

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 Головченко Андрія 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 Прогноз зміни гідродинамічного та геомеханічного стану ґрунтів при роботі голкофільтрових установок

(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	Ішков В.В.			
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 Головченко Андрія Володимировича академічної групи 103М-22-1

(прізвище та ініціали)

(шифр)

спеціальності 103 Науки про Землюза освітньо-професійною програмою «Геологія, гідрогеологія, геофізика»на тему Прогноз зміни гідродинамічного та геомеханічного стану ґрунтів при роботі голкофільтрових установокзатверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 05.09.2023 № 1036-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Загальний	Геолого-гідрогеологічна і технологічна характеристика ділянки досліджень.	10.10.23-29.10.23
Спеціальний	Обґрунтування розрахункової схеми моделі. Аналіз результатів моделювання геофільтрації.	30.10.23-22.11.23
	Оцінка осідання ґрунтів розташованих біля котловану при водозниженні. Оцінка умов формування та розвитку суфозійних процесів.	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)

Головченко А.В.

(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: текстові додатки 75 с., рисунків 21, таблиць 7, джерел 25.

Мета роботи – оцінка гідродинамічного та геомеханічного впливу котловану під паркінг багатофункціонального комплексу житлового та громадського призначення у м. Дніпро на прилеглі території в процесі його будівництва.

Об'єкт досліджень – рівневий режим водоносного комплексу, приуроченого до четвертинних і палеогенових відкладень, його зміна в часі у результаті роботи голкофільтрів у процесі створення котловану та вплив зниження рівня ґрунтових вод на геомеханічну і суфозійну стійкість ґрунтів прилеглих територій.

Розглянуто геолого-гідрогеологічні та технологічні умови ділянки під будівництво багатофункціонального комплексу. Обґрунтована розрахункова схема геофільтраційної та геомеханічної моделі. За результатами чисельного математичного моделювання гідродинамічних процесів встановлено вплив роботи водознижувальних свердловин в процесі будівництва котловану на формування гідрогеологічного режиму підземних вод досліджуваної території. Встановлені зниження рівня ґрунтових вод використовувались для визначення осідання ґрунтів на прилеглих територіях та оцінки їх суфозійної стійкості. Отримані значення осідання та суфозійної стійкості ґрунтів порівнювались з гранично допустимими та нормативними значеннями цих параметрів.

ГЕОФІЛЬТРАЦІЯ, ГІДРОДИНАМІЧНИЙ РЕЖИМ, ІНВЕРСІЯ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО ПОТОКУ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ОСІДАННЯ ҐРУНТІВ, СУФОЗІЯ.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. ГЕОЛОГО-ГІДРОГЕОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДІЛЯНКИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	7
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДІЛЯНКИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	20
3. ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ СХЕМИ МОДЕЛІ .....	24
3.1 Математичне забезпечення і структура чисельної гідрогеологічної моделі .....	24
3.2 Розрахункова схематизація і методика моделювання .....	28
4. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ ГЕОФІЛЬТРАЦІЇ.....	35
5. ОЦІНКА ОСІДАННЯ ҐРУНТІВ РОЗТАШОВАНИХ БІЛЯ КОТЛОВАНУ ПРИ ВОДОЗНИЖЕННІ.....	43
5.1 Обґрунтування методики оцінки осідання гірських порід при роботі водознижувальних свердловин.....	43
5.2 Розрахунок осідання ґрунтів та її порівняння з гранично допустимими значеннями.....	55
6. ОЦІНКА УМОВ ФОРМУВАННЯ ТА РОЗВИТКУ СУФОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ.....	60
ВИСНОВКИ.....	65
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	69
ДОДАТКИ.....	72

## ВСТУП

**Актуальність досліджень.** Дослідження гідродинамічного та геомеханічного впливу котловану під паркінг багатофункціонального комплексу житлового та громадського призначення м. Дніпро виконано у зв'язку з роботою голкофільтрів в процесі його будівництва. Цільовим завданням роботи є встановлення впливу роботи голкофільтрів у процесі будівництва котловану на формування гідрогеологічного режиму досліджуваної території, а також визначення осідання та суфозійної стійкості ґрунтів на прилеглих територіях внаслідок зниження рівня підземних вод.

**Методика.** Для вирішення поставлених у роботі завдань використано методи чисельного геофільтраційного моделювання та аналітичні гідрогеологічні і геомеханічні розрахунки, а також обґрунтована розрахункова схема чисельної моделі та методика оцінки осідання гірських порід при роботі водознижувальних свердловин.

**Мета роботи.** Оцінка гідродинамічного та геомеханічного впливу котловану під паркінг багатофункціонального комплексу житлового та громадського призначення у м. Дніпро на прилеглих територіях в процесі його будівництва.

**Об'єкт досліджень.** Рівневий режим водоносного комплексу, приуроченого до четвертинних і палеогенових відкладень, його зміна в часі у результаті роботи голкофільтрів у процесі створення котловану та вплив зниження рівня ґрунтових вод на геомеханічну і суфозійну стійкість ґрунтів прилеглих територій.

**Предмет досліджень** – параметри розміщення, встановлення та ефективної експлуатації голкофільтрів в обводнених ґрунтах та їх вплив на рівневий режим водоносного комплексу.

**Задачі,** розв'язані в магістерській роботі, полягають у наступному: проаналізувати геологічні, гідрогеологічні та техногенні умови ділянки досліджень; обґрунтувати розрахункову схему моделі та виконати аналіз результатів моделювання геофільтрації; виконати оцінку осідання ґрунтів розташованих бі-

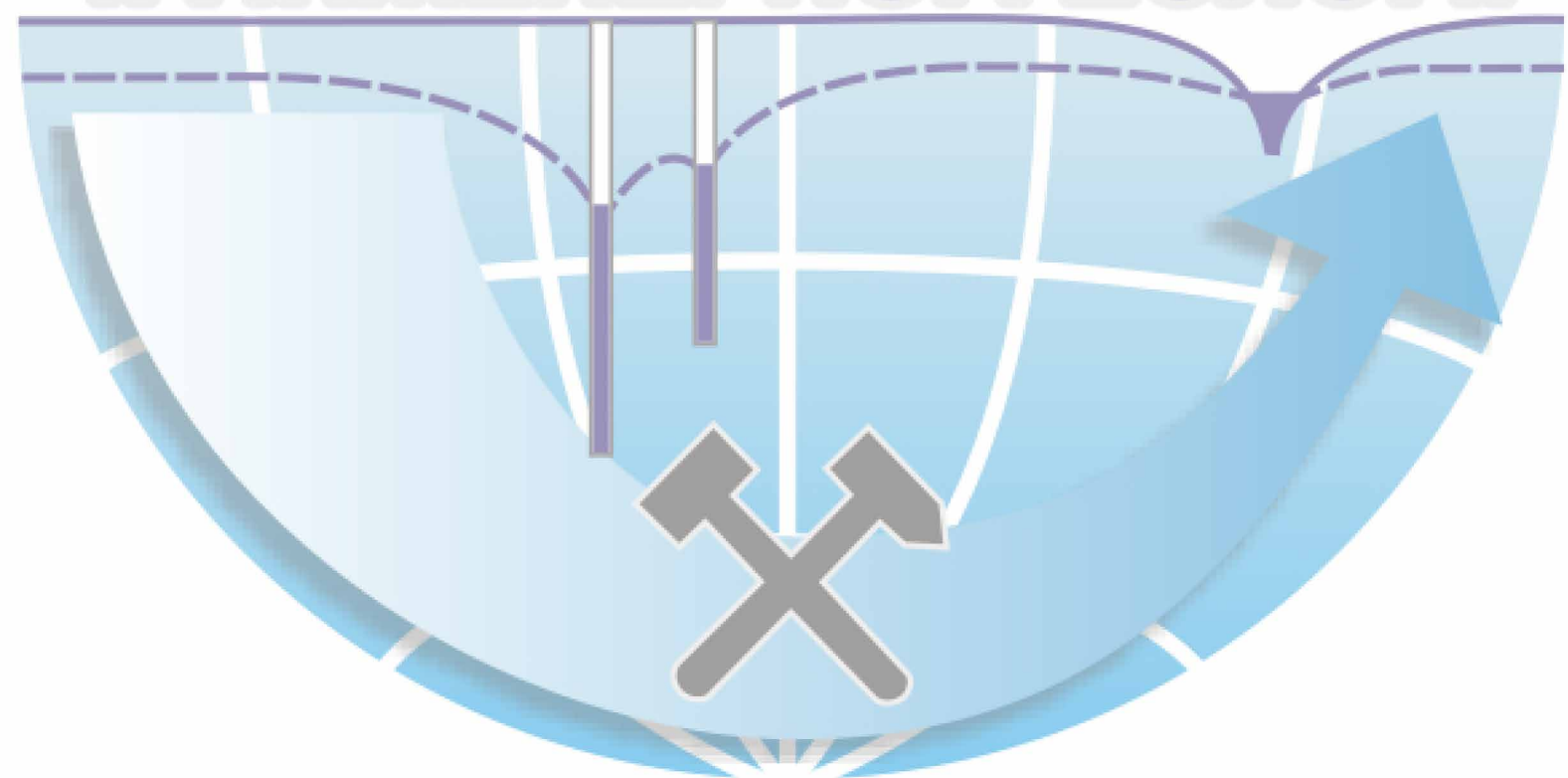
ля котловану при водозниженні та умов формування та розвитку суфозійних процесів.

**Наукова новизна** – полягає у розробки методики оцінки зміни в часі рівня ґрунтових вод у результаті роботи голкофільтрів та осідання ґрунтів викликаних цими змінами.

**Практична цінність** – на основі проведених досліджень зроблено порівняння встановленого осідання ґрунтів на прилеглих територіях з його нормативно допустимими значеннями, а також оцінено умови формування та розвитку суфозійних процесів у гірських породах.

**Соціальний ефект** – виконані розрахунки дозволяють оцінити стійкість будівель які знаходяться біля котловану з голкофільтрами.

# КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



## 1. ГЕОЛОГО-ГІДРОГЕОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДІЛЯНКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У геоморфологічному відношенні ділянка проєктованого будівництва приурочена до правобережної заплави річки Дніпро. В минулому на цій ділянці знаходилась стариця річки, яка в 1971 р. при утворенні території шляхом гідронамиву була намита до абсолютних відміток сучасної денної поверхні, що відповідають рівню першої надзаплавної тераси. Рельєф ділянки відносно рівний. Абсолютні відмітки денної поверхні (за межами котловану) становлять 55,17 – 56,00 м (рис. 1.1).

Відповідно до даних, приведених у ДСТУ-Н В.1.1-27:2010, згідно архітектурно-будівельного районування території України, м. Дніпро знаходиться у II кліматичному районі - Південно-Східному (Степовому). Клімат відноситься до помірно-континентального, характеризується короткою малосніжною зимою і тривалим теплим літом. 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 весняне сніготанення.

Найбільш холодним місяцем є січень із середньомісячною температурою ( $-5^{\circ}$ ) – ( $-7^{\circ}$  C), а найбільш теплим - липень із середньомісячною температурою ( $+22.2^{\circ}$  C). Середньорічна температура ( $+8.5^{\circ}$  C). Максимальна температура ( $+40^{\circ}$  C), мінімальна ( $-34^{\circ}$  C). Дата переходу середньодобової температури повітря через: ( $+8^{\circ}$  C) - початок 19 жовтня, закінчення – 9 квітня; ( $+10^{\circ}$  C) - початок 10 жовтня, закінчення - 16 квітня. Середньорічна кількість опадів, що випадають, становить 558мм на рік, в холодну пору року 66мм, добовий максимум 82мм. Найбільша їх кількість випадає в теплий період року - 320мм. Оподи випадають у вигляді короткочасних дощів. Протягом літа бувають тривалі бездошові періоди, а восени опади характеризуються затяжними дрібними дощами. Взимку опади випадають, переважно, у вигляді снігу, але бувають і дощі. Річне число днів з опадами 80-125.

Середньорічне значення відносної вологості змінюється в межах 70-80%.

Мінімальне значення відносної вологості в літній період (травень-серпень) - 58-59%, максимальне (листопад-березень) - 83-89%. Середньорічний дефіцит вологості становить 3.5-4.0мм, максимальний (липень) досягає 10.1-10.6мм. Випаровуваність становить 700-800 мм, що майже в 2 рази перевищує річну суму опадів. За співвідношенням річних сум опадів і випаровування м. Дніпро відноситься до зони недостатнього зволоження.

# КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

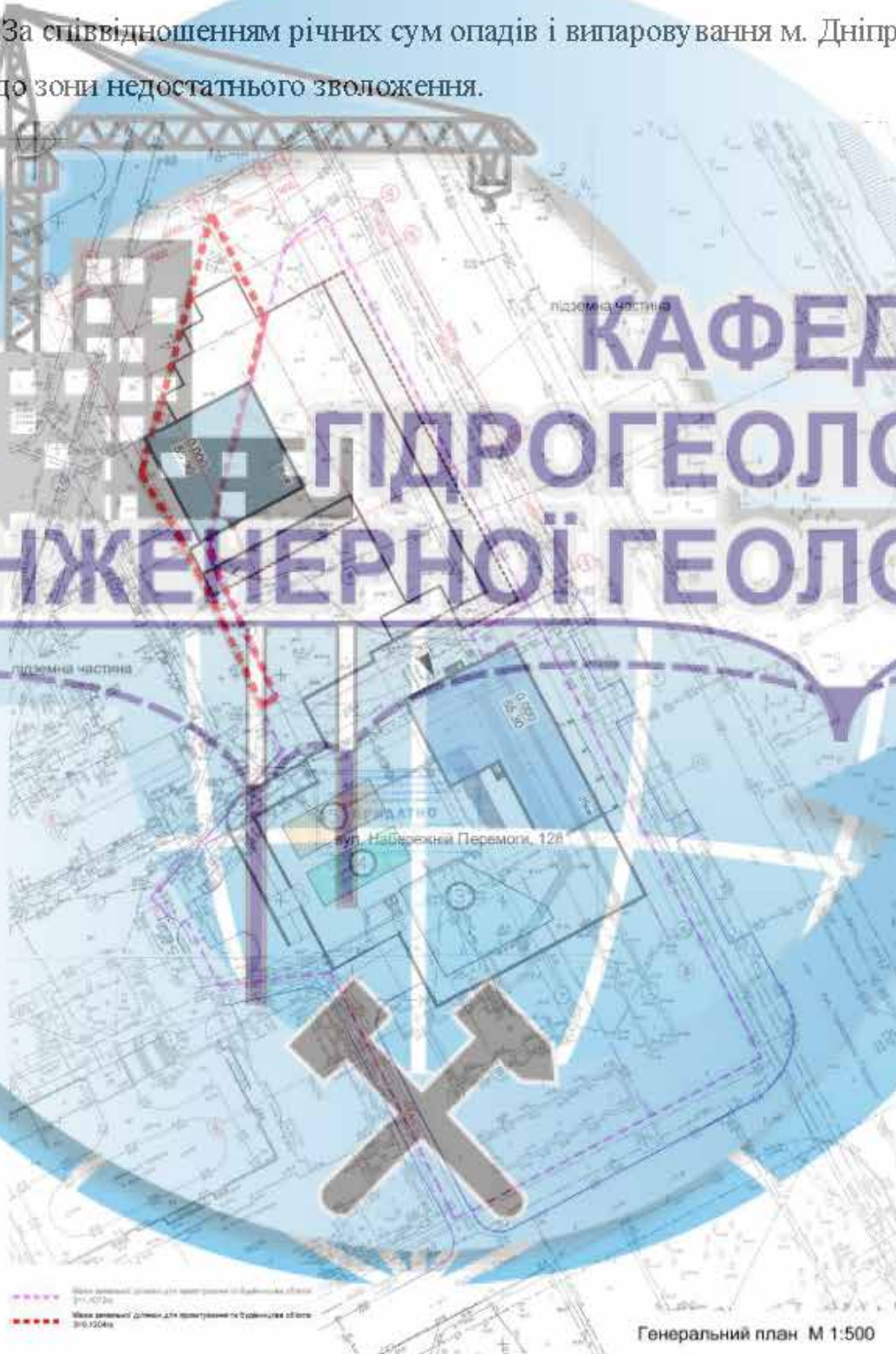


Рисунок 1.1 – План ділянки під будівництво



Сніговий покрив лежить на протязі 70 днів з грудня по березень, середня висота покриву за зиму 15см. Переважаючими вітрами є вітри північно-західного і південного напрямку, повторюваність яких відповідно 18% і 15%. Переважання цих вітрів зберігається в весняно-літній період, восени і взимку збільшується число днів з вітрами південно-східного напрямку (до 14.5%), в період весняної повені найбільш часті (до 17%) південні вітри. Середня швидкість вітру 3.1м/с. Найбільші середні місячні швидкості (3.8м/с) спостерігаються взимку, найменші (2.3-2.4м/с) влітку. Сильні вітри (понад 15м/с) бувають частіше в січні і лютому (1.9 дня в кожному з цих місяців), найбільш рідко (0.5 дня в місяць) - у вересні. Максимальна швидкість вітру - 24 м/с.

Добовий хід вітру істотно залежить як від характеру циркуляції, так і від умов розвитку конвекції і турбулентності. У нічні години і вранці швидкість вітру мінімальна. Максимальна швидкість і значення середньої швидкості відзначаються після полудня. Швидкість вітру залежить також від його напрямку. Найбільша середньорічна швидкість вітру пов'язана з напрямками південній чверті. Найбільшу вірогідність в усі сезони року має вітер швидкістю 2-5м/с. Найбільшу повторюваність (40-45%) за рік має вітер швидкістю 2-5м/с, а повторюваність вітру швидкістю 6-10м/с в зимові місяці становить 20-30%, в літні 15 -20%. Понад 12м/с ймовірність вітру мала і, як правило, становить від 2% до 5%. Але протягом року відзначається в середньому від 8 до 29 днів з вітром, швидкість якого становить 15м/с і більше.

По гідрологічному режиму ріка Дніпро відноситься до річок зі сніговим живленням, що характеризується високими весняними повенями, низькою літньою та зимовою меженню, підвищеним стоком восени. Ширина русла 1.5км, глибина 3.1-5.7м у берегів, на фарватері 6.6-7.0м. Пік повені, зазвичай, проходиться на кінець квітня – початок травня. Наприкінці червня – початку липня повінь закінчується, її тривалість становить у середньому 2.5-3.0 місяці. Літньо-осіння межінь припадає на липень-листопад.

