцінці ефективності пластового і вертикального дренажів на ділянці, що захищається.

Прогнозна оцінка роботи дренажних споруд виконана для умов підпертого стану ґрунтових вод, що відповідає паводковому періоду р. Дніпро з 1 % забезпеченістю, за якого за даними ПАТ «УКРГІДРОПРОЕКТ» абсолютна відмітка води в річці досягає 52,68 м.

У кожному з варіантів прогнозу враховувався вплив додаткового живлення водоносного горизонту на ділянці забудови в результаті втрат з водонесучих комунікацій, яке в розрахунковій моделі визначалось завданням зони з підвищеним інфільтраційним живленням, рівним 855 мм/рік. Для врахування баражного ефекту внаслідок ущільнення ґрунтів на ділянці пального поля в межах майданчиків проєктованих будівель проникність ґрунтів основи знижена на порядок.

Облаштування пластового дренажу моделювалося завданням у межах забудовуваної ділянки додаткового розрахункового шару з підвищеною проникністю, рівною  $K_X = K_Y = 100$  м/добу,  $K_Z = 10$  м/добу, і контурних дрен з провідністю  $300 \text{ м}^2/\text{добу}$  і відміткою водозниження 52,00 м (рис. 4.1).

Робота вертикального дренажу моделювалася завданням по контуру ділянки, що забудовується, системи водознижувальних свердловин, обладнаних водозабірними частинами в інтервалі відміток 44,00...47,00 м у другому розрахунковому шарі. Для варіанту вертикального дренажу до розгляду було прийнято дві схеми дренажного водозниження – з 13 та 5 водознижувальними свердловинами (рис. 4.4, 4.7).

Просторове положення водознижувальних свердловин у схемах, що розглядаються, визначалося необхідністю підтримки допустимого положення рівня ґрунтових на забудовуваній ділянці в умовах підпертого стану з урахуванням взаємного положення споруд, що захищаються, і контуру забезпеченого живлення в межах берегової зони р. Дніпро.





При роботі дренажної системи з 13 водознижувальними свердловинами продуктивність кожної свердловини становила  $1,5 \text{ м}^3/\text{год}$  ( $36 \text{ м}^3/\text{добу}$ ), з 5 свердловинами –  $5 \text{ м}^3/\text{год}$  ( $120 \text{ м}^3/\text{добу}$ ). Загальний дренажний водовідбір при організації дренажного водозниження у першому випадку становить  $468,0 \text{ м}^3/\text{добу}$ , у другому –  $600,0 \text{ м}^3/\text{добу}$ .

Аналіз результатів прогнозного моделювання показав, що досягнення необхідного зниження рівня ґрунтових вод при роботі пластового дренажу відбувається безпосередньо в межах забудованої ділянки, а необхідне зниження рівнів забезпечується при закладанні шару, що фільтрує, на відмітці  $52,00 \text{ м}$  і величині дренажного водовідбору  $356,5 \text{ м}^3/\text{добу}$  (рис. 4.2, 4.3). Необхідне зниження в межах ділянки, що забудовується, досягається при величині гідравлічної проникності фільтруючого матеріалу не нижче  $100 \text{ м}/\text{добу}$ .

Балансові складові модельованої області при роботі пластового дренажу характеризуються величинами, наведеними в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Балансові складові модельованої області в умовах роботи пластового дренажу, відмітка рівня води в р. Дніпро –  $52,68 \text{ м}$ ,  $\text{м}^3/\text{добу}$

Складові балансу	Живлення	Розвантаження
Інфільтрація	137,544	-
Взаємозв'язок з річкою	426,062	-0,283
Витрати по контуру моделі	91,709	-0,00
Ємнісна складова	0,199	-0,00
Випарювання	-	-356,548
Дренажний водовідбір	-	307,587
Всього	655,515	664,358
Похибка		-8,844
Нев'язка, %		-1,34

В умовах роботи вертикального дренажу з 13 водознижувальними свердловинами зниження рівня ґрунтових вод в алювіальному водоносному горизонті забезпечується не тільки безпосередньо в межах забудованого майданчика, а й на прилеглих ділянках – у межах  $60 \dots 80$  метрового контуру (рис. 4.5, 4.6).





Рисунок 4.2 – Рівнева поверхня ґрунтових вод в умовах роботи пластового дренажу, рівень води в р. Дніпро 1 % забезпеченості (52,68 м), техногенне живлення (855 мм/рік), баражний вплив пального фундаменту, м