Зимовий сезон починається наприкінці листопада - початку грудня. Льодостав встановлюється у другій половині грудня, при відхиленнях у межах лис-

топад – лютий. Тривалість льодоставу коливається від одного до п'яти місяців. Крижаний покрив характеризується наявністю ополонки, що затягається лише у винятково суворі зими. Товщина льоду становить у середньому 22мм, найбільша 40мм. Розкриття ріки відбувається, переважно, в середині березня, очищення від льоду – наприкінці місяця. Загальна тривалість періоду з льодовими явищами становить 63 – 110 днів.

Режим ріки визначається режимом роботи ДніпроГЕС і водосховищ, розташованих вище за течією. Абсолютна відмітка 1% і 10% забезпеченості, по даним "Укргідропроєкт" становить, відповідно, 52.68м і 51.42м. Спрацювання водоймища в літньо-осінній і зимовий періоди не проводиться, допускається лише в межах до 0.5м для несення служби добового й тижневого регулювання, а також в аварійних ситуаціях, коли вона дозволяється до відміток у навігацію – 50.5м, узимку - 48.5м. Амплітуда коливання рівня води при добовому регулюванні на Дніпродзержинській ГЕС не перевищує 0.36 м. Максимально можлива відмітка рівня за рахунок цього виду регулювання (у зиму багатоводного року) – 51.84м, мінімальна (восени маловодного року) – 50.52м. 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.

Згідно з [1] до глибини 45,0 м геологічний розріз ділянки досліджень представлено комплексом сучасних, четвертинних алювіальних і алювіально-делювіальних відкладень, які залягають на товщі палеогенових і палеозой-кайнозойських утворень кори вивітрювання скельних порід. З денної поверхні корінні ґрунти перекриті техногенними насипними і наливними ґрунтами. У розрізі ділянки виділяють 7 інженерно-геологічних елементів

Шар 1 (t IV). Насипні ґрунти – представлені, переважно, сумішшю твердих супіщано-суглинистих та маловологих піщаних ґрунтів, які знаходяться вище рівня підземних вод і насичених водою нижче рівня, від темно-сірого до чорного кольору, з корінням рослин, з включенням будівельного сміття (шлак, щебінь, уламки цегли та бетону) вмістом 5-15%, на окремих ділянках з денної поверхні асфальтове покриття на піщано-шлаковій підсипці. Утворені після на-

миву з послідувачим плануванням території. За давністю утворення відносяться до злежалих і незлежалих. Перекривають досліджувану ділянку повсюдно, за виключенням сврд.№11 (дно котловану). Потужність змінюється від 0.7м до 3.6м.

Шар 1а (t IV). Намивні ґрунти - піски кварцові, жовтувато-сірі, середньої крупності, з прошарками пісків дрібних, однорідні, середньої щільності, насичені водою, локально вище рівня підземних вод вологі, з одиничними включеннями щебеню скельних порід. Поширені повсюдно. Утворені при проведенні гідронамиву території житлового масиву «Лоцманський», намиті на корінні алювіальні піски, покрівля яких до намиву знаходилась приблизно на абсолютних відмітках 52.0-53.0 м (об'єкт №567, 1972р.[17]). Зафіксувати чітку межу між намивними і корінними пісками при бурінні свердловин виявилось неможливим. За давністю намиву (1971р.) намивні піски відносяться до злежалих, мають такі ж властивості як і корінні піски, тому розглядаються разом. Загальна потужність пісків змінюється від 3.1м до 5.6м.

Верхньочетвертинні осадові відкладення

Шар 2а (ad III st)). Суглинки темно-сірі, чорні, м'якопластичні, з домішками органічних речовин, з тонкими прошарками супісків, із специфічним болотним запахом, з уламками раковин молюсків. Мають практично повсюдне поширення. Потужність шару змінюється в інтервалі 0.4-2.4 м .

Шар 2 (ad III). Суглинки зеленувато-сірі, сірі, тугопластичні (в покрівлі м'якопластичні), запісковані, з незначним включенням органічних речовин. Мають практично повсюдне поширення. Потужність змінюється від 0.4 м до 4.3 м.

Шар 3а (а III). Піски кварцові, сірі, пілуваті, однорідні, глинисті, середньої щільності, насичені водою. Мають практично повсюдне поширення. Потужність становить 0.9-3.3м.

Шар 3 (а III). Піски кварцові, сірі, зеленувато-сірі, дрібні, однорідні, у покрівлі глинисті, насичені водою, з уламками раковин молюсків. Поширені повсюдно. Потужність змінюється в великих межах - від 1.9м до 7.8м.

### Середньочетвертинні відкладення

Шар 4 (а II). Піски кварцові, сірі, середньої крупності, з прошарками крупних і гравіюватих, неоднорідні, насичені водою, в окремих інтервалах з прошарками суглинків тугопластичних, з включеннями гравію кварцу, уламків кремнію і пісковика, з раковинами молюсків, частково обкатаної гальки, дресви і щебеню скельних порід вмістом від 10-15 до 30-40%. Потужність шару невитримана і змінюється в великому діапазоні від 0.7 м до 6.7 м.

### Палеогенові відкладення

Шар 5 (Р 2 bc). Буровугільні глини – темно-бурі, чорні, від твердої до м'якопластичної консистенції, з гніздами і прошарками пісків різнозернистих та торфу, з хаотичним включенням гальки та щебеню скельних порід. Підстилають четвертинні відкладення повсюдно, залягають на глибинах від 14.2 м до 22.9 м (абс. відм. 32.40-41.00 м), з перепадом в глибині залягання і в абсолютних відмітках близько 8.6-8.7 м. Потужність змінюється в великих межах від 8.1 м до 17.1 м. Максимальна потужність зафіксована на ділянці будівництва висотної будівлі в районі свердловин №№12,14,15,16.

Шар 6 (Р 2 bc). Піски кварцові, сірі, світло-сірі, дрібні, неоднорідні, насичені водою. Поширені локально (сврд. №№1,4 [21], сврд. №15) потужністю від 0.5 м до 2.5 м.

### Палеозой-кайнозойські утворення

Шар 7 (PZ-KZ). Дисперсна зона кори вивітрювання скельних порід (підзона глинистих продуктів вивітрювання), представлена каолінами первинними, за номенклатурою – суглинки сірі, сірувато-білі, білі, в покрівлі шару кремові, кремувато-білі, тверді, з включенням зерен кварцу, дресви та щебеню скельних порід. Покрівля каолінів нерівна, має куполоподібне залягання, залягає на глибинах від 26.2 м до 40.0 м (абс. відм. 15.30-29.95 м). Перепад в глибині залягання і в абсолютних відмітках становить приблизно 14.0-15.0 м (креслення 3 графічних додатків). Максимально розкрита потужність каолінів становить 12.2 м.

Геологічна будова досліджуваної ділянки приведена на інженерно-

геологічних розрізах (креслення 2 графічних додатків), які ілюструють характер залягання ґрунтів, невитриманість їх по потужності та площі розповсюдження, а карти ізострат покрівлі каолінів приведені на кресленні 3 графічних додатків.

У гідрогеологічному відношенні в межах ділянки проєктованого будівництва поширено водоносний комплекс, приурочений до четвертинних і палеогенових відкладень з єдиним сталим рівнем підземних вод, який знаходиться на глибинах 0,85 – 2,5 м (абс. відм. 52,93 – 53,5 м) від денної поверхні. На ділянці проведення водознижувальних робіт (район сверд. № 10) на момент буріння рівень підземних вод знаходився на глибині 3,1 м від денної поверхні (зниження рівня приблизно на 0,5 м).

Водовмісними ґрунтами водоносного комплексу слугують насипні та намивні ґрунти (шари 1, 1а – з глибини залягання рівня підземних вод), суглинисті та піщані відкладення (шари 2а, 2, 3а, 3, 4, 5, 6), що характеризуються різними фільтраційними властивостями. Коефіцієнти фільтрації водовмісних ґрунтів наступні: намивних ґрунтів (шар 1а) – 3,5 м/добу; суглинків (шари 2а, 2) – 0,02 – 0,17 м/добу; пісків пилуватих (шар 3а) – 1,0 – 1,5 м/добу; пісків дрібних (шар 3) – 3,5 м/добу; пісків середніх (шар 4) – 12,5 м/добу.

Коефіцієнти фільтрації водовмісних ґрунтів наступні: намивних ґрунтів (шар 1а) – 3.5 м/добу; суглинків (шари 2а,2) – 0.02-0.17 м/добу; пісків пилуватих (шар 3а) – 1.0-1.5 м/добу; пісків дрібних (шар 3) – 3.5 м/добу; пісків середніх (шар 4) – 12.5 м/добу.

Відносним водотримом слугують каоліни (шар 7) з коефіцієнтом фільтрації  $< 0,005$  м/добу, а регіональним – нетріщуваті різновиди скельних порід, які залягають на глибинах 50 – 60 м від денної поверхні. Водоносний комплекс поповнює свої запаси за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, витоків з водогінних комунікацій, припливу з боку вищерозташованих забудованих територій. Розвантаження здійснюється в північно-східному напрямку в р. Дніпро. Підземні води прозорі, без запаху, без кольору.

Згідно ДСТУ Б В.2.6-145:2010:

- за вмістом сульфатів ( $SO_4^{2-}$ ) – 57.6-113.6 мг/дм<sup>3</sup>;  $HCO_3^-$  – 4.3-6.6 мг-

екв/дм<sup>3</sup>) неагресивні до бетонів марок W 4, W 6, W 8 по водонепроникності на портландцементі по ДСТУ Б В.2.7-46, неагресивні до бетонів цих марок на портландцементі з вмістом в клінкері мінеральних добавок на шлакопортландцементі і до сульфатостійких цементів по ДСТУ Б В.2.7-85;

- за вмістом хлоридів (Cl<sup>-</sup> = 28.4-95.9 мг/дм<sup>3</sup>) неагресивні до арматури залізобетонних конструкцій при постійному зануренні і слабоагресивні при періодичному змочуванні;

- за водневим показником, сумі хлоридів і сульфатів середньоагресивні до металевих конструкцій при вільному доступі кисню.

Досліджувана товща ґрунтів за номенклатурними ознаками і властивостями, згідно ДСТУ Б В.2.1-2-96, розділена на 10 інженерно-геологічних елементів (ІГЕ), у межах яких товща є статистично однорідною за складом й властивостями. Нумерація ІГЕ відповідає нумерації виділених шарів.

Окремі значення і статистичні параметри характеристик фізико-механічних властивостей ґрунтів (ІГЕ-1а,2а,2,3а,3-7) приведені у текстовому додатку 2. Нормативні та розрахункові показники складу й фізико-механічних властивостей ґрунтів - у табличних додатках 1-9, розрахункові - в таблиці 1 креслення 2, аркуш 1 графічних додатків (рис. 1.2).

Фізичні, деформаційні і міцнісні характеристики ґрунтів прийняті за результатами лабораторних досліджень з урахуванням результатів польових дослідних робіт (статичне зондування, радіоактивний каротаж, випробування ґрунтів пресиометром, дилатометром) виконаних раніше на досліджуваній ділянці і на суміжних територіях.

Деформаційні і міцнісні характеристики суглинків ІГЕ-2а,2 отримані за результатами випробувань дилатометром, пісків ІГЕ-1а,3а,3,4 - за результатами статичного зондування. Модуль загальної деформації буровугільних глин ІГЕ-5 та каолінів ІГЕ-7 отриманий за результатами компресійних випробувань по стандартній методиці до навантажень 0.8 МПа (ІГЕ-5) та 1.0 МПа (ІГЕ-7) і розраховувався з коефіцієнтом, що враховує неможливість розширення в компресійному приладі, та коригуючим коефіцієнтом К<sub>п</sub>, який вводиться для зістав-

лення модуля, отриманого лабораторними методами.



Рисунок 1.2 – Інженерно-геологічний розріз ділянки досліджень

Характеристики міцності ґрунтів ІГЕ-5,7 визначені методом одноплщинного зрізу у природному стані за схемою повільного консолідовано-дренованого зрізу ступенями тисків 0.2-0.4-0.6МПа (ІГЕ-5) та 0.4-0.6-0.8МПа (ІГЕ-7).

Нижче описані найбільш характерні особливості властивостей ґрунтів.

Намивні піски ІГЕ-1а. У гранулометричному складі вміст піщаних фрак-

цій розміром  $>0.25\text{мм}$  становить  $57.71\%$  - відносяться до середньої крупності, по ступеню неоднорідності -  $2.99$  відносяться до однорідних. Природна вологість становить  $0.20\text{ч.од.}$ , по ступеню вологості  $0.86$  - насичені водою. Щільність ґрунту  $1.97\text{г/см}^3$ , щільність сухого ґрунту  $1.64\text{г/см}^3$ . За коефіцієнтом пористості  $0.62$  класифікуються як середньої щільності.

Нормативне значення модуля загальної деформації  $33.0\text{МПа}$ , кута внутрішнього тертя  $36^\circ$ , питомого зчеплення  $1.5\text{кПа}$ .

Суглинки ПЕ-2а. Число пластичності  $0.09-0.12$  (нормативне значення  $0.10$ ), природна вологість змінюється в інтервалі  $0.26-0.30\text{ч.од.}$  (нормативне значення  $0.28\text{ч.од.}$ ), консистенція м'якопластична (показник текучості  $0.71$ ). Щільність ґрунту  $1.85-1.94\text{ г/см}^3$  (нормативне значення  $1.90\text{г/см}^3$ ), щільність сухого ґрунту  $1.45-1.52\text{г/см}^3$  (нормативне значення  $1.48\text{г/см}^3$ ).

У гранулометричному складі вміст глинистої фракції розміром  $<0.005\text{мм}$  становить  $11.23\%$ , пилуватої фракції розміром  $0.005-0.05\text{мм}$  –  $68.77\%$ , піщаної розміром  $0.05-0.5\text{мм}$  -  $20.00\%$ . За числом пластичності й гранулометричним складом класифікуються як легкі пилуваті.

Вміст органічних речовин  $5.3-9.7\%$  (нормативне значення  $6.82\%$ ) – класифікуються як з домішками органічних речовин.

Модуль загальної деформації становить  $3.5\text{МПа}$ . Нормативні характеристики міцності: кут внутрішнього тертя  $23^\circ$ , питоме зчеплення  $18.0\text{кПа}$ .

Суглинки ПЕ-2. Число пластичності  $0.09-0.14$  (нормативне значення  $0.11$ ), природна вологість змінюється в інтервалі  $0.21-0.30\text{ч.од.}$  (нормативне значення  $0.25\text{ч.од.}$ ), консистенція тугопластична (показник текучості  $0.35$ ). Щільність ґрунту  $1.91-2.03\text{ г/см}^3$  (нормативне значення  $1.95\text{ г/см}^3$ ), щільність сухого ґрунту  $1.48-1.68\text{г/см}^3$  (нормативне значення  $1.56\text{г/см}^3$ ).

У гранулометричному складі вміст глинистої фракції розміром  $<0.005\text{мм}$  становить  $11.50\%$ , пилуватої фракції розміром  $0.005-0.05\text{мм}$  –  $64.67\%$ , піщаної розміром  $0.05-0.5\text{мм}$  -  $23.83\%$ . За числом пластичності й гранулометричним складом класифікуються як легкі пилуваті. Вміст органічних речовин  $0.6-5.2\%$  (нормативне значення  $3.07\%$ ) – з незначним вмістом органічних речовин.



Модуль загальної деформації становить 8.0МПа. Нормативні характеристики міцності: кут внутрішнього тертя  $22^{\circ}$ , питоме зчеплення 24.0 кПа. Піски кварцові ПЕ-3а. У гранулометричному складі вміст піщаних фракцій розміром  $>0.1$  мм становить 67.88 % - відносяться до пилюватих, по ступеню неоднорідності 2.97 – однорідні. Нормативне значення природної вологості становить 0.20 ч.од., ступінь вологості 0.83 (насичені водою). Щільність ґрунту змінюється від  $1.93 \text{ г/см}^3$  до  $1.99 \text{ г/см}^3$  (нормативне значення  $1.95 \text{ г/см}^3$ ), щільність сухого ґрунту  $1.61\text{-}1.66 \text{ г/см}^3$  (нормативне значення  $1.63 \text{ г/см}^3$ ).

За коефіцієнтом пористості 0.63 класифікуються як середньої щільності. Нормативне значення модуля загальної деформації 20.0МПа, кута внутрішнього тертя  $31^{\circ}$ , питомого зчеплення 4.5 кПа.

Піски кварцові ПЕ-3. У гранулометричному складі вміст піщаних фракцій розміром  $>0.1$ мм становить 93.09 % - відносяться до дрібних, по ступеню неоднорідності 2.4 – однорідні. Нормативне значення природної вологості становить 0.20 ч.од., ступінь вологості 0.90 (насичені водою), щільність ґрунту  $2.01 \text{ г/см}^3$ , щільність сухого ґрунту  $1.68 \text{ г/см}^3$ .

За коефіцієнтом пористості 0.59 класифікуються як щільні.

Нормативне значення модуля загальної деформації 34.2 МПа, кута внутрішнього тертя  $34^{\circ}$ , питомого зчеплення 3.0 кПа.

Піски кварцові ПЕ-4. У гранулометричному складі вміст піщаних фракцій розміром 0.25-2 мм становить 54.71 %, великоуламкових 2-200 мм становить 13.54 %, відносяться до середньої крупності. По ступеню неоднорідності 3.58 – неоднорідні. Нормативне значення природної вологості становить 0.19 ч.од., ступінь вологості 0.93 (насичені водою), щільність ґрунту  $2.05 \text{ г/см}^3$ , щільність сухого ґрунту  $1.72 \text{ г/см}^3$ .

За коефіцієнтом пористості 0.54 класифікуються як щільні.

Нормативне значення модуля загальної деформації 40.6МПа, кута внутрішнього тертя  $38^{\circ}$ , питомого зчеплення 2.0 кПа. Буровугільні глини ПЕ-5. По числу пластичності, в залежності від заторфованості і записоченості, в товщі виділяються суглинки (число пластичності 0.08-0.17), глини (число пластично-

сті 0.18-0.26) та прошарки і гнізда торфу (число пластичності 0.19-0.25), нормативне значення неоднорідної товщі становить 0.16, консистенція від твердої до м'якопластичної, по нормативному значенню (показник текучості 0.07) – напівтверді, природна вологість змінюється в інтервалі 0.17-0.68 ч.од., підвищуючись до 0.72-1.54 ч.од. в прошарках торфу (нормативне значення всієї товщі 0.69 ч.од.).