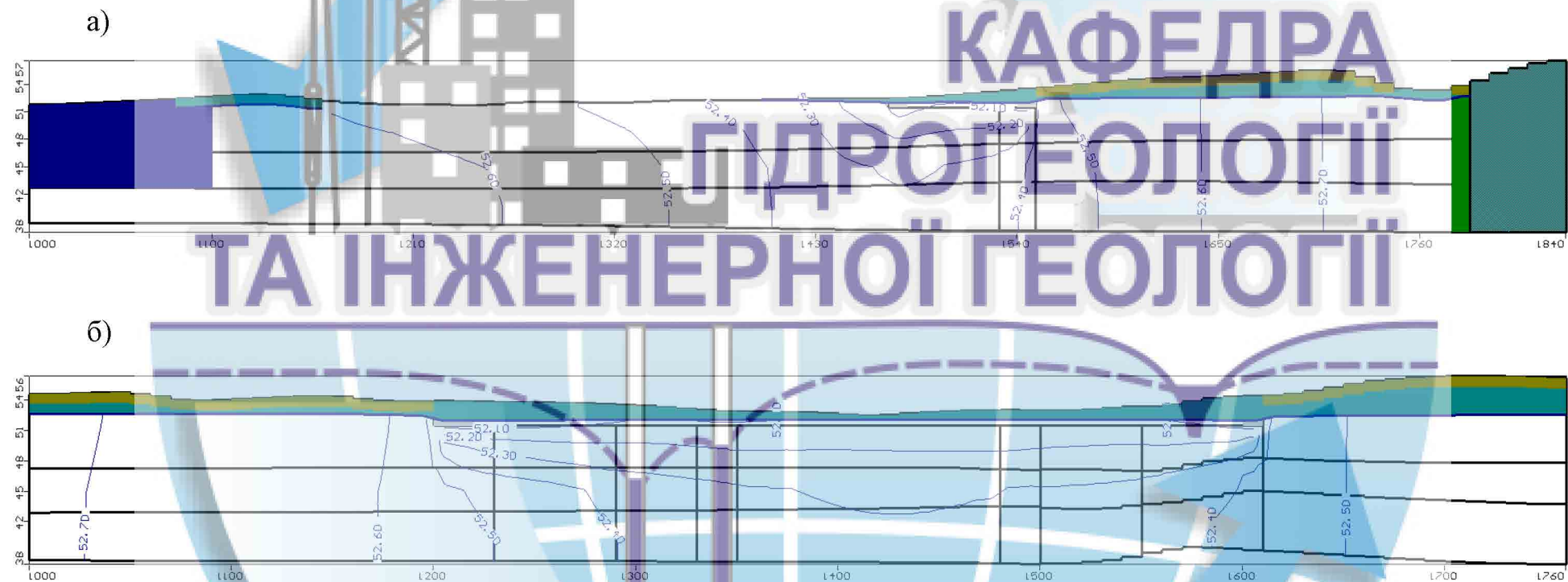


Рисунок 4.3 – Гідродинамічні профілі в умовах роботи пластового дренажу, субширотний (а) і субмеридіональний (б) напрямки, м





Рисунок 4.4 – Вертикальний дренаж, 13 водознижувальних свердловин, відмітки зниження рівнів води у розрахункових блоках 52,12...52,25 м



Рисунок 4.5 – Рівнева поверхня ґрунтових вод в умовах роботи вертикального дренажу, 13 водознижувальних свердловин, рівень води в р. Дніпро 1 % забезпеченості (52,68 м), техногенне живлення (855 мм/рік), баражний вплив пального фундаменту, м



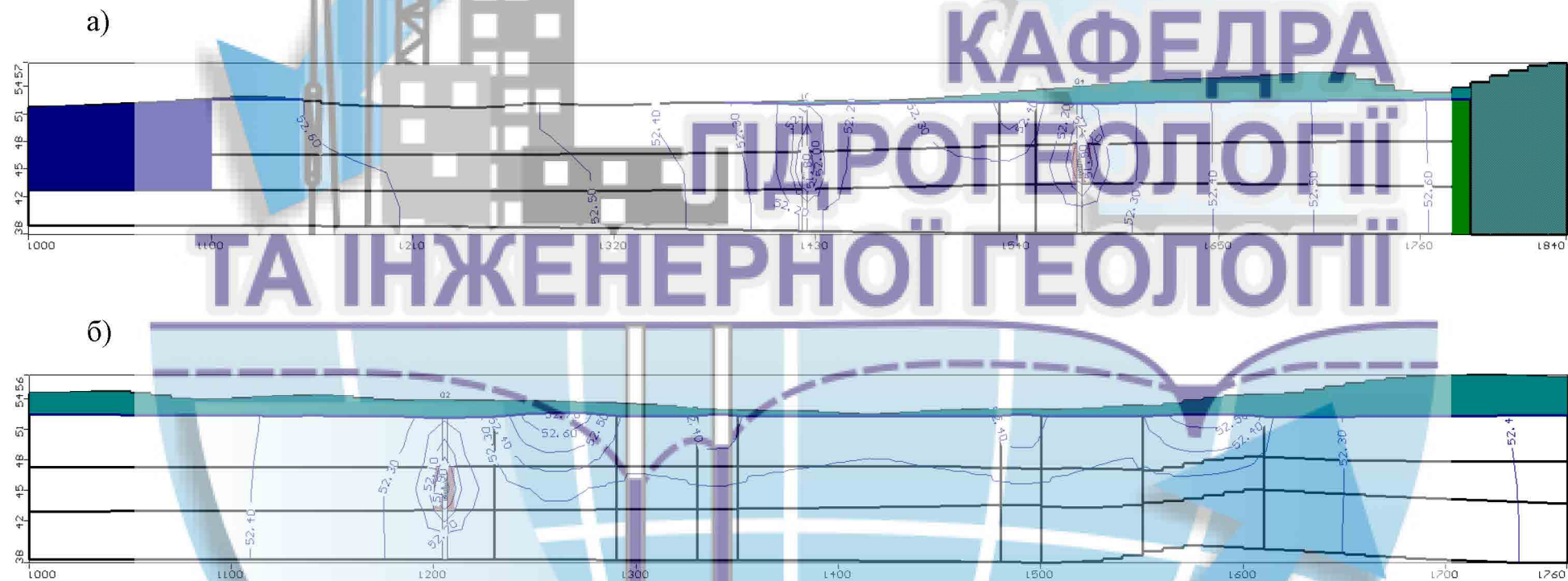


Рисунок 4.6 – Гідродинамічні профілі в умовах роботи вертикального дренажу, 13 водознижувальних свердловин, субширотний (а) и субмеридіональний (б) напрямки, м



Рисунок 4.7 – Вертикальний дренаж, 5 водознижувальних свердловин, відмітки зниження рівнів води у розрахункових блоках 51,33...51,97 м



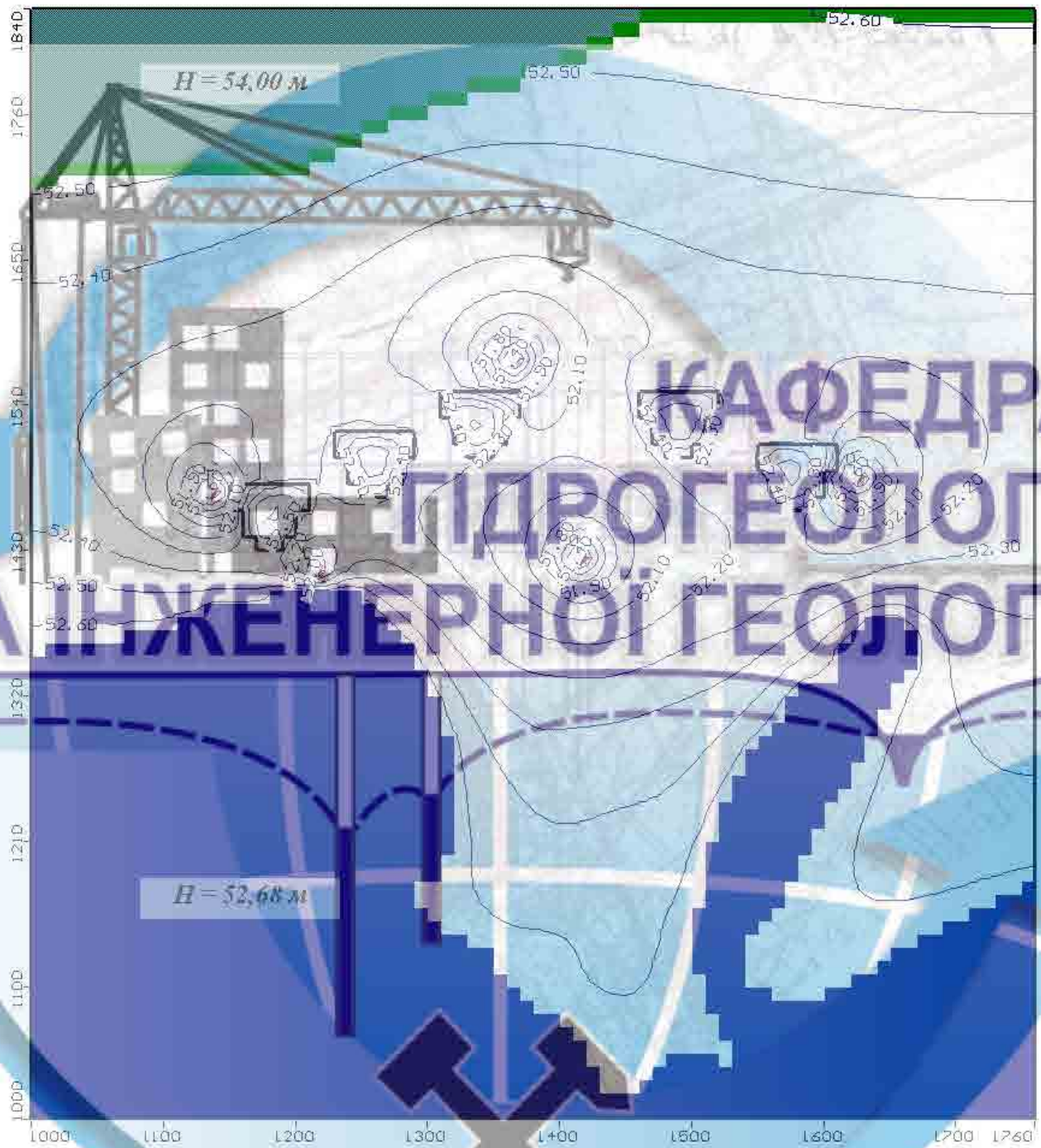


Рисунок 4.8 – Рівнева поверхня ґрунтових вод в умовах роботи вертикального дренажу, 5 водознижувальних свердловин, рівень води в р. Дніпро 1% забезпеченості (52,68 м), техногенне живлення (855 мм/рік), баражний вплив пального фундаменту, м

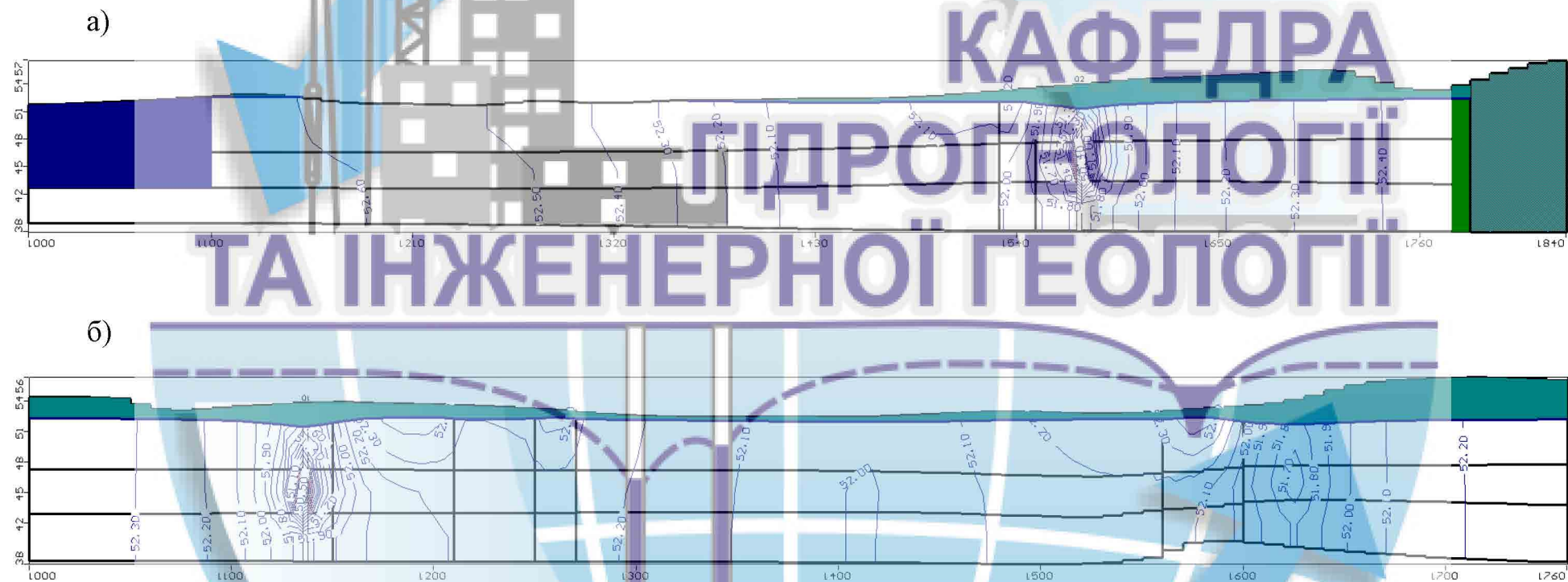


Рисунок 4.9 – Гідродинамічні профілі в умовах роботи вертикального дренажу, 5 водознижувальних свердловин, субширотний (а) и субмеридіональний (б) напрямки, м