Щільність суглинистого ґрунту 1.46-1.99 г/см<sup>3</sup>, щільність торфу 1.12-1.44 г/см<sup>3</sup> (нормативне значення всієї товщі 1.52 г/см<sup>3</sup>), щільність сухого суглинистого ґрунту 0.87- 1.70 г/см<sup>3</sup>, щільність сухого торфу 0.44-0.84 г/см<sup>3</sup> (нормативне значення всієї товщі 0.90 г/см<sup>3</sup>).

Вміст органічних речовин в суглинистій товщі змінюється від 6.7% до 35.5%, збільшуючись до 53.4-81.3% в прошарках торфу (нормативне значення всієї товщі становить 35.98%).

Модуль загальної деформації в інтервалах навантажень: 0.1-0.2МПа становить 12.4МПа, 0.2-0.3МПа - 14.65МПа, 0.3-0.4МПа - 18.21МПа, 0.4-0.5МПа – 20.58МПа, 0.5- 0.6МПа – 22.23МПа, 0.6-0.7МПа – 24.84МПа, 0.7-0.8МПа – 26.29МПа. Міцнісні показники такі: кут внутрішнього тертя 21.5<sup>0</sup>, питоме зчеплення 38.7кПа (інтервал навантажень 0.2-0.4-0.6МПа). Піски кварцові ПГЕ-6. У гранулометричному складі переважає піщана фракція розміром 0.10-0.25мм - 69.19% - відносяться до дрібних, неоднорідних (ступінь неоднорідності 6.28). Природна вологість ґрунтів 0.20 ч.од., за ступенем вологості 0.92 - насичені водою.

Нормативне значення щільності ґрунту 2.02 г/см<sup>3</sup>, щільності сухого ґрунту 1.68 г/см<sup>3</sup>. За коефіцієнтом пористості 0.58 класифікуються як щільні. Модуль загальної деформації 35.0 МПа, кут внутрішнього тертя 35<sup>0</sup>, питоме зчеплення 3.0 кПа.

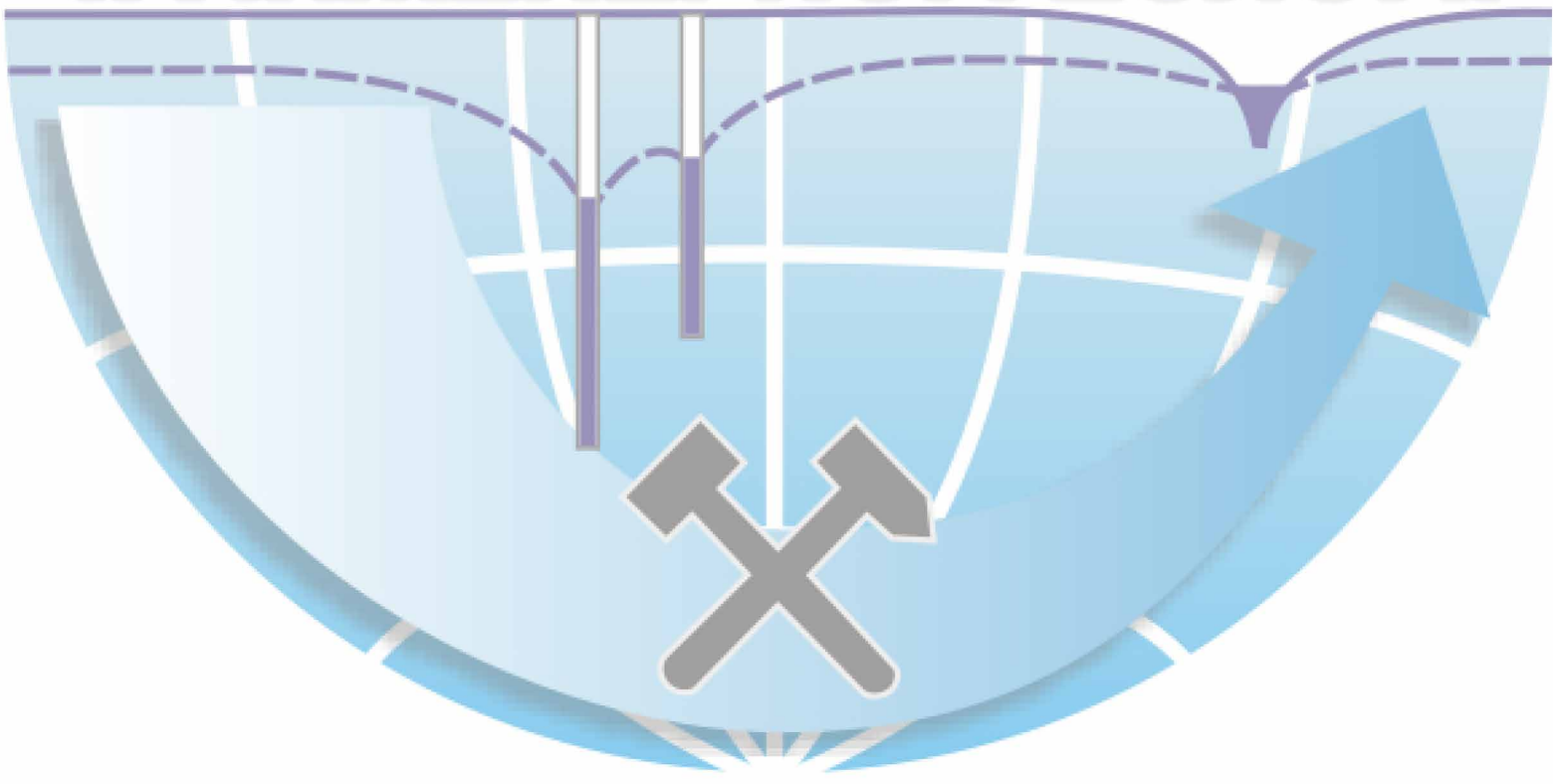
Каоліни первинні ПГЕ-7. По числу пластичності суглинки (число пластичності 0.10-0.17), нормативне значення 0.14, природна вологість змінюється від 0.18 ч.од. до 0.31 ч.од. (нормативне значення 0.25ч.од.), консистенція від напівтвердої до твердої, за нормативним значенням - тверді (показник текучості <0).

Щільність ґрунту  $1.86-2.10 \text{ г/см}^3$  (нормативне значення  $2.01 \text{ г/см}^3$ ), щільність сухого ґрунту  $1.42-1.80 \text{ г/см}^3$  (нормативне значення  $1.61 \text{ г/см}^3$ ).

У гранулометричному складі вміст глинистої фракції розміром  $<0.005 \text{ мм}$  становить  $16.03 \%$ , пилюватої розміром  $0.005-0.05 \text{ мм}$  –  $37.20 \%$ , піщаної і великоуламкової розміром  $0.05-200 \text{ мм}$  –  $46.77 \%$ .

Модуль загальної деформації ґрунтів в інтервалі навантажень  $0.1-0.2 \text{ МПа}$  становить  $20.73 \text{ МПа}$ ,  $0.2-0.3 \text{ МПа}$  –  $23.67 \text{ МПа}$ ,  $0.3-0.4 \text{ МПа}$  –  $26.67 \text{ МПа}$ ,  $0.4-0.5 \text{ МПа}$  –  $29.2 \text{ МПа}$ ,  $0.5-0.6 \text{ МПа}$  –  $32.79 \text{ МПа}$ ,  $0.6-0.7 \text{ МПа}$  –  $35.39 \text{ МПа}$ ,  $0.7-0.8 \text{ МПа}$  –  $40.00 \text{ МПа}$ ,  $0.8-0.9 \text{ МПа}$  –  $46.50 \text{ МПа}$ ,  $0.9-1.0 \text{ МПа}$  –  $49.38 \text{ МПа}$ . Міцнісні показники такі: кут внутрішнього тертя  $15.5^\circ$ , питоме зчеплення  $37.8 \text{ кПа}$  (інтервал навантажень  $0.4-0.6-0.8 \text{ МПа}$ ). Як видно з приведеного вище опису, ґрунти, що складають геологічний розріз досліджуваної ділянки, відрізняються за своїми геотехнічними характеристиками.

# КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



## 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДІЛЯНКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Відповідно до проекту з водозниження [2] при будівництві котловану під пакування зниження рівня ґрунтових вод проводитиметься двома контурами дренажу з голкофільтрами. Рівень буріння першого контуру голкофільтрів складає 54,15 м, другого контуру – 49,65 м. Довжина голкофільтрів 7 м. Відмітка рівня відбору підземних вод голкофільтрами відповідно буде складати для першого контуру 47,15 м та для другого – 42,65 м (рис. 2.1). Відбір підземних вод на першому контурі дренажу передбачається проводити трьома насосними установками, на другому контурі двома. При цьому середня продуктивність кожної установки становить 960 м<sup>3</sup>/добу.

У плані контур першого дренажу є складною фігурою з довжиною основних сторін 73,5 м і 55 м, другий контур прямокутний з довжинами сторін 33,5 м і 27,4 м. Для виконання гідрогеологічних розрахунків дренажі з різними в плані конфігураціями необхідно привести до фіктивних (круглих), приплив води в які дорівнює припливу в реальні дренажі. Цей прийом оснований на тому, що гідроізогіпси ґрунтових вод лише поблизу дренажу мають його форму, а вже на деякому видаленні від нього вони наближаються до кола з центром тяжіння контуру дренажу. Згідно з [3] для визначення наведеного радіусу дренажу складної форми (першого) можна скористатися виразом

$$r_0 = \sqrt[n]{r_1 \cdot r_2 \cdot r_3 \cdot \dots \cdot r_n}, \quad (2.1)$$

– для дренажу прямокутної форми (другого)

$$r_0 = \mu \frac{a+b}{4}, \quad (2.2)$$

де  $a$ ,  $b$  – розміри сторін прямокутного дренажу;  $\mu$  – коефіцієнт, що залежить від співвідношення сторін прямокутника (1,18, [3]);  $r_1$ ,  $r_2$  – відстань від центру тяжіння дренажу до середини його сторін та кутів;  $n$  – число характерних точок, для яких визначається відстань  $r$  (рис. 2.2).

Підставляючи в формули (1.1), (1.2) значення відстаней, наведених на

рис. 1.2, можна визначити, що наведений радіус ( $r_0$ ) першого і другого контурів дренажу відповідно дорівнює 34,9 м та 17,9 м. Знаючи цю величину і приймаючи зниження від дренажу як різницю між рівнем ґрунтових вод і відміткою закінчення голкофільтра, можна визначити радіус впливу  $R$  кожного контуру дренажу чисельним рішенням наступного рівняння [3]

№	Геологічний індекс	Глибина підшви, м	Потужність шару, м	Опис ґрунтів
1	t IV	3.0	3.0	Насипні ґрунти - з поверхні асфальт на щебенисто-шлаковій підсилюв. з пішаним заповнювачем. З гл. 0.4м піски кварцові, сірувато-жовті, дрібні, мало вологі до рівня підземних вод, нижче рівня насичені водою.
54,15 Рівень буріння I голкофільтрів				
53,5 Рівень ґрунтових вод				
1a	t IV	6,2	3,2	Нам'якані ґрунти - піски кварцові, жовтувато-сірі, середньої крупності, з прошарками пісків дрібних, однорідні, середньої щільності, насичені водою, з обличчними вклученнями щебеню скельних порід.
49,65 Рівень буріння II голкофільтрів				
2a	ad III ad	7,8	1,6	Суглинки темно-сірі, чорні, м'якопластичні, з домішками органічних речовин, з тонкими прошарками суглинків, із специфічним болотним запахом, з уламками раковин моллюсків.
2	ad III	8,4	0,6	Суглинки зеленувато-сірі, сірі, тугопластичні, (у покрівлі м'якопластичні), записковані, з незначним вклученням органічних речовин.
3a	a III	11,7	3,3	Піски кварцові, сірі, пилуваті, насичені водою.
47,15				
3	a III	16,5	4,8	Піски кварцові, сірі, зеленувато-сірі, дрібні, однорідні, у покрівлі - глинисті, насичені водою, з уламками раковин моллюсків.
42,65				
4	a II	20,6	4,1	Піски кварцові сірі, середньої крупності, з прошарками крупних і гравієватих, неоднорідні, насичені водою, в окремих інтервалах з прошарками суглинків тугопластичних, з вклученнями гравію кварцу, уламків кремнію і пісковиків, з раковинами моллюсків, частково обкатаної гальки, дресви і щебеню скельних порід вмістом від 10-15% до 30-40%.
5	P <sub>2</sub> bc	37,0	16,4	Вуровугільні глини (за номенклатурою суглинки і глини), темно-бурі, чорні, напівтверді (від твердих до м'якопластичних), з гніздами і прошарками пісків різнозернистих та торфу, з хаотичним вклученням гальки та щебеню скельних порід.
18,5 м Водотрим				
7	P <sub>3</sub> -K <sub>2</sub>	43,0	6,0	Дисперсна зона кори вивітрювання скельних порід - підзона глинистих продуктів розкладання, представлена каолінами первинними, за номенклатурою суглинки, сірі сірувато-білі, білі, в покрівлі шару кремеві, кремувато-білі, тверді, з вклученням зерен кварцу, дресви та щебеню скельних порід.

Рисунок 2.1 – Усереднена стратиграфічна колонка котловану під паркінг з голкофільтрами першого та другого контурів

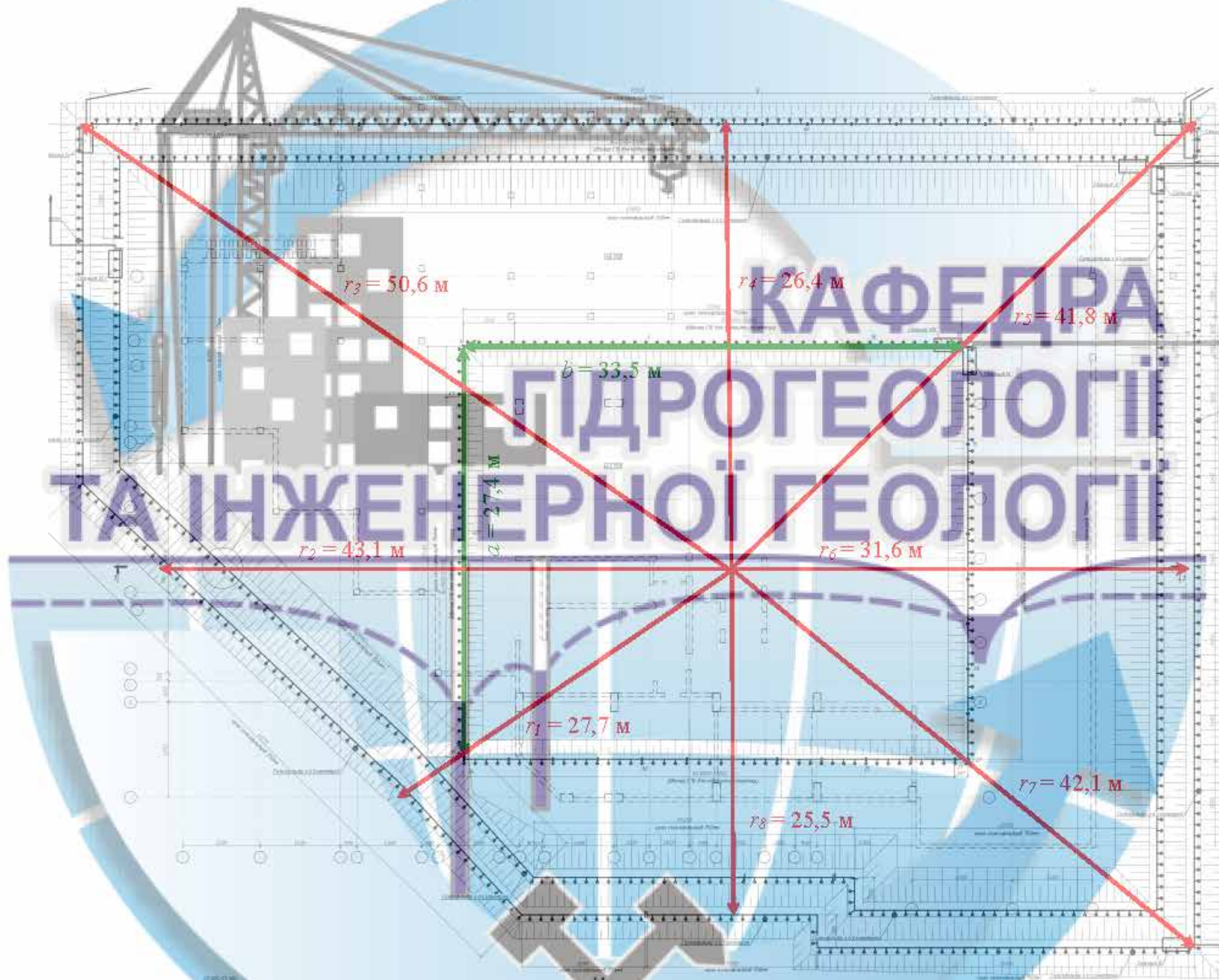


Рисунок 2.2 – Схема до розрахунку наведеного радіусу першого та другого контурів дренажу

$$R\sqrt{\lg R - \lg r_0 - 0,217} = 0,66\sqrt{\frac{k}{\omega}(2m - S)S - 0,5r_0^2}, \quad (2.3)$$

де  $k$  – середній коефіцієнт фільтрації у зоні водозниження;  $\omega$  – величина інфільтраційного просочування, яка відповідно [4] приймається рівною 0,002 м/добу;  $m$  – потужність водоносного горизонту (35 м, рис. 1.1);  $S$  – зниження рівня підземних вод у результаті роботи дренажу.

За допомогою радіусу впливу можна визначити сумарну витрату підземних вод, які надходять у дренажну систему, за виразом

$$Q = \frac{\pi k(2m - S)S}{n \ln \frac{R}{r_0} + \ln \frac{\sigma}{\pi d}}, \quad (2.4)$$

де  $\sigma$  – відстань між свердловинами (голкофільтрами);  $n$ ,  $d$  – відповідно їх число і діаметр.