Зниження рівнів води до відмітки 52,40 м на ділянці, що захищається, досягається при величині зниження рівнів води у розрахункових блоках до відміток 52,12...52,25 м. Результатом розвитку гідравлічної депресії в алювіальному горизонті є зміщення складових балансу. області у бік залучення додаткових ресурсів з боку р. Дніпро (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Балансові складові модельованої області в умовах роботи вертикального дренажу, 13 водознижувальних свердловин, відмітка води в р. Дніпро – 52,68 м, м<sup>3</sup>/добу

Складові балансу	Живлення	Розвантаження
Інфільтрація	137,544	-
Взаємозв'язок з річкою	612,355	-0,00
Витрати по контуру моделі	106,125	-0,00
Ємнісна складова	6,98	-0,00
Випарювання	-	-395,462
Дренажний водовідбір	-	-468,000
Всього	863,004	-863,463
Похибка		-0,459
Нев'язка, %		-0,05

У варіанті вертикального дренажу з 5 водознижувальними свердловинами необхідне зниження рівнів води в алювіальному горизонті досягається при зниженнях води у розрахункових блоках до відміток 51,33...51,97 м, що призводить до розвитку у водоносному горизонті гідравлічної депресії з пониженням до 52,40 м і нижче за межами ділянки, що забудовується, в границях 100...120 метрового контуру.

Як і у випадку з 13 водознижувальними свердловинами баланс модельованої області характеризується залученням до дренажного водовідбору ресурсної складової, що формується переважно за рахунок припливу з боку р. Дніпро (табл. 4.3).

Порівняльний аналіз роботи дренажних споруд показав, що ефективність роботи пластового дренажу забезпечується при закладанні підшви фільтруючого матеріалу на абсолютних відмітках не вище 52,00 м, що істотно обмежує

дренуючий вплив пластового дренажу на суміжні з ділянкою проекрованої забудови площі.

Таблиця 4.3 – Балансові складові модельованої області в умовах роботи вертикального дренажу, 5 водознижувальних свердловин, відмітка води в р. Дніпро – 52,68 м, м<sup>3</sup>/добу

Складові балансу	Живлення	Розвантаження
Інфільтрація	137,544	-
Взаємозв'язок з річкою	720,511	-0,00
Витрати по контуру моделі	117,145	-0,00
Ємнісна складова	0,512	-0,00
Випарювання	-	-387,256
Дренажний водовідбір		-600,000
Всього	975,713	-987,261
Похибка		-11,549
Нев'язка, %		-1,18

На відміну від пластового дренажу вертикальний дренаж в існуючих геолого-гідрологічних умовах забезпечує можливість більш глибокого водозниження, завдяки чому ефективність його роботи може бути досягнута при меншій кількості водозабірних споруд. При цьому за рахунок розвитку в осушуваному горизонті досить глибокої гідравлічної депресії дренуючий вплив вертикального дренажу буде поширюватися і на суміжні з проективною до забудови ділянкою, що також можуть підпадати під підтоплення і затоплення в період проходження паводків.

#### 4.2 Обґрунтування параметрів дренажного водозниження на ділянці проектованого будівництва

Для оцінки параметрів роботи дренажної системи на ділянці проективної забудови розглянуто варіант функціонування системи водозниження з 5 свердловин загальним дебітом 25 м<sup>3</sup>/год при проходженні паводку тривалістю до 120



днів з абсолютною відміткою рівня води в р. Дніпро 1 % забезпеченості – 52,68 м.

На рис. 4.10 наведено графіки зміни розрахункових рівнів ґрунтових вод в алювіальному горизонті в центральній частині ділянки будівництва (майданчик паркінгу, що проектується).

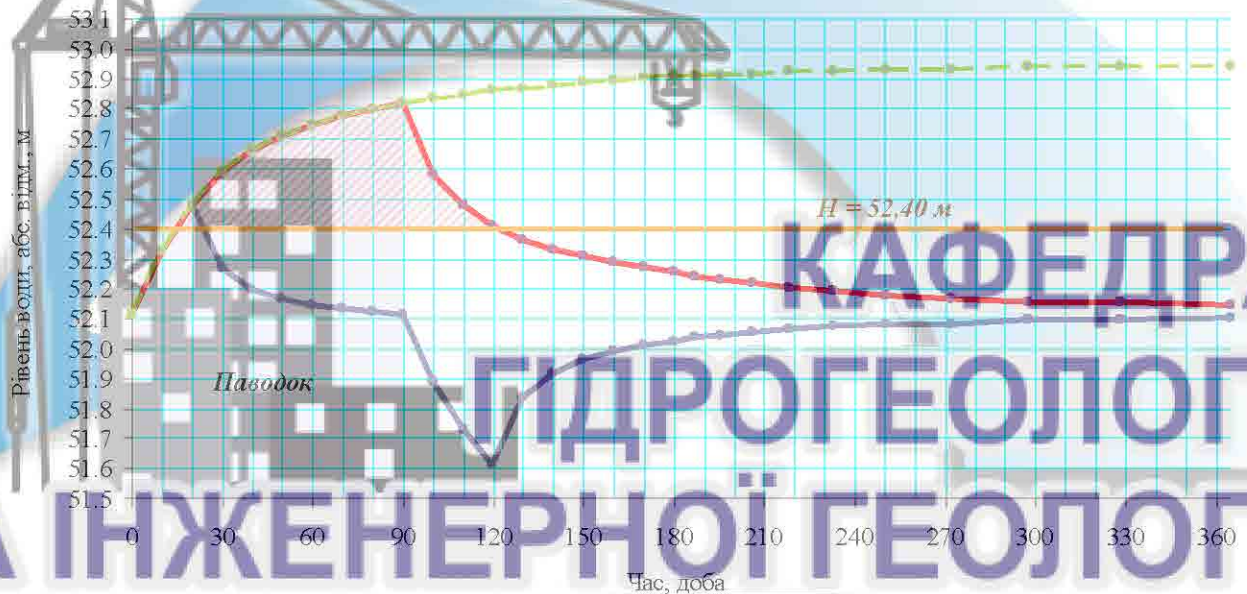


Рисунок 4.10 – Прогнозна динаміка рівневого режиму ґрунтового водоносного горизонту при проходженні паводку і роботі 5 водознижувальних свердловин

Розрахунковою схемою передбачався початковий стан рівня води в р. Дніпро, який відповідає НПГ = 51,40 м. На момент початку паводку в річці задалося умовно миттєве підняття рівня води до абсолютної відмітки 52,68 м, яка підтримувалася протягом усього часу проходження паводку тривалістю 90 днів. Після завершення паводку рівень води у річці повертався до стану НПГ = 51,40 м.