При цьому зниження від контуру дренажу розраховується за такою формулою

$$S_d = m - \sqrt{m^2 - \left( \frac{Q}{\pi k} \cdot \ln \left( \frac{R}{r_0} \right) \right)}, \quad (2.5)$$

Необхідно відзначити, що наведена методика розрахунку параметрів роботи дренажної системи, яка ґрунтується на рівняннях (1.1) – (1.5), не дозволяє оцінити вплив спільної роботи першого та другого контурів голкофільтрів на гідрогеологічний режим прилеглих до котловану територій. Відповідно до наведених у [5] – [6] рекомендацій, це необхідно зробити за допомогою чисельного моделювання геофільтрації. Наведені рівняння будуть використані в подальшому під час тестування та перевірки адекватності запропонованої чисельної гідрогеологічної моделі.

### 3 ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ СХЕМИ МОДЕЛІ

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

Практика та досвід рішення задач прогнозування гідродинамічних змін в геотехнічному середовищі показує, що метод чисельного математичного моделювання є найбільш гнучким і обґрунтованим в умовах певної невизначеності й багатofакторності природних та штучно створених процесів [7] – [8].

На геофільтраційних моделях є можливість врахувати особливості техногенної порушеності ґрунтового масиву в результаті експлуатації водозабірних споруд, перетікання через розділяючі слабопроникні шари, інфільтраційне живлення за рахунок атмосферних опадів і техногенних витоків, випаровування залежно від глибини залягання ґрунтових вод, височування на поверхню, зміну граничних умов й параметрів у часі, анізотропію фільтраційних властивостей та ін. Фізичною основою моделі фільтрації є закон збереження балансу, що дозволяє в явному вигляді знайти залежність динаміки рівнів і витрат у часі й за площею.

Під гідродинамічним моделюванням розуміють процес відтворення на спеціально побудованих аналогах складних гідрогеологічних об'єктів з метою вивчення їх параметрів. Математична модель аналогічна об'єкту за сукупністю і тотожністю рівнянь, якими описуються процеси і явища, що протікають на об'єкті та моделі.

Так, в основу моделювання режиму формування рівневої поверхні підземних вод в межах багатofункціонального комплексу по вул. Набережна Перемоги, 128 покладено основне диференціальне рівняння фільтрації (3.1), що вирішується чисельними ітераційними методами, які базуються на використанні сіток, тобто системи скінченно-різницевого рівнянь [9] – [11]

$$T_x \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + T_y \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + W + Q_p + Q_n = \mu \frac{\partial H}{\partial t}, \quad (3.1)$$



де  $H$  – шукана функція напору, м;  $T_x$  – водопровідність водоносного горизонту в напрямку « $x$ », м<sup>2</sup>/доб;  $W$  – величина одиничної інфільтрації, м<sup>2</sup>/доб;  $Q_p$  – одинична витрата, що відображає взаємозв'язок з поверхневим водотоком, м<sup>2</sup>/доб;  $Q_n$  – одинична витрата, що характеризує взаємозв'язок водоносних горизонтів через слабопроникні розділяючі шари, м<sup>2</sup>/доб;  $\mu$  – пружна водовіддача,  $t$  – поточний час, доб.

Сутність виведення скінченно-різницевого рівняння полягає в тому, що для кожного елементарного блока сітки (рис. 3.1) складається рівняння балансу, яке замінюється відповідним різницевою виразом.

Фільтраційний опір (величина обернена водопровідності) між центрами сусідніх блоків є співвідношення втрат напору до витрати потоку на вибраній ділянці (доб/м<sup>2</sup>):

$$\Phi = \frac{\Delta H}{Q} = \frac{\Delta H}{K\omega \frac{\Delta H}{\Delta x}} = \frac{\Delta x}{K\omega^2} \quad (3.2)$$

де  $\omega$  – площа поперечного перерізу потоку підземних вод, м<sup>2</sup>.

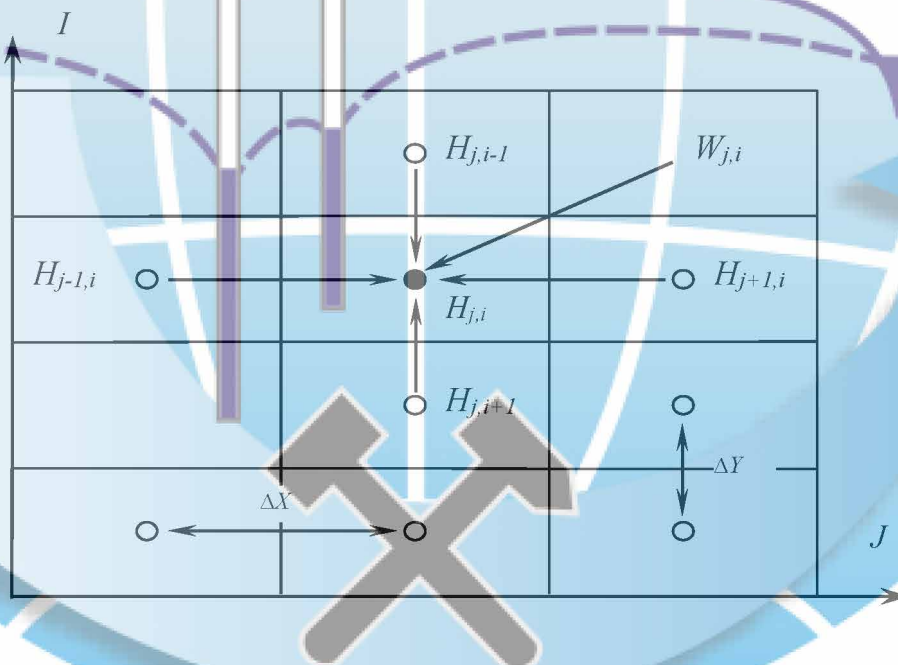


Рисунок 3.1 – Схема до складання та аналізу балансових скінченно-різницевого рівняння:  $H_{j,i}$  – відмітка рівня підземних вод в блоці  $j, i$ ;  $W_{j,i}$  – величина притоку (відтоку) в розрахунковому блоці  $j, i$ ;  $\Delta x, \Delta y$  – відстань між центрами блоків відповідно за осями  $j$  та  $i$

Для планового потоку підземних вод шириною  $\Delta y$  рівняння (3.2) приймає вигляд:

$$\Phi = \frac{\Delta H}{q\Delta y} = \frac{\Delta H}{T\Delta y} = \frac{\Delta H}{T\Delta y \Delta H/\Delta x} = \frac{\Delta x}{T\Delta y} \quad (3.3)$$

В умовах руху води перпендикулярно границі розподілу середовищ з різною водопровідністю їх середні значення для ділянок  $[x_{j-1}, x_j]$ ,  $[x_j, x_{j+1}]$  й  $[x_{i-1}, x_i]$ ,  $[x_i, x_{i+1}]$  обчислюють за формулами:

$$T_{j-1,j} = \frac{2}{1/T_{j-1} + 1/T_j}; \quad T_{j,j+1} = \frac{2}{1/T_j + 1/T_{j+1}};$$

$$T_{i-1,i} = \frac{2}{1/T_{i-1} + 1/T_i}; \quad T_{i,i+1} = \frac{2}{1/T_i + 1/T_{i+1}}$$

Для представлення диференційного рівняння балансу підземних вод (3.1) в скінченно-різницевої формі похідні напору в розрахунковій точці виражають через різницю значень напорів на кінцях просторових або часових інтервалів, віднесених до відстані між границями сусідніх блоків.

Скінченно-різницева апроксимація рівняння (3.1) має вигляд

$$\frac{H_{j-1,i}^t - H_{j,i}^t}{\Phi_{j-1,j}} - \frac{H_{j,i}^t - H_{j+1,i}^t}{\Phi_{j,j+1}} + \frac{H_{j,i-1}^t - H_{j,i}^t}{\Phi_{i-1,i}} - \frac{H_{j,i}^t - H_{j,i+1}^t}{\Phi_{i,i+1}} \pm W_{j,i} \Delta x_j \Delta y_i = \mu_{j,i} \Delta x_j \Delta y_i \frac{H_{j,i}^t - H_{j,i}^{t-\Delta t}}{\Delta t} \quad (3.4)$$

Фільтраційний опір ( $\Phi$ ) потоку між розрахунковими блоками виражають згідно (3.3), через розміри блоків ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ) і значення водопровідності ( $T$ ):

$$\Phi_{j-1,j} = \frac{2\Delta y_i T_{j,i} T_{j-1,j}}{T_{j,i} \Delta x_{j-1} + T_{j-1,j} \Delta x_j}; \quad \Phi_{j,j+1} = \frac{2\Delta y_i T_{j,i} T_{j+1,j}}{T_{j,i} \Delta x_{j+1} + T_{j+1,j} \Delta x_j};$$

$$\Phi_{i-1,i} = \frac{2x_j T_{j,i} T_{j,i-1}}{T_{j,i} \Delta y_{i-1} + T_{j,i-1} \Delta y_i}; \quad \Phi_{i,i+1} = \frac{2x_j T_{j,i} T_{j,i+1}}{T_{j,i} \Delta y_{i+1} + T_{j,i+1} \Delta y_i}$$

Параметр  $W$ , що відтворює живлення (розвантаження) пласта за площею розповсюдження, в даній постановці відображає перетікання через слабопроникні розділяючі шари. Його чисельне значення визначається співвідношенням:

$$W = \frac{H - H'}{m_0/k_0},$$

де  $H, H'$  – напори підземних вод в основному та суміжному водоносних горизонтах;  $k_0, m_0$  – коефіцієнт фільтрації та потужність розділяючого шару.

Виразивши з рівняння (3.4) шукане значення напору через  $H_{j,i}^t$  і позначивши множники при значеннях рівнів через коефіцієнти  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \alpha$ , отримаємо:

$$H_{j,i}^t = \frac{\beta_1}{\alpha} H_{j-1,i}^t + \frac{\beta_2}{\alpha} H_{j+1,i}^t + \frac{\beta_3}{\alpha} H_{j,i-1}^t + \frac{\beta_4}{\alpha} H_{j,i+1}^t + \frac{1}{\alpha} W_{j,i} \Delta x_j \Delta y_i + \frac{\beta_5}{\alpha} H_{j,i}^{t-\Delta t}, \quad (3.5)$$

де

$$\beta_1 = \frac{T_{j,j} \Delta x_{j-1} + T_{j-1,j} \Delta x_j}{2 \Delta y_i T_{j,j} T_{j-1,j}};$$

$$\beta_2 = \frac{T_{j,j} \Delta x_{j+1} + T_{j+1,j} \Delta x_j}{2 \Delta y_i T_{j,j} T_{j+1,j}};$$

$$\beta_3 = \frac{T_{j,i} \Delta y_{i-1} + T_{j,i-1} \Delta y_i}{2 \Delta x_j T_{j,i} T_{j,i-1}};$$

$$\beta_4 = \frac{T_{j,i} \Delta y_{i+1} + T_{j,i+1} \Delta y_i}{2 \Delta x_j T_{j,i} T_{j,i+1}};$$

$$\beta_5 = \frac{\mu_{j,i} \Delta x_j \Delta y_i}{\Delta t};$$

$$\alpha = \sum_{i=1}^5 \beta_i.$$

Рівняння (3.5) представляє собою неявну скінченно-різницеву схему, де визначення невідомого значення напору  $H_{j,i}^t$  стає можливим після розв'язання системи рівнянь виду (3.5) для всіх вузлових точок сітки на час  $t$ .

У разі, якщо похідні  $\partial^2 H / \partial x^2$  і  $\partial^2 H / \partial y^2$  диференціальних рівнянь виражені через значення напорів, що відповідають початку розрахункового часового інтервалу, стає можливим в явному вигляді отримати шукане значення напору  $H_{j,i}^t$ . Часто розрахункова нестійкість явної схеми при певних відношеннях величин  $\Delta t, \Delta x, \Delta y, T$  і  $\mu$  робить її застосування обмеженим. Тому в практиці гідродинамічного моделювання основний розвиток отримали неявні й явно-неявні схеми, стійкість і збіжність яких математично доведена.

Найпростішим прикладом явно-неявної схеми може бути наступний вид рівняння (3.1):

$$\left( H_{j,i}^t - H_{j,i}^{t-\Delta t} \right) \beta_5 = \sigma \left[ \frac{\beta_1 H_{j-1,i}^t + \beta_2 H_{j+1,i}^t + \beta_3 H_{j,i-1}^t + \beta_4 H_{j,i+1}^t}{\alpha} \right] +$$

$$+ (1-\sigma) \left[ \frac{\beta_1 H_{j-1,i}^{t-\Delta t} + \beta_2 H_{j+1,i}^{t-\Delta t} + \beta_3 H_{j,i-1}^{t-\Delta t} + \beta_4 H_{j,i+1}^{t-\Delta t}}{\alpha} \right] + \frac{1}{\alpha} W_{i,j} \Delta x_j \Delta y_i, \quad (3.6)$$

де  $\sigma$  – ваговий коефіцієнт, визначений в межах  $0 \leq \sigma \leq 1$ .

При  $\sigma = 1$  рівняння (3.6) переходить в неявне рівняння (3.5), при  $\sigma = 0$  – приймає явний вигляд, а при проміжних значеннях – стає явно-неявним.

Геофільтраційні задачі, як правило, вирішуються ітераційними методами, суть яких полягає в послідовному наближенні отриманого рішення до точного. Критерієм завершення ітераційного процесу є умова близькості результатів двох послідовних ітерацій:

$$\max_{j,i} |H_{j,i}^{k+1} - H_{j,i}^k| \leq \xi.$$

Вважається, що розрахункова ітерація відрізняється від точного рішення не більш ніж на задане мале число  $\xi$ . Додатковим критерієм є дотримання балансу в кожному блоці області фільтрації.

Представлений алгоритм чисельного рішення диференційного рівняння фільтрації підземних вод покладено в основу програмного забезпечення, що використано для створення геофільтраційної моделі роботи голкофільтрів у процесі будівництва котловану, розташованого в межах багатофункціонального комплексу житлового та громадського призначення по вул. Набережна Перемоги, 128 у м. Дніпрі.

### 3.2 Розрахункова схематизація і методика моделювання

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 [10] – [11].

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-діапазонної оцінки або оберненими задачами в стаціонарній або нестационарній 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 ділянки (першого, другого контурів дренажу та прилеглих до котловану територій) виконана відповідно до особливостей геологічної будови, характеру залягання водовмісних і водотривких порід, їх гідродинамічних характеристик, характеру живлення і розвантаження водоносних горизонтів як за площею, так і на їх контурах.

Межі модельованої території встановлено відповідно до положення контурів дренажу та радіусів їхнього впливу. При визначенні розмірів модельо-

ваної області до уваги приймалися необхідність встановлення особливостей режиму рівнів водоносного комплексу, приуроченого до четвертинних і палеогенових відкладень та його зміни в часі в результаті роботи водознижувальних свердловин (голкофільтрів). З урахуванням просторового положення вказаних елементів розміри модельованої області визначено в межах території 500 м x 500 м відповідно у меридіональному та широтному напрямках при загальній площі моделі 250,0 тис. м<sup>2</sup> (рис. 3.2).

Для детального відображення конфігурації ділянки розташування голкофільтрів по контуру дренажів, геометрії сформованих воронок депресії, а також рівнів води у водоносному комплексі четвертинних і палеогенових відкладень модельована область представлена сіткою розрахункових блоків розмірами 1,0 м x 1,0 м.

У відповідності з геолого-гідрогеологічною будовою району досліджень в вертикальному розрізі область фільтрації схематизована двошаровою водоносною товщею. Перший розрахунковий шар відображає намівні ґрунти, верхньочетвертинні лесовидні суглинки і пилюваті піски ІГЕ-1... За сумарною потужністю 11,7 м. Другий шар – середньо-верхньочетвертинні кварцові піски і палеогенові відкладення сумарною потужністю 25,3 м. При відтворенні структури модельованої області використано дані інженерно-геологічних вишукувань [1].

За гідродинамічні границі на зовнішніх контурах моделі прийнято віддалені границі із забезпеченим живленням ( $H = Const$ ), які відповідають границям третього роду згідно з прийнятою гідродинамічною схемою досліджуваної території (рис. 3.2). Величини водопровідностей на зовнішніх контурах розрахункових шарів визначено виходячи з осереднених значень фільтраційних характеристик літологічних різностей, поширених у межах розрахункових ділянок модельованої області.

Згідно з положенням контурів дренажування та заглибленням голкофільтрів відмітки рівнів води у першій та другій дренажах задавалися рівними 47,15 м і 42,65 м з постійною гідравлічною провідністю (рис. 3.3). При цьому передбачалося, що перша дрена (перший контур голкофільтрів) працюватиме постійно

протягом 6 місяців, а друга дрена (другий контур) – через 2 місяці після першої протягом 4 місяців.