Особливістю гідродинамічного режиму алювіального горизонту, встановленою за даними прогнозного моделювання, є його відносно швидка реакція на підйом рівня води в р. Дніпро, що пояснюється наявністю прямого гідравлічно-

го зв'язку між підземними і поверхневими водами в умовах підвищеної гідравлічної провідності водовмісних відкладень.

Згідно з розрахунковими даними вже через 15 діб після початку проходження паводку рівень ґрунтових вод у центральній частині ділянки проектового будівництва перевищить допустиму відмітку 52,40 м і продовжать своє зростання. Максимальна відмітка рівня ґрунтових вод, яка може бути досягнута в центральній частині ділянки, що забудовується, становить 52,9...52,93 м.

Після закінчення паводкового періоду, тривалість якого в моделі визначається інтервалом 90 діб, тривалість відновлення рівня нижче допустимої відмітки 52,40 м становить 30 днів. Таким чином, період, коли рівні ґрунтових вод на ділянці, що захищається, знаходяться вище допустимої відмітки, становить 100...105 діб, що визначає інтервал роботи системи дренажного водозниження.

Графік роботи водознижувальних свердловин, наведений на рис. 4.10, показує зміну рівня ґрунтових вод у центральній частині ділянки проектового будівництва при роботі дренажної системи з 5 водозабірних свердловин. Згідно з виконаними оцінками зниження рівня води до відмітки 52,40 м відбувається протягом 1...5 днів після запуску дренажної системи, і підтримується протягом усього часу проходження паводку в р. Дніпро на відмітках 52,10...52,40 м.

Для оцінки величини зниження рівня води у водозабірних свердловинах при роботі вертикального дренажу виконаний перехід від рівня води у розрахунковому блоці до рівня води у свердловині з використанням поправки  $\Delta S_{\text{бл}}$ . Поправка  $\Delta S_{\text{бл}}$  пов'язана з невідповідністю між реальною структурою радіального притоку до свердловини і лінійною структурою потоку в моделі. При регулярній прямокутній розбивці модельованої області з кроком  $\Delta x$  і  $\Delta y$  по відповідним координатним осям при  $\Delta x = \Delta y$  для розрахунку  $\Delta S_{\text{бл}}$  використовується залежність:

$$\Delta S_{\text{бл}} = \frac{Q}{T} (0,366 \lg \frac{\Delta x}{r_c} - 0,25), \quad (4.1)$$

де  $Q$  – дебіт свердловини, м<sup>3</sup>/добу;  $T$  – водопровідність пласта, м<sup>2</sup>/добу;  $r_c$  –



радіус водозабірної свердловини, м.

При дебіті свердловин  $Q = 120 \text{ м}^3/\text{добу}$ ; середній водопровідності пласта  $T = 84,8 \text{ м}^2/\text{добу}$  і радіусі свердловин  $r_c = 0,175 \text{ м}$  поправка  $\Delta S_{\text{бл}}$  становить  $0,56 \text{ м}$ , що при зниженні води у розрахункових блоках до відміток  $51,33\dots 51,97 \text{ м}$  при роботі 5 водозабірних свердловин відповідає зниженню рівня в них до відміток  $50,77\dots 51,41 \text{ м}$ .

Таким чином, згідно виконаних оцінок захист території проектного будівництва від підтоплення в період проходження весіннього паводку забезпечується при роботі вертикального дренажу з 5 (п'яти) водознижувальних свердловин глибиною до  $13,5\dots 17,0 \text{ м}$ , розташованих по контуру ділянки, що захищається. Необхідне зниження рівня води в алювіальному горизонті до відмітки  $52,40 \text{ м}$  і нижче в межах ділянки проектного будівництва досягається при зниженні рівня води у водозабірних свердловинах до відміток  $50,77\dots 51,41 \text{ м}$  і загальному дренажному водовідборі  $600 \text{ м}^3/\text{добу}$  ( $25 \text{ м}^3/\text{год}$  або  $6,9 \text{ л/с}$ ).

При цьому ефективна робота вертикального дренажу забезпечується при діаметрі водозабірних свердловин не менше  $350 \text{ мм}$  (з урахуванням гравійної обсыпки фільтра) і розташуванні фільтрової частини свердловини довжиною  $3,0 \text{ м}$  і щільністю не менше  $25 \%$  в інтервалі абсолютних відміток від  $38,50\dots 40,50 \text{ м}$  до  $41,5\dots 43,5 \text{ м}$ , що відповідає нижньому інтервалу залягання товщі алювіальних пісків мілких і середньої крупності ПГЕ-4...7, і розташування відстійника довжиною  $1,0$  в каолінах ПГЕ-8.

При виборі насосно-силового обладнання водозабірних свердловин слід передбачити можливість збільшення сумарного дренажного водовідбору не менш ніж на  $25 \%$  – до  $750 \text{ м}^3/\text{добу}$  ( $32 \text{ м}^3/\text{год}$  або  $8,6 \text{ л/с}$ ), що відповідає величині водовідбору  $150 \text{ м}^3/\text{добу}$  на одну свердловину.

## ВИСНОВКИ

Аналіз геолого-гідрогеологічних умов території проекрованої забудови заплави р. Дніпро та результатів чисельного моделювання гідродинамічного режиму ґрунтових вод для різних схем дренажного водозниження дозволив зробити наступні висновки.