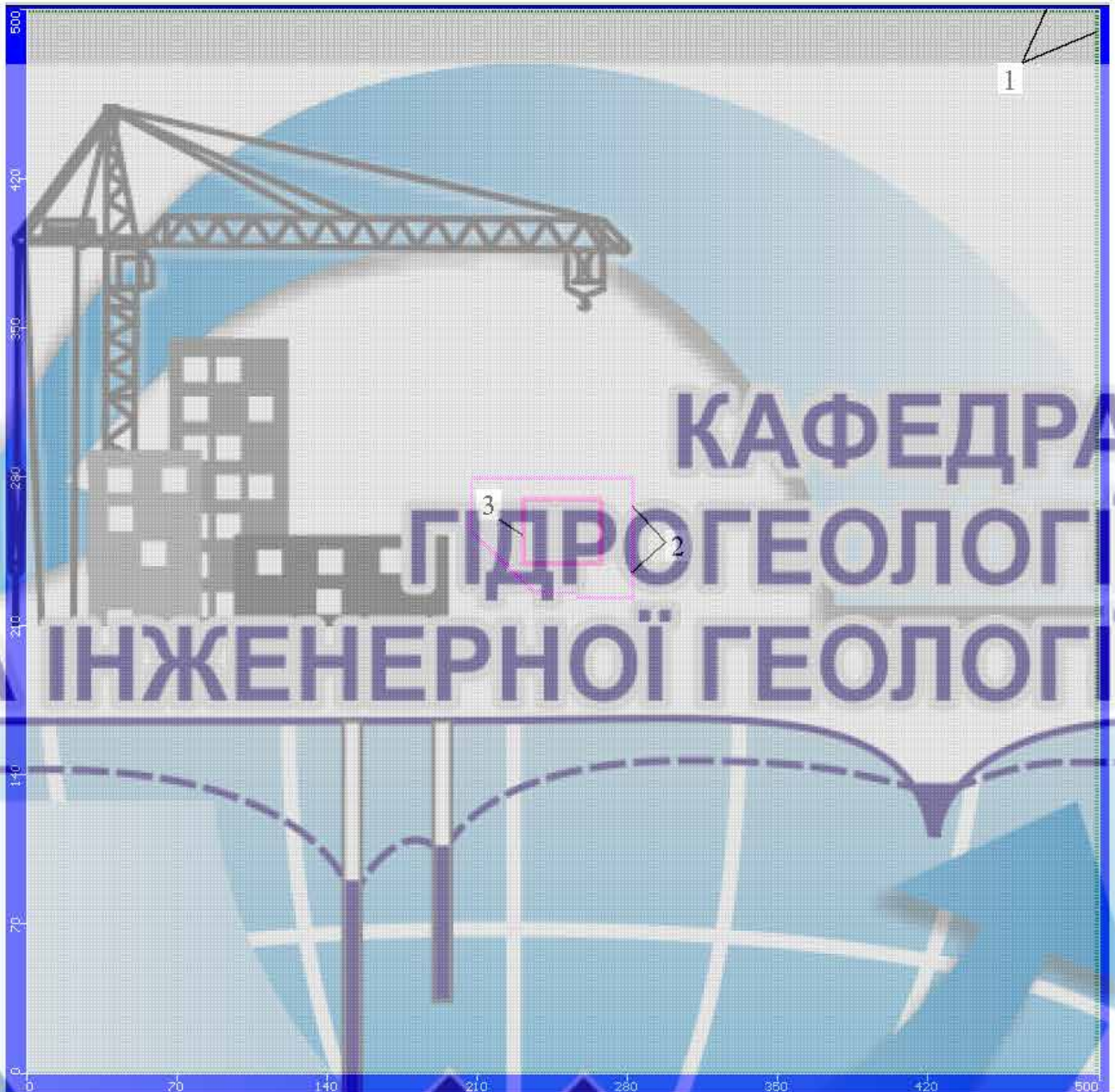


Рисунок 2.2 – Скінченно-різницева дискретизація модельованої області:  
 1 – зовнішні гідродинамічні границі з граничною умовою третього роду;  
 2, 3 – перший та другий контури дренавання водоносних порід голкофільтрами

При оцінці параметрів гідравлічної провідності для розрахункових шарів використано дані [1]. Згідно цих даних значення коефіцієнтів фільтрації для літологічних різностей ґрунтів складають:



Drain - [Edit Group]

File Help

Description: Drain(0)

Assign to appropriate layer

Edit selected row(s) or column: \$ELEVATION \$COND

Start Time [day]	Stop Time [day]	Drain Elevation [m]	Conductance [m <sup>2</sup> /day]	Active
0	180	47.15	20	<input checked="" type="checkbox"/>

a)

Drain - [Edit Group]

File Help

Description: Drain(1)

Assign to appropriate layer

Edit selected row(s) or column: \$ELEVATION \$COND

Start Time [day]	Stop Time [day]	Drain Elevation [m]	Conductance [m <sup>2</sup> /day]	Active
0	60	42.65	20	<input checked="" type="checkbox"/>
60	180	42.65	20	<input checked="" type="checkbox"/>

б)

Рисунок 3.3 – Скріншот значень параметрів першої та другої дрен

навивних ґрунтів (шар 1а) – 3,5 м/добу,

суглинків (шари 2а, 2) – 0,15 м/добу;

пісків пилуватих (шар 3а) – 1,5 м/добу;

пісків дрібних (шар 3) – 3,5 м/добу;

пісків середніх (шар 4) – 12,5 м/добу.

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

– при фільтрації підземних вод паралельно шарам

$$K = \frac{K_1 m_1 + K_2 m_2 + K_n m_n}{m_1 + m_2 + m_n}; \quad (3.7)$$

– при фільтрації підземних вод нормально до шарів

$$\kappa = \frac{m_1 + m_2 + m_n}{m_1/\kappa_1 + m_2/\kappa_2 + m_n/\kappa_n} \quad (3.8)$$

Прийняті до розрахунку значення гідравлічних провідностей, які встановлено за формулами (2.7) та (2.8), наведено в табл. 2.1. Враховуючи значний розкид значень гідравлічної проникності водовмісних літологічних різностей, а також відсутність чітко вираженої зональності фільтраційних характеристик у межах розрахункових шарів, їх величини задані постійними в межах всієї площі розповсюдження модельованих шарів. При цьому значення коефіцієнта водовіддачі шарів визначалося залежно від коефіцієнта фільтрації за формулами:

– для пісків

$$\mu = 0,11 \sqrt{\kappa} \quad (3.9)$$

– для інших ґрунтів

$$\mu = 0,13 + 0,07 \lg \kappa \quad (3.10)$$

Коефіцієнт пружної ємності порід задавався згідно з рекомендаціями [7] – [8] (табл. 3.1).

Початковий рівень ґрунтового водоносного горизонту, приуроченого до товщі четвертинних і палеогенових відкладень, встановлено за даними розвідувального буріння [1], і станом на 2021 р. у середньому дорівнює 53,5 м біля котловану. При оцінці інфільтраційного живлення до уваги прийнято дані досліджень [3] – [4]. Згідно цих даних величина інфільтраційного просочування приймається рівною 0,002 м/добу.

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 ємності, $\mu^*$ , дол. од.
Шар 1	1,1/0,3	0,14	0,001
Шар 2	10,7/4,5	0,15	0,0001

#### 4 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ ГЕОФІЛЬТРАЦІЇ

Розрахункові за результатами моделювання в межах досліджуваної території зниження рівня підземних вод четвертинних і палеогенових відкладень після першого місяця роботи голкофільтрів першого контуру наведено на рис. 4.1 та 4.2.

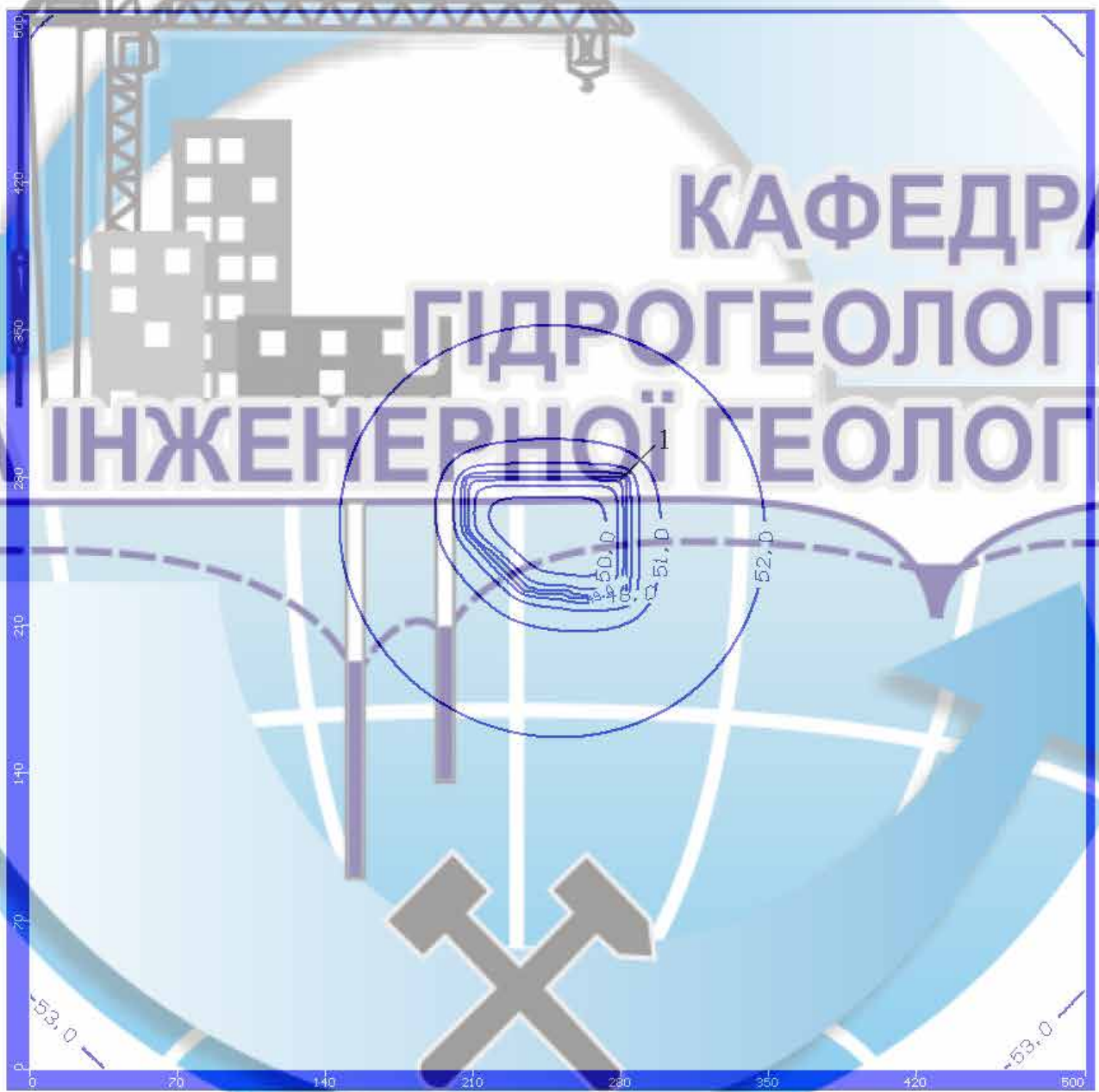


Рисунок 4.1 – Карта гідроізогіпс водоносного горизонту, приуроченого до четвертинних і палеогенових відкладень після першого місяця роботи голкофільтрів першого контуру за результатами геофільтраційного моделювання, абс. відм., м: 1 – контур голкофільтрів

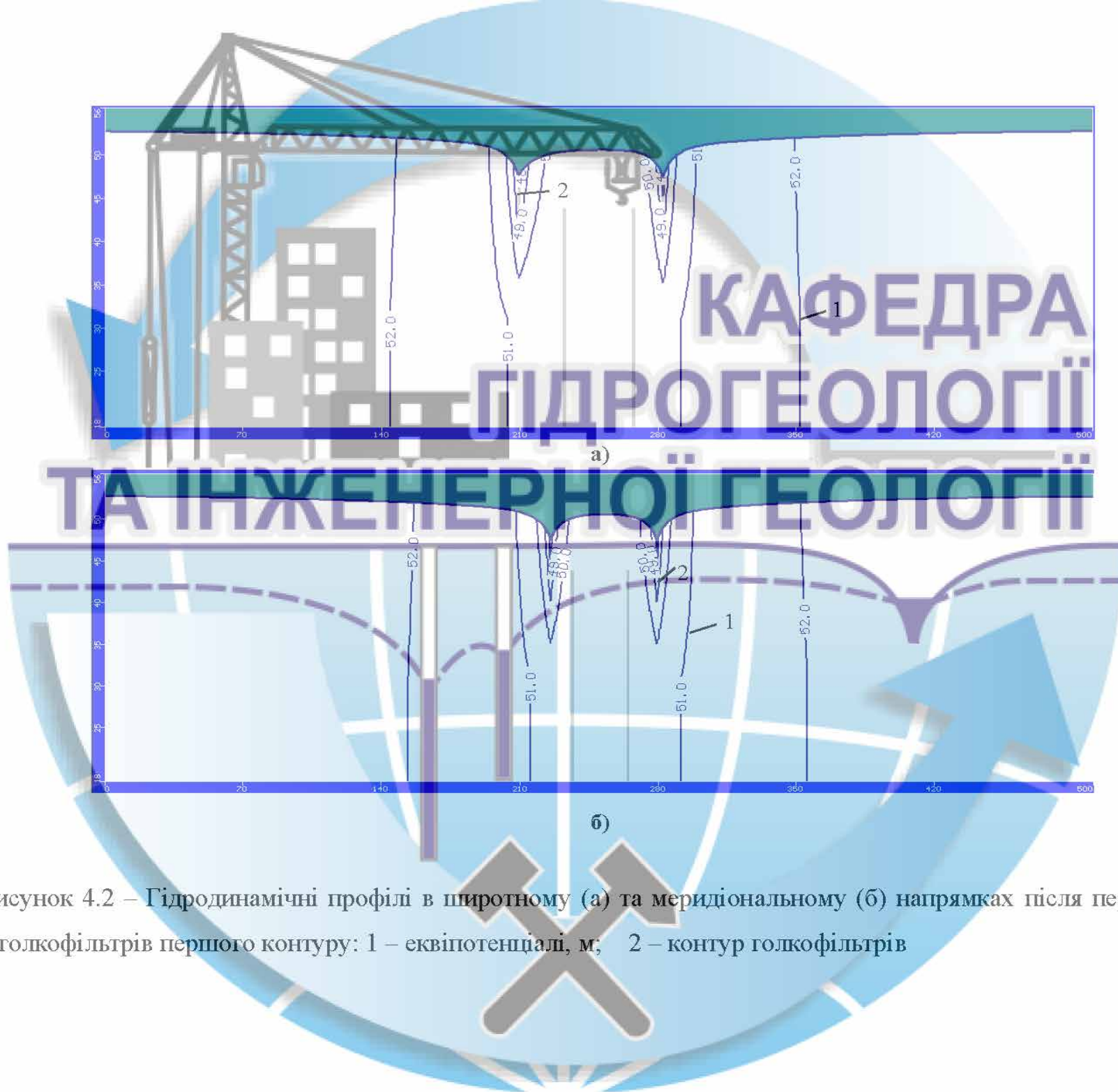


Рисунок 4.2 – Гідродинамічні профілі в широтному (а) та меридіональному (б) напрямках після першого місяця роботи голкофільтрів першого контуру: 1 – екіпотенціалі, м; 2 – контур голкофільтрів

Аналіз отриманих даних показує, що воронка депресії, яка сформувалася водоносному горизонті, приуроченого до четвертинних і палеогенових відкладень в результаті першого місяця роботи голкофільтрів, поширюється незначно від контуру дренажу. На відстані 20 м від контуру позначка рівня ґрунтових вод становить 51 м, на 50 м – 51,8 м, на 100 м – 52,3 м. Це відповідно обумовлює зниження рівня ґрунтових вод у цих точках на 2,5 м, 1,7 м і 1,2 м. Основне зниження ґрунтових вод відбувається на перших 7 м від контуру дренажу, де їх абсолютна позначка змінюється від 47,15 м до 50 м, що зумовлює зниження рівня від 6,35 м до 3,5 м.

Найбільш значне поширення воронки депресії відбувається на другому місяці роботи голкофільтрів першого контуру дренажу. На закінчення цього періоду на відстані 20 м від контуру позначка рівня ґрунтових вод становить 50,4 м, на 50 м – 51 м, на 100 м – 51,6 м, що обумовлює зниження рівня ґрунтових вод у цих точках на 3,1 м, 2,5 м і 1,9 м (рис. 4.3). Зниження ґрунтових вод на перших 7 м від контуру дренажу складає 6,35 – 3,8 м.

Запропонована чисельна геофільтраційна модель, основана на рівняннях (2.1) і (2.6) з нестационарними джерелами і стоками води, дозволяє описувати перехідні режими фільтрації з довільним розташуванням голкофільтрів, неоднорідною структурою і змінною потужністю водоносного горизонту, а також спільною роботою двох контурів дренажів. Отримати відповідне аналітичне рішення такої крайової задачі геофільтрації неможливо. Тому довести обчислювальну коректність розробленої моделі можна для випадку окремого дренажу (наприклад першого), складна конфігурація якого замінена наведеним радіусом (розд. 2).

Розраховані за формулами (2.1) – (2.5) зниження рівня ґрунтових вод у водоносному горизонті четвертинних і палеогенових відкладень при роботі першого контуру дренажу складають: на відстані 20 м від контуру – 3,4 м, на 50 м – 2,7 м, на 100 м – 2,1 м, що у середньому лише на 8 % більше значень зниження рівня, отриманих чисельним моделюванням геофільтрації. Водночас

не можна очікувати на повний збіг результатів розрахунків, бо рівняння (1.1) – (1.5) розглядають встановлений режим фільтрації, а чисельна модель – нестационарний. У зв'язку з чим розроблену модель геофільтрації можна вважати адекватною процесу, який вона відображає.

Більш значне зниження рівня ґрунтових вод, приурочених до четвертинних і палеогенових відкладень, спостерігається після включення в роботу другого контуру голкофільтрів. Так, після першого місяця його спільної роботи з першим контуром позначка рівня ґрунтових вод на відстані 20 м від першого контуру становить 47,5 м, на відстані 50 м – 48,7 м, на 100 м – 49,8 м (рис. 3.4). Це обумовлює зниження рівня ґрунтових вод у цих точках відповідно на 6 м, 4,8 м і 3,7 м.

Наприкінці роботи дренажних систем (через 6 місяців роботи першого контуру та 4 місяці другого) рівень ґрунтових вод знизиться до мінімальних позначок за період експлуатації голкофільтрів. Позначка рівня ґрунтових вод на відстані 20 м від першого контуру становить 46,7 м, на відстані 50 м – 47,8 м, на 100 м – 48,9 м (рис. 4.5). Це обумовлює зниження рівня ґрунтових вод у цих точках відповідно на 6,8 м, 5,7 м і 4,6 м.

За результатами рішення прогностичної задачі при функціонуванні існуючих контурів дрен з голкофільтрами отримані балансові складові підземних вод приурочених до четвертинних і палеогенових відкладень на досліджуваній території (табл. 4.1). Згідно результатів розрахунків формування гідродинамічного режиму цього водоносного горизонту здебільшого відбувається за рахунок ємнісної складової ( $1235,9 \text{ м}^3/\text{доб}$ ), а також припливу з зовнішнього контуру ( $835,83 \text{ м}^3/\text{доб}$ ) та інфільтраційного живлення ( $500 \text{ м}^3/\text{добу}$ ). За даними моделювання також встановлено, що величина дренажного водовідбору на контурі голкофільтрів після 30 діб їх роботи становить  $2597 \text{ м}^3/\text{доб}$ . Необхідно відзначити, що нев'язка балансових складових модельованої області не перевищує 1 %, що свідчить про хорошу точність розрахунків та адекватність моделі.