1. Гідрогеологічні умови ділянки забудови характеризуються розвитком в товщі алювіальних відкладень ґрунтового водоносного горизонту, що має прямий гідравлічний зв'язок з річкою Дніпро. Режим водоносного горизонту залежить від характеру інфільтраційного живлення, припливу з боку вище розташованих забудованих територій і рівневого режиму річки Дніпро.

За геолого-гідрогеологічними умовами досліджувана територія відноситься до категорії природно і постійно підтоплених територій.

2. Основними факторами, що будуть впливати на формування гідродинамічного режиму в межах ділянки будівництва, є зміна інтенсивності інфільтраційного живлення внаслідок втрат з водонесучих комунікацій, баражний ефект, створюваний пальовими фундаментами проектованих споруд, і рівневий режим р. Дніпро, який є визначальним за умов порушеного гідродинамічного режиму підземних вод алювіального горизонту.

3. За результатами чисельного моделювання встановлено, що в умовах підйому рівня води в р. Дніпро при проходженні паводку до відмітки 1 % забезпеченості 52,68 м підвищення рівня ґрунтових вод на ділянці проектованого будівництва досягає абсолютних відміток 52,8...53,00 м, що відповідає величині підпору підземного потоку на 1,1...1,3 м. У цих умовах додаткове інфільтраційне живлення і баражний вплив пальових фундаментів є факторами, що сприяють формуванню на поверхні ґрунтових вод куполів з абсолютними відмітками 53,10 ... 53,30 м, приурочених до ділянок проектованих споруд.

Комплексна дія факторів, які впливають на гідродинамічний режим ґрунтових вод в межах ділянки проектованого будівництва, сприяє зростанню їх рівнів на величину до 1,8 м, результатом якого є підтоплення і часткове затоп-



лення досліджуваної території.

4. При обґрунтуванні вибору доцільної системи дренажу для захисту ділянки проектного будівництва від підтоплення та затоплення в паводкові періоди до розгляду прийняті схеми пластового і вертикального дренажу з варіантами розміщення водознижувальних свердловин. При визначенні відмітки необхідної підтримки рівня ґрунтових вод на ділянці, що захищається, враховувалися відмітка найнижчого положення підлоги паркінгу, існуюче положення рівня ґрунтових вод і величина його сезонного коливання, висота капілярного підняття і глибина сезонного промерзання ґрунтів.

В якості критерію, що визначає необхідне водозниження на забудовуваному ділянці, прийнята абсолютна відмітка рівня ґрунтових вод 52,40 м, яка використана при порівняльній оцінці ефективності роботи пластового і вертикального дренажів на ділянці, що захищається.

5. За результатами прогнозного моделювання встановлено, що досягнення необхідного зниження рівня ґрунтових вод при роботі пластового дренажу відбувається безпосередньо в межах забудовуваного майданчика, а необхідне зниження рівнів забезпечується при закладанні фільтруючого шару на відмітці 52,00 м і величині дренажного водовідбору  $5 \text{ м}^3/\text{добу}$ .

Необхідне зниження в межах ділянки, що забудовується, досягається при величині гідравлічної проникності фільтруючого матеріалу не нижче  $100 \text{ м/добу}$ .

6. В умовах роботи вертикального дренажу з 13 водознижувальними свердловинами і загальним водовідбором  $468,0 \text{ м}^3/\text{добу}$  зниження рівня ґрунтових вод в алювіальному водоносному горизонті забезпечується не тільки безпосередньо в межах ділянки забудови, але і на прилеглих ділянках в межах 60...80-метрового контуру.

Зниження рівнів води до відмітки 52,40 м на ділянці, що захищається досягається при відмітках зниження рівня води у розрахункових блоках, рівних 52,12...52,25 м.

7. Вертикальний дренаж з 5 водознижувальними свердловинами забезпе-

чує необхідне зниження рівнів води в алювіальному горизонті при пониженнях у розрахункових блоках до відміток 51,33...51,97 м і загальному водовідборі 600,0 м<sup>3</sup>/добу. Робота водознижувальних свердловин у цьому випадку супроводжується розвитком у водоносному горизонті гідравлічної депресії зі зниженням рівнів води до відмітки 52,40 м і нижче на ділянці забудови та на прилеглий до неї території в межах 100...120 метрового контуру.

8. Порівняльна оцінка роботи дренажних споруд показала, що ефективність пластового дренажу в існуючих геолого-гідрологічних умовах забезпечується при закладанні підшви фільтруючого матеріалу на абсолютних відмітках не вище 52,00 м, що істотно обмежує його дренажний вплив на суміжні зони.

На відміну від пластового дренажу вертикальний дренаж забезпечує можливість більш глибокого водозниження, завдяки чому ефективність його роботи може бути досягнута при меншій кількості водозабірних споруд. При цьому, за рахунок розвитку в осушуваному горизонті гідравлічної депресії дренажний вплив вертикального дренажу буде поширюватися і на суміжні ділянки, що також можуть підпадати під підтоплення і затоплення в період проходження паводків.

9. Згідно з результатами прогнозного моделювання під час проходження паводку в р. Дніпро з абсолютною відміткою рівня води 1 % забезпеченості 52,68 м перевищення допустимої відмітки 52,40 м у центральній частині ділянки, що захищається, відбувається через 15 діб після початку паводкового періоду. Максимальна відмітка рівня ґрунтових вод в умовах підпертого стану, яка може бути досягнута на цій ділянці, знаходиться в межах 52,90...52,93 м.

10. Розрахункова тривалість періоду, коли рівні ґрунтових вод на ділянці, що захищається, знаходяться вище допустимої відмітки, становить 100...105 діб при тривалості паводкового періоду 90 діб, що визначає тривалість роботи системи дренажного водозниження.

Відповідно до виконаних оцінок зниження рівня води до відмітки 52,40 м у центральній частині ділянки проекрованої забудови відбувається протягом

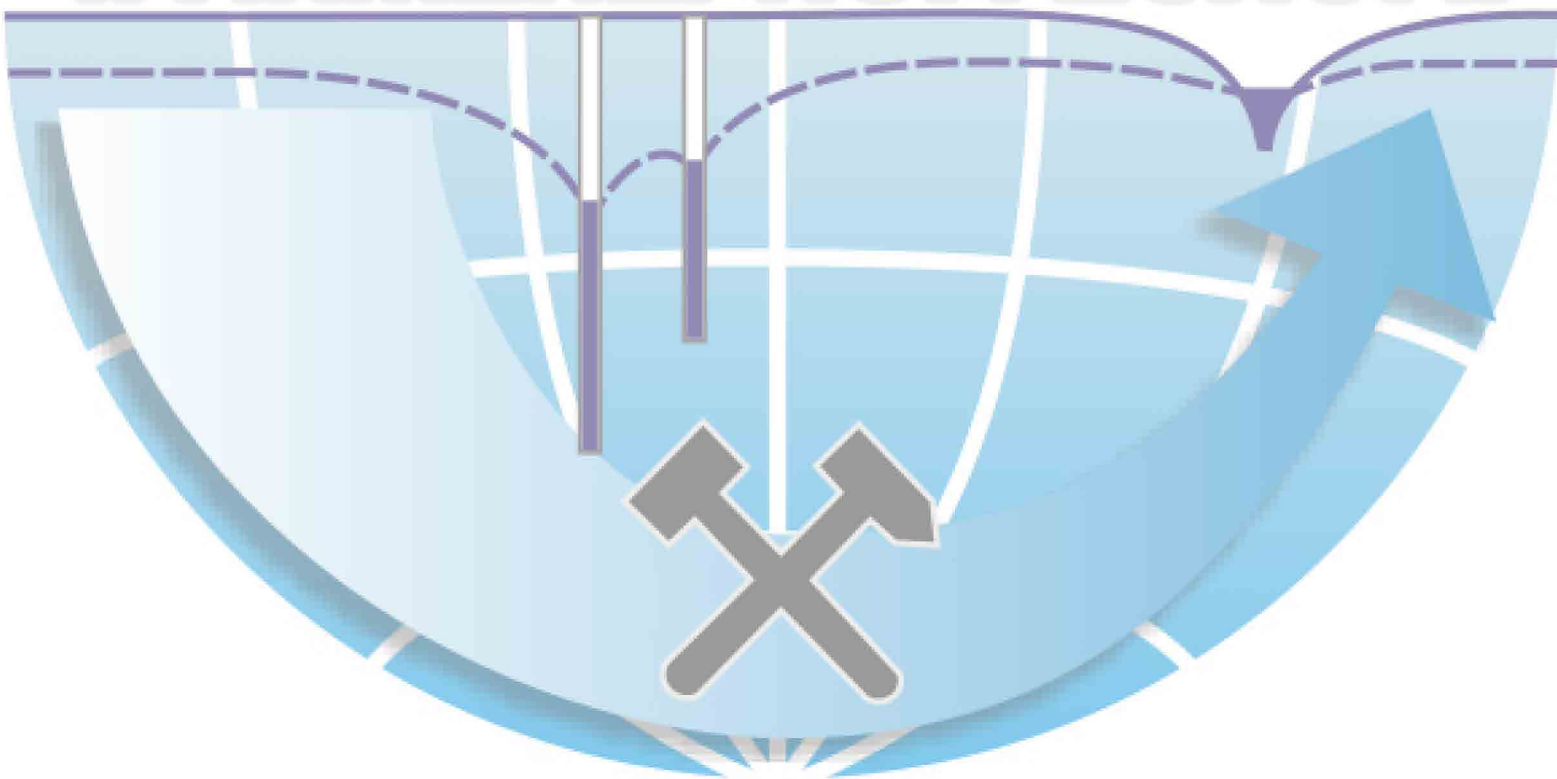


1...5 днів після початку роботи дренажної системи, і підтримується на відмітках 52,10...52,40 м протягом всього часу проходження паводку в р. Дніпро.

11. Ефективна робота вертикального дренажу забезпечується при діаметрі водозабірних свердловин не менше 350 мм (з урахуванням гравійної обсіпки фільтра) і розташуванні фільтрової частини свердловини довжиною 3,0 м і щільністю не менше 25 % в інтервалі абсолютних відміток від 38,50...40,50 м до 41,5...43,5 м, що відповідає нижньому інтервалу залягання товщі алювіальних пісків мілких і середньої крупності ПГЕ-4...7, і розташування відстійника довжиною 1,0 в каолінах ПГЕ-8.

При виборі насосно-силового обладнання водозабірних свердловин слід передбачити можливість збільшення сумарного дренажного водовідбору не менш ніж на 25 % – до 750 м<sup>3</sup>/добу (32 м<sup>3</sup>/год або 8,6 л/с), що відповідає величині водовідбору 150 м<sup>3</sup>/добу на одну свердловину.

КАФЕДРА  
ГІДРОГЕОЛОГІЇ  
ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

## Опублікована

1. Гавич И.К. Теория и практика применения моделирования в гидрогеологии. – М.: Недра, 1980. – 358 с.
2. Гриневский С.О., Новоселова М.В. Закономерности формирования инфильтрационного питания подземных вод / Водные ресурсы. – 2010. – Т. 37. – № 6 – С. 1-12.
3. Інфільтраційне живлення ґрунтових вод Причорноморського артезіанського басейну / Білокопитова Н.А., Рубан С.А., Подвігіна О.О., Буцька Ю.М. – Дніпропетровськ, ДВ УкрДГРІ, 2010.
4. Лившиц В.М., Белокопытова Н.А. и др. Методические рекомендации по моделированию на ЭВМ фильтрации подземных вод в слоистых толщах. – Днепропетровск: ДО ИМР, 1987.
5. Ломакин Е.А., Мироненко В.А., Шестаков В.М. Численное моделирование геофильтрации. – М.: Недра, 1988. – 228 с.
6. Лукнер, Л. Моделирование миграции подземных вод / Л. Лукнер, В.М. Шестаков. – М.: Недра, 1986. – 208 с.
7. Мироненко В.А. Динамика подземных вод. – М.: Недра, 1983.
8. Прогноз и предотвращение подтопления грунтовыми водами территорий при строительстве. Под ред. Абрамова С.К. – М.: Стройиздат, 1978.
9. Проектирование водозаборов подземных вод. Под ред. Ф.М. Бочевера. – М.: Стройиздат, 1976. – 292 с.
10. Рекомендации по проектированию и расчетам защитных сооружений и устройств от подтопления промышленных площадок грунтовыми водами. – М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1979.
11. Справочное пособие к СНиП. Прогнозы подтопления и расчет дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях. – М.: Стройиздат, 1991 – 272 с.
12. Kinzelbach W. Groundwater modeling. – Amsterdam: Elsevier. – 1986. –



312 p.