Таблиця 4.1 – Балансові складові модельованої області за результатами розрахунків після 30 діб роботи голкофільтрів, м<sup>3</sup>/доб

Складові балансу	Живлення	Розвантаження
Інфільтраційне живлення	500,0	–
Ємнісна складова	1235,9	–
Приток на зовнішньому контурі	835,83	–
Дренаж (робота голкофільтрів)	–	2597,0
Всього	2571,73	2597,0
Похибка		–25,27
Нев'язка, %		0,98

За результатами чисельного моделювання геофільтрації у водоносному горизонті, приуроченого до четвертинних і палеогенових відкладень, було також встановлено, що загальна швидкість течії підземних вод у межах досліджуваної території змінюється від 0,08 м/добу до 2,5 м/добу після 30 діб роботи першого контуру голкофільтрів та від 0,5 м/добу до 4,5 м/добу при завершенні роботи першого та другого контурів (180 діб). При цьому найбільші значення швидкості фільтрації характерні для ділянок, які знаходяться поблизу контурів дренажу, а найменші для ділянок віддалених від них.



Рисунок 4.3 – Гідродинамічні профілі в широтному (а) та меридіональному (б) напрямках після другого місяця роботи голкофільтрів першого контуру: 1 – екіпотенціали, м; 2 – контур голкофільтрів





Рисунок 4.4 – Гідродинамічні профілі в широтному (а) та меридіональному (б) напрямках після трьох місяців роботи голкофільтрів першого контуру та місяця другого: 1 – еквіпотенціалі, м; 2 – контур голкофільтрів

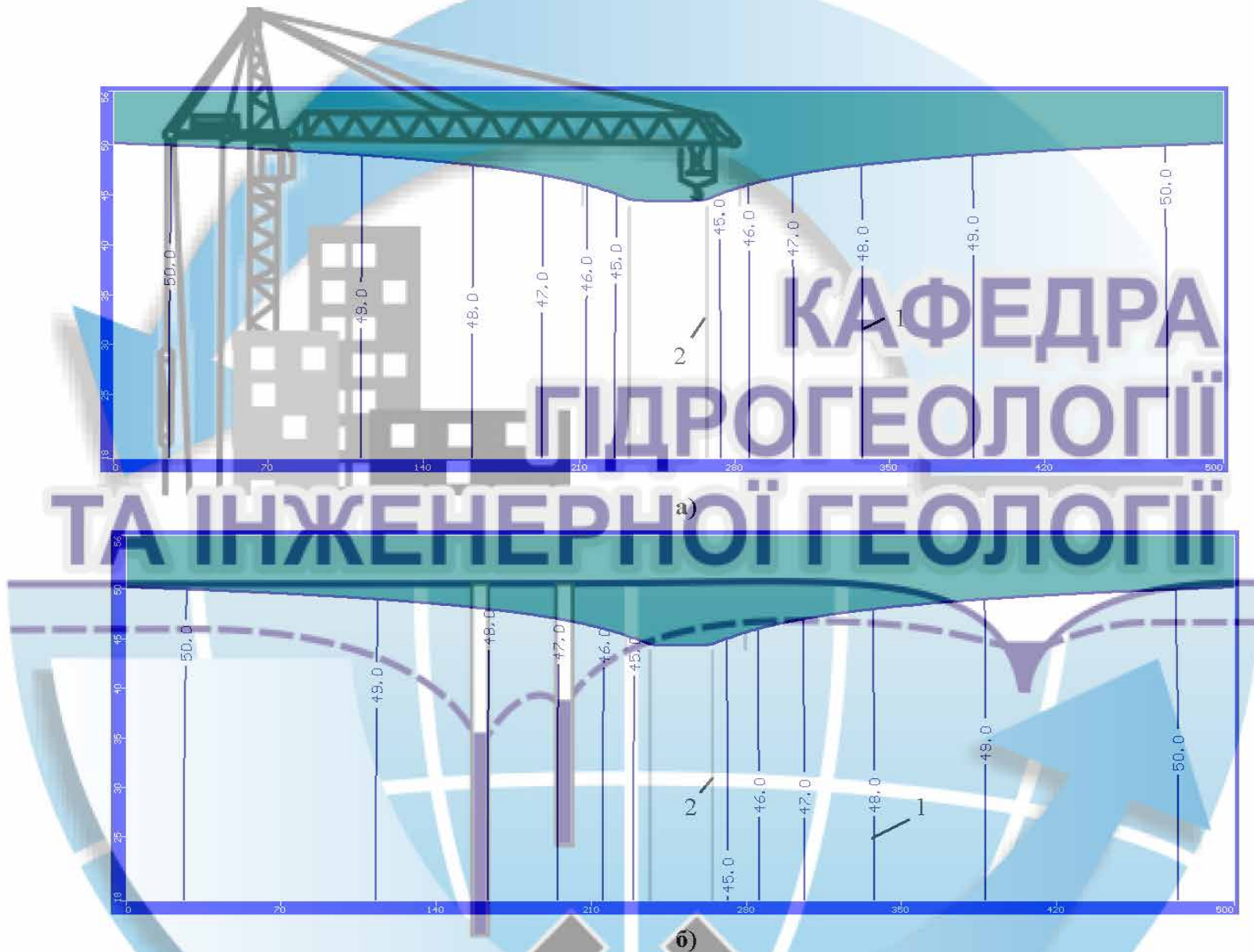


Рисунок 4.5 – Гідродинамічні профілі в широтному (а) та меридіональному (б) напрямках після шести місяців роботи голкофільтрів першого контуру та чотирьох місяців другого: 1 – екіпотенціалі, м; 2 – контур голкофільтрів

## 5 ОЦІНКА ОСІДАННЯ ҐРУНТІВ РОЗТАШОВАНИХ БІЛЯ КОТЛОВА- НУ ПРИ ВОДОЗНИЖЕННІ

5.1 Обґрунтування методики оцінки осідання гірських порід при роботі водознижувальних свердловин

Зниження рівня ґрунтових вод (РГВ) викликає перерозподіл та зміну напруження ґрунту, що в одних умовах призводить до осідання поверхні землі, а в інших – до утворення провалів. Нерівномірне осідання земної поверхні та провали призводять до небезпечних наслідків, зокрема до деформації промислових, цивільних будівель та споруд.

Найбільш широко поширені осідання на тих територіях, де підземні води зосереджені в добре проникних піщано-гравелітових породах з невеликою стисливістю, які перешаровуються з глинистими слабопроникними відкладами, що добре стискаються [14].

Залежно від характеру відкладень ущільнення порід може бути або переважно пружним, що відновлюється при підйомі рівня, або переважно пластичним, що призводить до необоротної перебудови зернистої структури відкладень. Скельні відкладення практично не стискаються.

Відповідно до проведених досліджень про осідання земної поверхні від водозниження [15] – [18] встановлено основні фактори, які впливають на її величину:

1. Геолого-літологічна будова – однорідна або шарувата.
2. Геомеханічні та гідрогеологічні властивості гірської породи – питома вага ґрунту, пористість, вологість, водовіддача, стисливість (питома компресія) і величина капілярної облямівки.
3. Характер водознижувальних робіт – глибина та швидкість зниження рівня ґрунтових вод.
4. Глибина стиснутої товщі, яка визначається всіма вищепереліченими факторами.

Для забудованих територій при проведенні водознижувальних робіт най-

більш важливим є значення кінцевого осідання земної поверхні, при цьому надійність прогнозу величини осідання залежить від прийнятого методу розрахунку й умовної схеми процесу стиснення. У зв'язку з чим розглянемо основні процеси, що відбуваються в зоні дії водозниження (рис. 5.1).



Рисунок 5.1 – Розрахункова схема

До осушення повна напруження на покрівлі одиничного майданчика, розташованого на водотриві, дорівнює вазі порід вищерозташованого стовпа разом з зосередженою у ньому водою.

При цьому повна напруження визначається так:

$$\sigma_n = \sigma_e + \sigma_n$$

де  $\sigma_e$  – ефективне напруження,  $\sigma_e = (\gamma_s - \gamma_w)(1-n)M$ ;  $\sigma_n$  – нейтральне напруження,  $\sigma_n = \gamma_w M$ ;  $M$  – потужність водонасичених порід;  $\gamma_s$  – питома вага частинок ґрунту;  $n$  – пористість ґрунту;  $\gamma_w$  – питома вага води.

Після зниження РГВ на величину  $\Delta h$  відбувається перерозподіл напружень:

$$\sigma'_n = \sigma'_e + \sigma'_n = \sigma_e + \Delta\sigma_e + \sigma_n - \Delta\sigma_n,$$

де  $\sigma'_e, \sigma'_n$  – відповідно ефективне і нейтральне напруження після зниження РГВ;  $\Delta\sigma_e$  – приріст ефективного напруження.

$$\Delta\sigma_e = \gamma_w \Delta h - \gamma_w n \Delta h (1 - S_r) = \Delta\gamma \Delta h, \quad (5.1)$$

$\Delta\sigma_n$  – зниження нейтрального напруження;  $\Delta\sigma_n = \gamma_w \Delta h$ ;  $S_r$  – ступінь вологості ґрунту в осушеній зоні 1 (рис. 5.1);  $\Delta\gamma$  – зміна питомої ваги осушеного ґрунту.

Після осушення в зоні 1, за рахунок зняття зважуючої дії води, нейтральні напруження переходять в ефективні, при цьому повне напруження на одиничному майданчику, розташованому на новому РГВ, зменшується на величину водовідбору  $\gamma_w n \Delta h (1 - S_{ис})$ . Збільшення ефективного напруження веде до активізації взаємодії мінеральних частинок скелета гірської породи, що призводить до стиснення осушеної товщі пласта. З виразу (5.1) випливає, що найбільші значення додаткового ефективного напруження досягаються на новому РГВ.

Нижче зони осушення (зона 2, рис. 4.1) за рахунок розсіювання надлишкового порового тиску дія додаткового ефективного напруження буде відчуватися на деякому віддаленні від нового РГВ, що призведе до деформацій у зоні, яка не осушена.

Слід зазначити, що за рахунок зняття дії гідростатичного тиску частинки ґрунту в зоні 1 перестануть відчувати всебічний гідростатичний стиск, а в зоні 2 – часткове розширення води за рахунок зниження гідростатичного тиску. Ці фактори призведуть до незначних деформацій (збільшення обсягу) мінеральних зерен, які на два-три порядки менше деформацій осушеної породи в цілому [16].

Таким чином, з урахуванням моделі лінійно-деформованого напівпростору при багат шаровій будові кінцеве осідання при зниженні РГВ слід визначати за формулою:

$$S_\infty = \int_0^m \frac{\beta(z)}{E(z)} \Delta\sigma_y(z) dz = \sum_{i=1}^k \frac{\beta_i}{E_i} \int_{z_{i-1}}^{z_i} \Delta\sigma_y(z) dz, \quad (5.2)$$

де  $k$  – кількість товщ, які стискаються, при цьому пласт, в якому встановився новий РГВ, розбивається на 2 (потужність вище і нижче РГВ);  $z_{i-1}, z_i$  – координати меж товщ, які стискаються ( $\max z_i = m$ );  $\Delta\sigma_o(z)$  – додаткове ефективне напруження ґрунту, що розподілене в товщі, яка стискається;  $\beta_i, E_i$  – осереднені за потужністю пластів відповідно безрозмірний коефіцієнт і модуль деформації.

Коефіцієнт  $\beta$ , що відображає неможливість бічного розширення ґрунту, визначається згідно з формулою [18]:

$$\beta = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{1-\nu}, \quad (5.3)$$

де  $\nu$  – коефіцієнт Пуассона.

Слід зазначити, що згідно з [19] рекомендується приймати  $\beta = 0,8$ , проте на основі формули (5.3) будемо мати для глин  $\beta = 0,43$ , для пісків –  $0,76$  [18], а це означає, що осідання глинистих ґрунтів явно завищене при розрахунку багатопластових систем і цей факт слід враховувати.

Якщо у формулі (5.2) інтегрування замінити підсумовуванням, то отримаємо формулу для визначення кінцевого осідання за ДБН В.2.1-10-2009 (метод пошарового підсумовування).

Саме метод пошарового підсумовування рекомендує (п.6.15 [20]) для розрахунку «осідання земної поверхні в основі споруд при очікуваному зниженні рівня підземних вод». Однак у [20] відсутні рекомендації з розрахунку додаткового ефективного напруження в ґрунті, викликаного зняттям зважуючої дії води. В даний час в Україні відсутні чинні норми для розрахунку додаткового напруження. Тоді як у керівництві до скасованого документу [21] це питання розглянуто, але у контексті однорідного будови ґрунту і згідно методу пошарового підсумовування. У чинних нормах інших країн [22] додаткове напруження в ґрунті рекомендується визначати за формулою:

$$\sigma_{don} = (\gamma - \gamma_{вж}) \Delta h, \quad (5.4)$$

де  $\gamma$  – питома вага ґрунту;  $\gamma_{\text{вс}} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e}$  – питома вага ґрунту у зваженому стані;  $e$  – коефіцієнт пористості;  $\Delta h$  – зниження РГВ.

Зазначимо, що формула (5.4) не пов'язана з методом пошарового підсумовування і може бути використана тільки в окремому випадку – при однорідному ґрунті та зниженні до межі, яка не стискається. В інших випадках результати оцінки зниження з використанням (5.4) будуть давати явно спотворені (завищені) значення (подання додаткових ефективних напружень не бути інтегральним). Таким чином, у нормативній літературі України відсутні коректні рекомендації щодо визначення осідання земної поверхні та деформацій основ існуючих будівель від впливу водознижувальних робіт. Крім того, не розглянуто особливості розрахунку осідання будівель на пильових основах при водозниженні.

Таким чином, за базовий слід прийняти метод пошарового підсумовування для ручних розрахунків або формулу (5.2) для автоматизованих розрахунків; безрозмірний коефіцієнт  $\beta$  слід розраховувати для кожної товщі, яка стискається, окремо або використовувати дані про питому компресію ґрунту.

*Розрахунок додаткового ефективного напруження.*

При розрахунку додаткового ефективного напруження ґрунту згідно з (5.1) можна виходити зі ступеня вологості ґрунту, проте для більш детального вивчення процесу слід перейти до поняття збільшення питомої ваги ( $\Delta\gamma$ ) осушеного ґрунту:

– відбувається повний водовідбір (вологість осушеного ґрунту дорівнює нулю  $W = 0$ ) [23]:

$$\Delta\gamma = (1 - n)\gamma_w, \quad (5.5)$$

– часткове осушення ( $W > 0$ ) без урахування капілярного підняття:

$$\Delta\gamma = (1 - n)(\gamma_w + \gamma_s W) = \gamma - \gamma_{\text{вс}} \quad (5.6)$$

де  $\gamma$  – питома вага осушеного ґрунту, яка для супісків, суглинків і глин може бути визначена як

$$\gamma = \gamma_d (1 + W_{\text{р.роз.}}),$$

для пісків

$$\gamma = \gamma_d (1 + W_{\text{мол.}}) = \gamma_d (1 + W_{\text{пр}} - \mu),$$

де  $\gamma_d$  – питома вага сухого ґрунту;  $W_{\text{р.роз.}}$  – вологість ґрунту на межі розкошування;  $\mu$  – коефіцієнт гравітаційної водовіддачі ґрунту;  $W_{\text{мол.}}$  – максимальна молекулярна вологоємність;  $W_{\text{пр}}$  – природна вологість;

– часткове осушення з урахуванням капілярного підняття у загальному вигляді визначається:

$$\Delta\gamma = \frac{\sigma_z - \sigma_{\delta z}}{\Delta h}; \quad (5.7)$$

де  $\sigma_z, \sigma_{\delta z}$  – відповідно ефективне напруження ґрунту після осушення і природне ефективне напруження розрахункової товщі  $\Delta h$ .

Розглянемо алгоритм розрахунку осідання денної поверхні землі від зниження РГВ в однорідному ґрунті (рис. 5.2) за відомої межі товщі, яка стискається (наприклад, покрівля гранітів).

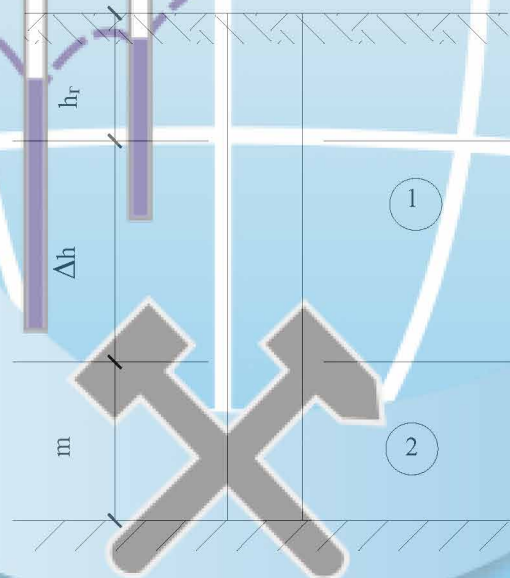


Рисунок 5.2 – Розрахункова схема



### 1. Повний водовідбір.

Додаткове ефективне напруження в зоні осушення (зона 1) розраховується виходячи з положення, що напруження наростає лінійно, а значить середнє напруження з урахуванням (5.5) становить

$$\Delta\sigma_{\varphi} = \Delta\gamma \frac{\Delta h}{2} = (1-n)\gamma_W \frac{\Delta h}{2}, \quad (5.8)$$

відповідно осідання в цій зоні згідно (5.2) з урахуванням (4.8)

$$S_1 = \beta \frac{\Delta\sigma_{\varphi} \cdot \Delta h}{E} = \beta \frac{\Delta\gamma \cdot \Delta h^2}{2E} = \beta \frac{\Delta h^2}{2E} (1-n)\gamma_W. \quad (5.9)$$

Додаткове ефективне напруження в зоні, яка не осушена (2, рис. 5.2), дорівнює максимальному додатковому ефективному напруженню від зниження РГВ

$$\Delta\sigma = \Delta\gamma \cdot \Delta h. \quad (5.10)$$

Осідання в зоні, яка не осушена, з урахуванням (5.10)

$$S_2 = \beta \frac{\Delta\sigma \cdot m}{E} = \beta \frac{\Delta h \cdot m}{E} (1-n)\gamma_W. \quad (5.11)$$

Таким чином, сумарне осідання з урахуванням (5.9) і (5.11)

$$S_{\infty} = \frac{\beta\Delta\gamma\Delta h}{E} \left( \frac{\Delta h}{2} + m \right) = \frac{\beta \cdot \gamma_W}{E} \left( \frac{\Delta h^2}{2} + \Delta h \cdot m \right) (1-n). \quad (5.12)$$

### 2. Часткове осушення.

Алгоритм розрахунку аналогічний, але з урахуванням (5.6) та (5.12) сумарне осідання

$$S_{\infty} = \frac{\beta \cdot \Delta h}{E} \left( \frac{\Delta h}{2} + m \right) (\gamma - \gamma_{\text{всв}}). \quad (5.13)$$

### 3. Часткове осушення з урахуванням капілярного підняття [21] (рис. 5.3).

а) для випадку, коли  $h_k \leq h_2$ , додаткова вага ґрунту

$$\Delta\gamma = \gamma_2 - \gamma_{\text{всв}},$$

де  $\gamma_2$  – питома вага ґрунту, розташованого вище за зону капілярного підняття, тобто вага осушеного ґрунту, а це означає, що сумарне осідання визначається згідно з виразом (5.13).

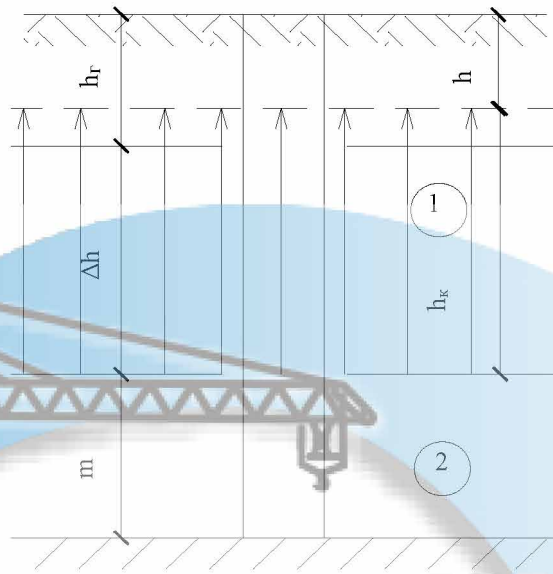


Рисунок 5.3 – Розрахункова схема

б) для випадку, коли  $h_k \geq h_2 + \Delta h$ , додаткова вага ґрунту

$$\Delta\gamma = \gamma_1 - \gamma_{\text{вж}}, \quad (5.14)$$

де  $\gamma_1$  – питома вага ґрунту, розташованого в зоні капілярного підняття.

Сумарне осідання згідно (5.12) та (5.14)

$$S_{\infty} = \frac{\beta \cdot \Delta h}{E} \left( \frac{\Delta h}{2} + m \right) (\gamma_2 - \gamma_{\text{вж}});$$

в) для інших випадків, коли  $\Delta h < h_k < h_2 + \Delta h$ , необхідно виходити з різниці природних ефективних напружень і напружень після осушення ґрунту.

Ефективне природне напруження ґрунту до осушення на глибині  $h_2 + \Delta h$

$$\sigma_{\delta z} = \gamma_1 \cdot h_2 + \gamma_{\text{вж}} \cdot \Delta h$$

Ефективне напруження ґрунту після осушення

$$\sigma_z = \gamma_2 \cdot h + \gamma_1 \cdot h_k.$$

Тоді максимальне додаткове ефективне напруження від водозниження становить

$$\Delta\sigma' = \sigma_z - \sigma_{\delta z} = \gamma_1 (h_k - h_2) + \gamma_2 \cdot h - \gamma_{\text{вж}} \cdot \Delta h. \quad (5.15)$$

З урахуванням (4.7), (4.12), (4.15) сумарне осідання визначається наступним чином:

– для опосередкованої епюри додаткових ефективних напружень (рис. 5.4)

$$S'_{\infty} = \frac{\beta}{E} \left( \frac{\Delta h}{2} + m \right) [\gamma_1 (h_k - h_z) + \gamma_2 \cdot h - \gamma_{\text{взв}} \cdot \Delta h], \quad (5.16)$$

– для дійсної епюри додаткових ефективних напружень

$$S''_{\infty} = \frac{\beta}{E} (\Delta\sigma''_{\varphi} (h_k - h_z) + \Delta\sigma'''_{\varphi} (\Delta h - h_k + h_z) + \Delta\sigma' \cdot m), \quad (5.17)$$

де  $\Delta\sigma''_{\varphi} = \frac{\Delta\sigma''}{2}$ ;  $\Delta\sigma'' = (\gamma_1 - \gamma_{\text{взв}})(h_k - h_z)$ ;  $\Delta\sigma'''_{\varphi} = \frac{\Delta\sigma'' + \Delta\sigma'}{2}$ .

Різниця осідання, отриманих за формулами (5.16) та (5.17)

$$\Delta S = S''_{\infty} - S'_{\infty} = \frac{\beta}{2E} (\gamma_1 - \gamma_2)(h_k - h_z)(\Delta h - h_k + h_z). \quad (5.18)$$

# КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

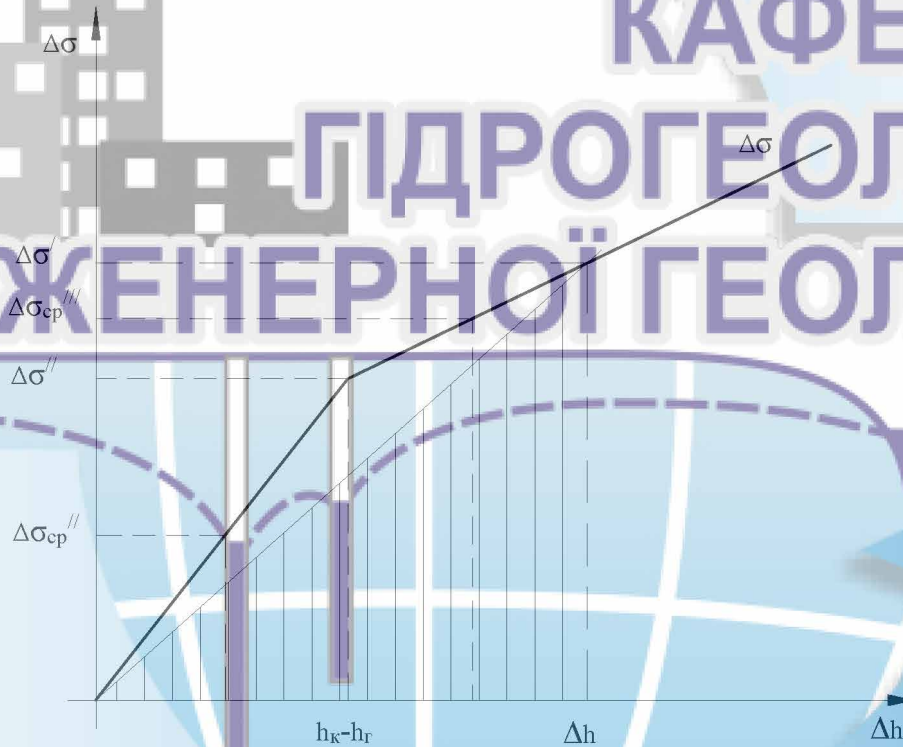


Рисунок 5.4 – Епюри додаткових ефективних напружень

Відповідно до (5.18) найбільш точний результат при опосередкуванні дійсної епюри можливий за умови  $\gamma_1 \approx \gamma_2$ ,  $h_k \approx h_z$  і  $h_k \approx h_z + \Delta h$ .

Розглянемо алгоритм розрахунку осідання денної поверхні землі від зниження РГВ при неоднорідній будові ґрунту і відомої межі товщі, що стискається.

4. Повний водовідбір (рис. 5.5).

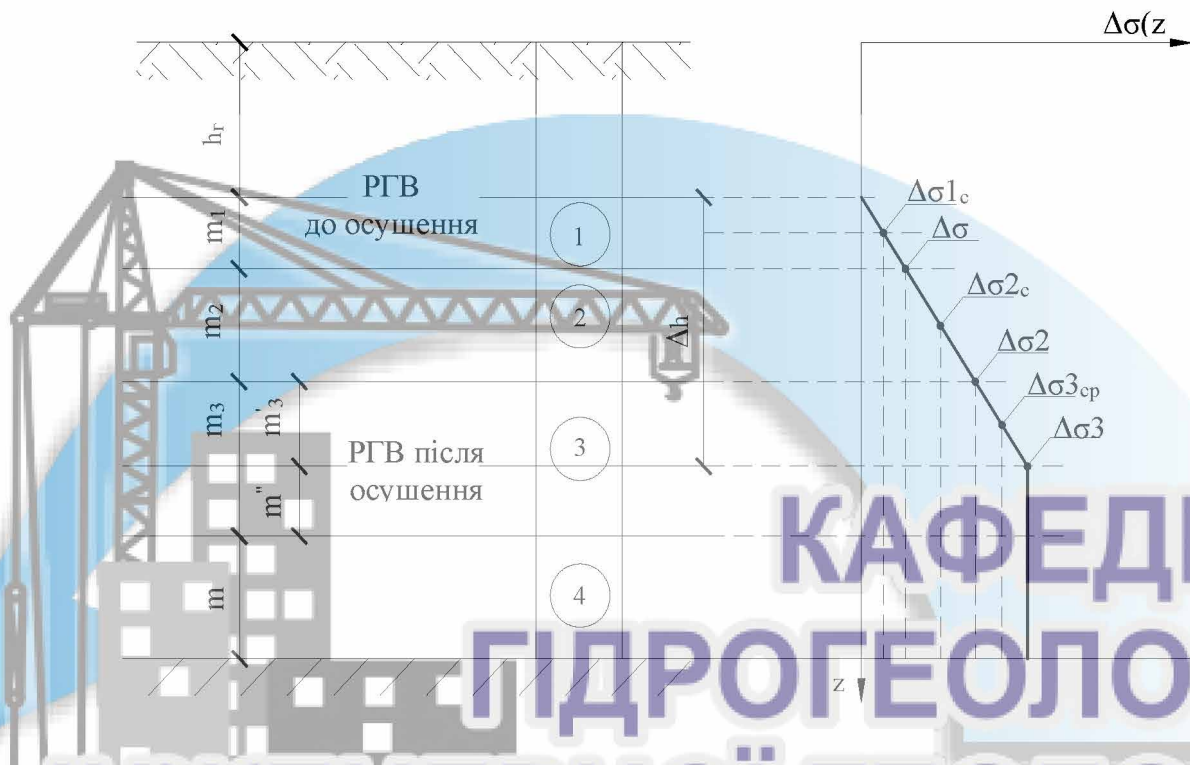


Рисунок 5.5 – Розрахункова схема та еюра додаткових ефективних напружень

Додаткове ефективне напруження в граничних зонах (приріст питомої ваги ґрунту) розраховується згідно (4.5):

- підшва 1 пласта  $\Delta\sigma_1 = \Delta\gamma_1 \cdot m_1$ ;
- підшва 2 пласта  $\Delta\sigma_2 = \Delta\gamma_1 \cdot m_1 + \Delta\gamma_2 \cdot m_2$ ;
- на РГВ  $\Delta\sigma_3 = \Delta\gamma_1 \cdot m_1 + \Delta\gamma_2 \cdot m_2 + \Delta\gamma_3 \cdot m'_3$ ,

де  $m'_3 = \Delta h - (m_1 + m_2)$ .

Звідси середнє ефективне напруження окремих товщ, які стискаються:

- 1-й пласт  $\Delta\sigma_{1cp} = \frac{\Delta\sigma_1}{2} = \Delta\gamma_1 \cdot \frac{m_1}{2}$ ;
- 2-й пласт  $\Delta\sigma_{2cp} = \frac{\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2}{2} = \Delta\gamma_1 \cdot m_1 + \Delta\gamma_2 \cdot \frac{m_2}{2}$ ;
- 3-й пласт вище РГВ  $\Delta\sigma_{3cp} = \frac{\Delta\sigma_2 + \Delta\sigma_3}{2} = \Delta\gamma_1 \cdot m_1 + \Delta\gamma_2 \cdot m_2 + \Delta\gamma_3 \cdot \frac{m'_3}{2}$ ;
- 3-й пласт нижче РГВ  $\Delta\sigma_3$ .

Осадка в окремих товщах, які стискаються, на підставі (5.2) складе:

$$\text{– 1-й пласт } S_1 = \beta_1 \frac{\Delta\sigma_{1\varphi} \cdot m_1}{E} = \beta_1 \frac{\Delta\gamma_1 \cdot m_1^2}{2E_1};$$

$$\text{– 2-й пласт } S_2 = \beta_2 \frac{m_2}{E_2} \left( \Delta\gamma_1 \cdot m_1 + \Delta\gamma_2 \frac{m_2}{2} \right);$$

$$\text{– 3-й пласт вище РГВ } S'_3 = \beta_3 \frac{m'_3}{E_3} \left( \Delta\gamma_1 \cdot m_1 + \Delta\gamma_2 \cdot m_2 + \Delta\gamma_3 \frac{m'_3}{2} \right);$$

$$\text{– 3-й пласт нижче РГВ } S''_3 = \beta_3 \frac{m''_3}{E_3} (\Delta\gamma_1 \cdot m_1 + \Delta\gamma_2 \cdot m_2 + \Delta\gamma_3 \cdot m'_3),$$

де  $m''_3 = m_1 + m_2 + m_3 - \Delta h$ ;

$$\text{– 4-й пласт } S_4 = \beta_4 \frac{m_4}{E_4} (\Delta\gamma_1 \cdot m_1 + \Delta\gamma_2 \cdot m_2 + \Delta\gamma_3 \cdot m'_3).$$

Тоді сумарна осадка

$$S = S_1 + S_2 + S'_3 + S''_3 + S_4.$$

5. Часткове осушення.

Алгоритм розрахунку аналогічний; при цьому приріст питомої ваги ґрунту розраховується відповідно до виразу (5.6).

6. Часткове осушення з урахуванням капілярного підняття.

Площа епюри додаткового ефективного напруження товщ, які стискаються, у загальному випадку необхідно розраховувати у вигляді

$$\Delta\sigma H_i = \int_{z_{i-1}}^{z_i} \sigma(z) dz, \quad (5.19)$$

де  $z_{i-1}, z_i$  – підшва і покрівля товщі, яка стискається.

Сумарне осідання з урахуванням (5.19)

$$S'_\infty = \sum_{i=1}^n \frac{\beta_i}{E_i} \Delta\sigma H_i. \quad (5.20)$$

Так як  $\gamma_1 > \gamma$ , то ґрунти, що володіють більшою висотою капілярного підняття будуть мати більшу здатність стискання. До таких ґрунтів відносяться глинисті відкладення, які, у свою чергу, мають реологічні властивості. І це означає, що епюра додаткових ефективних напружень є швидше теоретичної,

# КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

ніж реальної, оскільки до моменту стабілізації осідання підвищення додаткового ефективного напруження внаслідок капілярного підняття не матиме місце. Таким чином, не слід зловживати високим значенням капілярного підняття. З іншого боку, тільки залежності (5.19) і (5.20) дозволяють ув'язати мінливий характер капілярного підняття по глибині товщі, яка стискається, з принципами послідовного підсумовування товщ з різними параметрами ґрунту.

*Розрахунок меж товщі, яка стискається.*

Незважаючи на безліч існуючих способів розрахунку нижньої межі товщі, яка стискається, жоден з них не позбавлений недоліків. Відповідно до [21] – [22] за нижню межу товщі, яка стискається, повинна прийматися менша з двох величин: глибина покрівлі нижнього водотриву або глибина, на якій величина додаткових ефективних напружень (включаючи напруження від власної ваги існуючих споруд) дорівнює 20 % величини вертикальних напружень від власної ваги ґрунту.

За даними [24] розрахована межа товщі, яка стискається, має незначне перевищення від натурних даних і найбільш правильно відображає якісну залежність глибини межі від напруження, ущільненості ґрунту і т.д. Таким чином, слід віддати перевагу методу, запропонованому у [24].

Цілком очевидно, що при незначному водозниженні умови [24] нездійсненні, тому при однорідній будові ґрунту мінімальне значення зниження РГВ, при якому фронт розсіювання ефективного напруження не перевищує  $h_2 + \Delta h$ , становить:

– для умови  $\Delta\sigma_z = 0,2\sigma_{\delta z}$

$$c = \frac{\gamma_1 \cdot h_k + \gamma_2 (h_2 - h_k)}{4\gamma_2 - 5\gamma_{\text{вж}}} < \Delta h; \quad (5.21)$$

– для умови  $\Delta\sigma_z = 0,1\sigma_{\delta z}$

$$c = \frac{\gamma_1 \cdot h_k + \gamma_2 (h_2 - h_k)}{9\gamma_2 - 10\gamma_{\text{вж}}} < \Delta h. \quad (5.22)$$

При недотриманні критеріїв (4.21), (4.22) глибину товщі, яка стискається, слід вважати пропорційною зниженій глибині РГВ. Однак, якщо межа товщі,

яка стискається, визначена з умов [24], перевищує реальну межу нестисканої товщі (або водотриву), слід прийняти меншу з двох величин. При багатошаровій будові розрахунок слід проводити при послідовному збільшенні кількості розрахункових шарів, які стискаються, нижче РГВ.

## 5.2 Розрахунок осідання ґрунтів та її порівняння з гранично допустимими значеннями

Для визначення осідання ґрунту необхідно встановити фізико-механічні властивості ІґЕ, наведених на рис. 1.1. Це може бути виконано за допомогою даних [1], де фізичні, деформаційні та міцнісні характеристики ґрунтів визначалися за результатами лабораторних досліджень з урахуванням результатів польових дослідних робіт (статичне зондування, радіоактивний каротаж, випробування ґрунтів пресиометром, дилатометром), виконаних раніше на досліджуваній ділянці та на суміжних територіях.

Деформаційні й міцнісні характеристики суглинків ІґЕ-2а,2 отримано за результатами випробувань дилатометром; пісків ІґЕ-1а,3а,3,4 – за результатами статичного зондування. Модуль загальної деформації буровугільних глин ІґЕ-5 та каолінів ІґЕ-7 отримано за результатами компресійних випробувань по стандартній методиці до навантажень 0,8 МПа (ІґЕ-5) та 1,0 МПа (ІґЕ-7) і розраховувався з коефіцієнтом  $\beta$ , що враховує неможливість розширення в компресійному приладі, а також коригуючим коефіцієнтом  $K_p$ , який вводиться для зіставлення модуля, отриманого лабораторними методами і дослідними випробуваннями ґрунтів пресиометром.

Характеристики міцності ґрунтів ІґЕ-5,7 визначено методом одноплщинного зрізу у природному стані за схемою повільного консолідовано-дренованого зрізу ступенями тисків 0,2 – 0,4 – 0,6 МПа (ІґЕ-5) та 0,4 – 0,6 – 0,8 МПа (ІґЕ-7).