13. McDonald M.G. and Harbaugh A.W., 1984. A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model: U.S. Geological Survey Open-File Report 83-875, 528 p.

Фондова

14. Отчет об инженерно-геологических изысканиях по объекту: «Новое строительство спортивного комплекса по ул. Набережная Победы в районе дома № 9Б в г. Днепре (I-III очереди строительства)», П, РД, 8418. ГП «ДнепроГГИИИТИЗ», г. Днепр, 2016.

15. Научно-технический отчет об инженерно-геологических изысканиях для строительства спортивно-развлекательного центра для проведения чемпионата Евробаскет-2015 по ул. Набережная Победы, 10 в г. Днепропетровске. ГП «ДнепроГГИИИТИЗ», г. Днепропетровск, 2013.

16. Отчет об инженерно-геологических изысканиях на площадке строительства многофункционального комплекса по ул. Мандрыковской, 44 в г. Днепропетровске, ГП «ДнепроГГИИИТИЗ», г. Днепропетровск, 2006.

КАФЕДРА  
ГІДРОГЕОЛОГІЇ  
ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



## ВІДЗИВ

на кваліфікаційну роботу студента гр. 103м-20-2 Саулова Костянтина Сергійовича "Оцінка інженерно-геологічних умов ділянки проекрованої забудови в заплаві р. Дніпро для обґрунтування гідродинамічно доцільної системи дренажу"

В кваліфікаційній роботі Саулова К.С. виконано дослідження гідрогеологічних та інженерно-геологічних умов ділянки проекрованої забудови в заплаві р. Дніпро та обґрунтування доцільної системи експлуатаційного дренажу.

При виконанні дослідження значна увага приділена аналізу інженерно-геологічних умов ділянки проектованого будівництва, геофільтраційній схематизації досліджуваної території та обґрунтуванню розрахункових гідродинамічних параметрів.

Обґрунтування доцільної системи дренажного водозниження та гідродинамічних параметрів водознижувальних споруд виконано з використанням чисельного геофільтраційного моделювання та застосуванням обчислювальної техніки.

За результатами геофільтраційного моделювання в роботі наданий прогноз динаміки рівневого режиму на ділянці проекрованої забудови в заплаві р. Дніпро в умовах роботи дренажного водозниження.

Всі задачі, поставлені в кваліфікаційній роботі Саулова К.С., вирішені в повному обсязі, робота має наукову новизну та практичну цінність, містить необхідний обсяг ілюстративного та табличного матеріалу.

Робота виконана методично грамотно і відповідає вимогам, що ставляться до рівня вищої освіти за НРК, та компетентностям освітньо-професійної програми "Гідрогеологія". Кваліфікаційна робота заслуговує оцінки "добре", а її автор Саулов К.С. – присвоєння ступеня магістр за спеціальністю "Науки про Землю".

Керівник кваліфікаційної роботи,

к.т.н., доцент

В.І.Тимошук



## РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу ступеня магістра Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» спеціальності «Науки про Землю» (освітньо-професійна програма «Гідрогеологія»), студента гр. 103м-20-2 Саулова Костянтина Сергійовича «Оцінка інженерно-геологічних умов ділянки проектованої забудови в заплаві р. Дніпро для обґрунтування гідродинамічно доцільної системи дренажу»

В кваліфікаційній роботі Саулова К.С. виконано дослідження гідрогеологічних та інженерно-геологічних умов ділянки проектованого будівництва у зв'язку з обґрунтуванням доцільної схеми експлуатаційного водозниження.

За результатами аналізу даних про інженерно-геологічні та гідрогеологічні умови досліджуваної території встановлені основні фактори, що визначають формування рівневого режиму підземних вод та обґрунтована загальна гідродинамічна схема ділянки проектованого будівництва.

Визначення доцільної схеми експлуатаційного водозниження та гідродинамічних параметрів водозабірних споруд виконано за результатами чисельного геофільтраційного моделювання із застосуванням спеціального програмного забезпечення та використанням електронно-обчислювальної техніки

Для оцінки ефективності роботи водозабірних споруд автором роботи виконані прогностичні модельні розрахунки динаміки рівневого режиму підземних вод на ділянці будівництва під впливом гідрологічного режиму р. Дніпро.

Робота виконана методично грамотно і відповідає вимогам, що ставляться до рівня вищої освіти за НРК та компетентностям освітньо-професійної програми «Гідрогеологія». Кваліфікаційна робота заслуговує оцінки «добре», а її автор Саулов К.С. – присвоєння ступеня магістр за спеціальністю «Науки про Землю».

Завідувач кафедри геофізичних  
методів розвідки, д.г.н., професор

М.М. Довбніч

## Плагіат

Протокол перевірки кваліфікаційної роботи магістра  
студента (ки) групи 103М-20-2  
(шифр групи)

Саулова Костянтина Сергійовича  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Назва роботи: «Оцінка інженерно-геологічних умов ділянки проектованої  
забудови в заплаві р. Дніпро для обґрунтування гідродинамічно доцільної  
системи дренажу»

Науковий керівник к.т.н., доцент Тимошук В.І.  
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

	Unicheck
Plagiat.pl «StrikePlagiarism»	
Оригінальність	75
Схожість	25

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 і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховання недобросовісних запозичень.

Науковий керівник

к.т.н., доцент Тимошук В.І.

Нормоконтролер

д.т.н. доцент Загриценко А.М.

Зав. кафедри

д.т.н., проф. Рудаков Д.В.

\_\_\_\_\_  
(дата)