Осереднені дані про фізико-механічні властивості ґрунтів різних ІґЕ наведено в табл. 5.1. Використовуючи їх в розрахунках за методикою, наведеною у розд. 5.1 рівняння (5.19) – (5.22), була побудована крива залежності осідання

товщі ґрунту досліджуваної ділянки від водозниження (рис. 5.6). При цьому для підвищення точності оцінок можливих осідань ґрунту у виконаних розрахунках за нижню межу товщі, яка стискається, приймалась як покрівля водотриву (крива 1), так і межа, розрахована за формулами (5.21) і (5.22) – (крива 2).

Таблиця 5.1 – Дані про фізико-механічні та геологічні властивості ґрунтів для розрахунку їх осідання внаслідок зниження рівня ґрунтових вод

Глибина до РГВ, м	2						
Номер ПГЕ	1	1а	2а	2	3а	3	4
Глибина до підшви водонасиченого пласта, м	3	6,2	7,8	8,4	11,7	16,5	20,6
Питома вага ґрунту в зоні капілярного підняття, кН/м <sup>3</sup>	19,72	19,33	18,62	19,13	19,15	19,72	20,11
Питома вага сухого ґрунту, кН/м <sup>3</sup>	16,43	16,10	14,56	15,33	15,98	16,43	16,90
Питома вага ґрунту у зваженому стані, кН/м <sup>3</sup>	10,25	10,05	9,15	9,65	9,98	10,25	10,55
Модуль деформації ґрунту, МПа	34,2	33,0	3,5	8	20,0	34,2	40,6
Висота капілярного підняття, м	0,3	0,3	1,5	1,5	0,4	0,3	0,2

Використовуючи отриману залежність осідання ґрунту від водозниження на рис. 5.4.7 побудовано дві криві. Перша з них характеризує залежність максимального зниження рівня ґрунтових вод, що сформувалося наприкінці роботи голкофільтрів (рис. 4.5), від відстані від контуру дренажу. Друга – відповідним зниженням рівня осідання ґрунту. При цьому для більшої гарантії подальших розрахунків та висновків приймалися більші значення осідання (крива 1, рис. 5.6).

Аналіз отриманих даних показує, що на перших 100 м від котловану під паркінг осідання ґрунтів наприкінці роботи двох контурів голкофільтрів буде змінюватися від 3,9 см до 2,6 см, що відповідає зниженню рівня підземних вод від 7,8 м до 4,5 м. Отримані величини осідань були порівняні з її гранично допустимими значеннями, наведеними в табл. 5.2 [19]. Зіставлення цих величин показало, що максимальне розраховане осідання ґрунтів, викликане роботою



голкофільтрів (3,9 см), не перевищує середні допустимі осідання для всіх типів інженерних споруд. Крім того, виходячи з графіка на рис. 4.7, відносна різниця осідань ґрунту на 100 м довжини дорівнює 0,000013, що в рази менше граничних значень відносних різниць осідань для різних будинків.

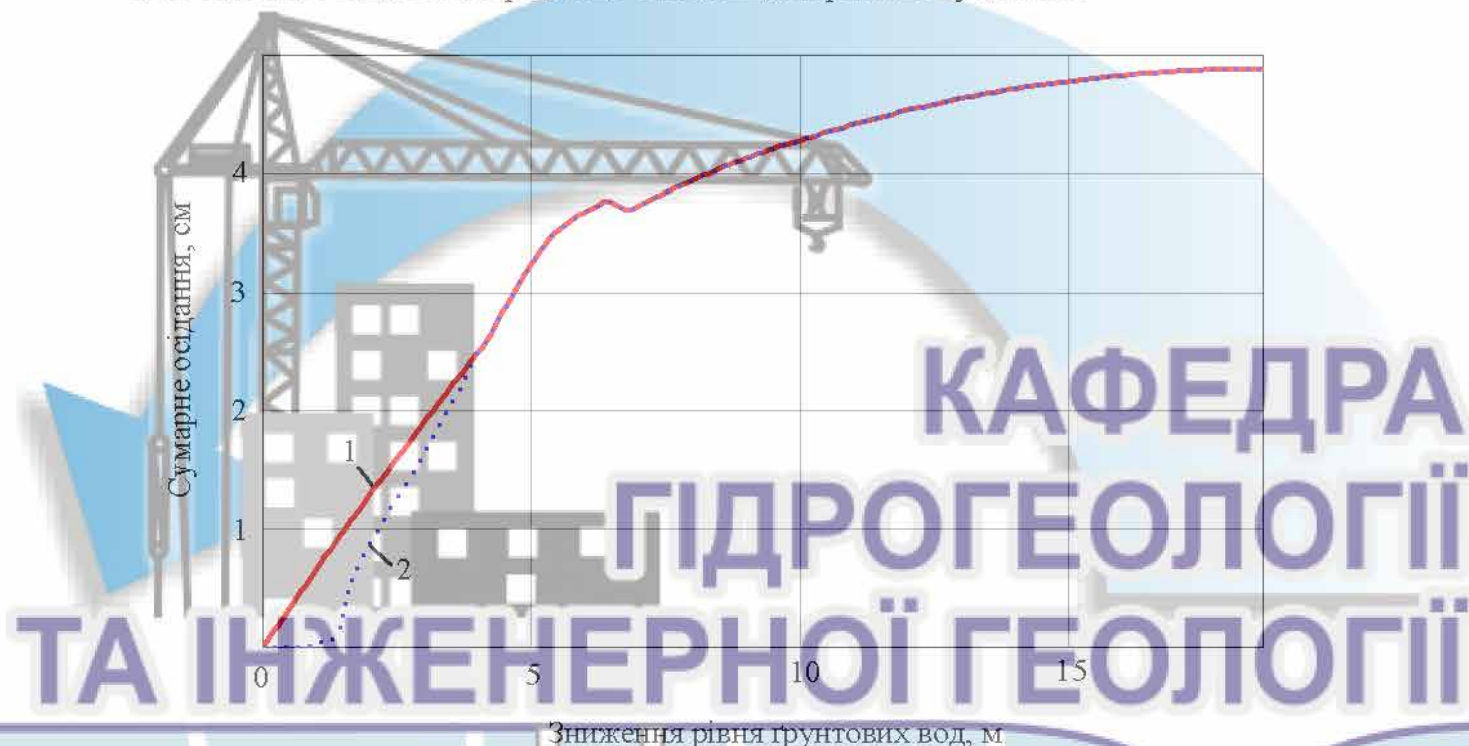


Рисунок 5.6 – Крива залежності осідання ґрунту від водозниження, викликаного роботою голкофільтрів при будівництві котловану: 1, 2 – відповідно, при прийнятті за нижню межу товщі, яка стискається, покрівлі водотриву та розрахунку цієї величини

Необхідно відзначити, що при зниженні рівня ґрунтових вод до 4 м, межа активної зони, в якій відбувається стиснення ґрунту, не доходить до покрівлі водотриву (рис. 5.6), тому 2,5 см із сумарного максимально можливого осідання ґрунту (3,9 см) припадають на верхні відносно стисливі шари (ІГЕ 1 – 2). При подальшому зниженні РГВ до 7,8 м відбувається додаткове осідання ґрунту на 1,4 см по всій потужності товщі яка стискається (18,6 м). При цьому на місцевий несучий шар піщано-гравійних відкладень (ІГЕ 4), який є опорою для паль будівель розташованих недалеко від котловану під паркінг, характеризується хорошою несучою здатністю та потужністю близько 4 м, припадає близько од-

ного міліметра осідання, яке можна порівняти з фракційним складом ґрунту та зовсім не враховувати. Саме це вказує на майже відсутній вплив роботи двох контурів голкофільтрів на осідання несучого шару ґрунту, що використовується як опора для паль будівель.



Рисунок 5.7 – Крива залежності зниження рівня ґрунтових вод (1) та викликаних цим осідань ґрунту (2) на досліджуваній ділянці від відстані від контуру дренажу

Крім того, за наявності в основі пальових фундаментів існуючих біля котловану будівель слабостисливого шару піщано-гравійних відкладень величина їх додаткового осідання в зоні дренуючого впливу голкофільтрів буде визначатися величиною, еквівалентною дії додаткового навантаження, викликаного зниженням опору тертя по бічній поверхні паль в інтервалі осушення ґрунтової товщі. При цьому, для фундаментів споруд, закладених за схемою стоячих паль з обпиранням на слабостисливі піщано-гравійні відкладення з високою несучою здатністю, зниження опору тертя в межах інтервалу осушення при загальній

глибині закладення пального фундаменту не буде суттєвим і не призведе до відчутних додаткових осідань існуючих будівель.

Таблиця 5.2 – Граничні осідання і крени споруд з основою [19]

Споруди	Граничні деформації основи		
	Відносна різниця осідань $(\Delta s/L)_u$	Крен $i_u$	Середні $\bar{s}_u$ (у дужках максимальні $s_{max,u}$ ) осідання, см
1. Виробничі і цивільні одноповерхові і багатоповерхові будинки з повним каркасом:			
залізобетонним;	0,002	-	(10)
те саме, з улаштуванням залізобетонних поясів або монолітних перекриттів, а також будівель монолітної конструкції;	0,003	-	(15)
сталевим;	0,004	-	(15)
те саме, з улаштуванням залізобетонних поясів або монолітних перекриттів	0,005	-	(18)
2. Будинки і споруди, у конструкціях яких не виникають зусилля від нерівномірних осідань	0,006	-	(20)
3. Багатоповерхові безкаркасні будинки з несучими стінами з:			
крупних панелей;	0,0016	0,005	12
крупних блоків чи цегляної кладки без армування	0,0020	0,005	12
те саме, з армуванням, у тому числі з улаштуванням залізобетонних поясів або монолітних перекриттів, а також будівель монолітної конструкції	0,0024	0,005	18
4. Споруди елеваторів із залізобетонних конструкцій:			
робочим будинком і силосний корпус монолітної конструкції на одній фундаментній плиті;	-	0,003	40
те саме, збірної конструкції;	-	0,003	30
окремо розташований силосний корпус монолітної конструкції;	-	0,004	40
те саме, збірної конструкції;	-	0,004	30
окремо розташований робочий будинок	-	0,004	25
5. Димарі заввишки $H$ , м:			
$H \leq 100$	-	0,005	40
$100 < H \leq 200$	-	$1/(2H)$	30
$200 < H \leq 300$	-	$1/(2H)$	20
$H > 300$	-	$1/(2H)$	10
6. Жорсткі споруди заввишки до 100 м, крім зазначених у поз. 4 і 5	-	0,004	20
7. Антенні споруди зв'язку:			
стовбури щогл заземлені	-	0,002	20
те саме, електрично ізольовані;	-	0,001	10
вежі радіо;	0,002	-	-
вежі короткохвильових радіостанцій;	0,0025	-	-
вежі (окремі блоки)	0,001	-	-
8. Опори повітряних ліній електропередачі:			
проміжні прямі;	0,003	0,003	-
анкерні й анкерно-кутові, проміжні кутові, кінцеві, портали відкритих розподільних пристроїв	0,0025	0,0025	-
спеціальні перехідні	0,002	0,002	-

## 6 ОЦІНКА УМОВ ФОРМУВАННЯ ТА РОЗВИТКУ СУФОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

Оскільки суфозія є результатом діяльності підземних вод і однією з причин активізації зсувних процесів, розглянемо можливість її розвитку в умовах роботи голкофільтрів у процесі будівництва котловану під паркінг по вул. Набережна Перемоги, 128 у м. Дніпрі.

Лесові ґрунти, що складають геологічний розріз досліджуваної території, за вмістом водорозчинних солей відносяться до незасолених. Тому питання хімічної суфозії в даному випадку не розглядається.

Під механічною суфозією розуміють винос фільтраційним потоком дрібних частинок ґрунту. При цьому основними діючими силами, що викликають суфозію, є критичні швидкості руху фільтраційного потоку і зростаючий гідродинамічний тиск у фільтраційному потоці.

Суфозія виникає за умов:

- неоднорідності породи, при якій можливе пересування більш дрібних частинок серед великих (геометричний критерій);
- критичних градієнтів потоку, що викликають утворення підвищених швидкостей фільтрації води або критичної величини гідродинамічного тиску в породі (гідравлічний критерій);
- наявності області виносу, розвантаження породи від дрібних частинок.

Поєднання цих умов визначає порушення внутрішньої рівноваги в породі і неминучість розвитку суфозії. Таким чином, залежно від геологічної обстановки суфозія може розвиватися:

- 1) в шарі або товщі неоднорідних порід, що мають критичний гранулометричний склад;
- 2) на контакті двох шарів, що розрізняються за складом;
- 3) на контакті породи з заповнювачем фільтрів, дренажів та інших штучних присипок і засипок або на схилах і відкосах.

Суфозія може бути класифікована за наступними видами [25]:

1. Внутрішня суфозія. Протікає всередині незв'язної рихлої породи з короткочасним і коротким шляхом перенесення.

2. Зовнішня суфозія, випирання. Протікає на вільній поверхні незалежно від напрямку фільтраційного потоку й ухилу поверхні.

3. Контактна суфозія, контактний розмив. Відбувається в контактній зоні рихлих порід різного складу.

Але зазначені види суфозії можуть розвиватися тільки при відповідному гідродинамічному тиску фільтраційного потоку. Як показали дослідження Н.М. Бочкова, О.М. Патрашова, В.С. Істоміної [26] – [27], механічна суфозія розвивається, переважно, в ґрунтах з коефіцієнтом неоднорідності ( $U$ ) більше 20 і гідравлічним градієнтом ( $I$ ) більше 5, тобто:

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} \geq 20, I \geq 5, \quad (6.1)$$

де  $d_{60}$  – контролюючий діаметр частинок;  $d_{10}$  – діючий або ефективний діаметр частинок, мм.

Суфозія на контакті двох шарів може відбуватися в тому випадку, якщо відношення коефіцієнтів фільтрації цих шарів більше 2:

$$\frac{K_D}{K_d} \geq 2.$$

Більшість дослідників розглядає питання механічної суфозії лише для незв'язних ґрунтів. Однак практика показує, що механічна суфозія за певних умов розвивається і в малозв'язних ґрунтах (до останніх можна віднести і лесові супіски).

Лесові ґрунти є фільтраційно-анізотропними – у вертикальному напрямку вони більш водопроникні ніж у горизонтальному. У зв'язку з цим, руху води в горизонтальному напрямку чиниться більший опір ніж у вертикальному.

Гідродинамічний тиск у фільтраційному потоці тим вище, чим нижче водопроникність ґрунтів. При значних напорах гідродинамічний тиск є причиною

порушення стійкості відкосів і схилів, викликає перехід порід у пливунний стан, сприяє розвитку процесів суфозії та активізації зсувів.

Незважаючи на видиму ясність виникнення і розвитку механічної суфозії, її кількісна оцінка ускладнена через недостатню деталізацію процесу. Для визначення, чи є ґрунти досліджуваної території суфозійними, за графіками зернового складу в напівлогарифмічному масштабі [1] визначено діаметри їх частинок (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Діаметри частинок ґрунтів досліджуваної території, визначені за графіком зернового складу

№ ПГЕ	Діаметр частинок, з відсотковою вагою 10 % и 60 %		Ступінь неоднорідності $U$	Пористість, дол. од. $n$
	$d_{10}$	$d_{60}$		
1а	0,116	0,348	2,98	0,38
2а	0,005	0,024	4,8	0,45
2	0,0045	0,028	6,2	0,42
3а	0,054	0,160	2,96	0,39
3	0,106	0,253	2,39	0,37
4	0,124	0,444	3,58	0,35

Згідно виконаних за формулою (6.1) розрахунків за ступенем неоднорідності ґрунти території досліджень відносяться до несуфозійних ( $U < 20$ ). Те ж стосується й оцінок розвитку суфозії за гідравлічним градієнтом. Виходячи з рис. 6.7 середній гідравлічний градієнт, викликаний роботою голкофільтрів на даній території, дорівнює

$$I = \frac{7,8 - 4,5}{100} = 0,033,$$

що значно менше його граничного значення ( $0,033 \ll 5$ ) при якому можливий розвиток механічної суфозії.

Однак оцінку і прогноз розвитку процесу суфозії необхідно також виконувати з урахуванням швидкості фільтраційного потоку (швидкості розмивання). Тому у табл. 6.2 наведено розрахунковий діаметр частинок в неоднорідних

породах, з виносом яких при відповідній швидкості потоку починається суфозія [27] – [28].

Таблиця 6.2 – Швидкість розмивання частинок ґрунту підземним потоком

Розмір частинок, мм	5	3	1	0,8	0,5	0,3	0,1	0,08	0,05	0,03	0,01
Швидкість розмивання, м/хв	13,23	10,37	5,91	5,3	4,18	3,08	1,83	1,67	1,31	1,02	0,59

Згідно з результатами чисельного моделювання геофільтрації під час роботи контурів голкофільтрів (розд. 4) максимальна загальна швидкість течії підземних вод не перевищує 4,5 м/доб ( $\approx 0,003$  м/хв), що значно менше критичних швидкостей розмивання для частинок ґрунту всіх розмірів, наведених у табл. 6.2. Це свідчить про відсутність їх виносу потоком підземних вод на досліджуваній ділянці.

Початкову швидкість фільтраційного потоку (м/с), при якій починається суфозія, можна також визначати за формулою Зихарда [26]:

$$V_{mд} = \frac{\sqrt{K}}{15}, \quad (6.2)$$

де  $K$  – коефіцієнт фільтрації породи, м/с.

Підставляючи у формулу (6.2) діапазон значень коефіцієнтів фільтрації ґрунтів, наведених у табл. 2.2 (1,1 – 10,7 м/доб), можна встановити, що критична швидкість фільтраційного потоку для цих коефіцієнтів буде дорівнювати 20,5 м/доб та 64 м/доб відповідно. Отримані значення значно більші встановленої максимальної загальної швидкості фільтрації підземних вод, яка виникає при роботі голкофільтрів, що також свідчить про відсутність суфозії на досліджуваній ділянці.

Для більшої достовірності прогнозів оцінка можливого розвитку суфозії в піщаних породах може бути виконана ще шляхом знаходження критичних гідравлічних градієнтів за формулами:

– Терцаги

$$I_p = (\rho_s - 1)(1 - n), \quad (6.3)$$

– Замаріна

$$I_p = (\rho_s - 1)(1 - n) + 0.5n, \quad (6.4)$$

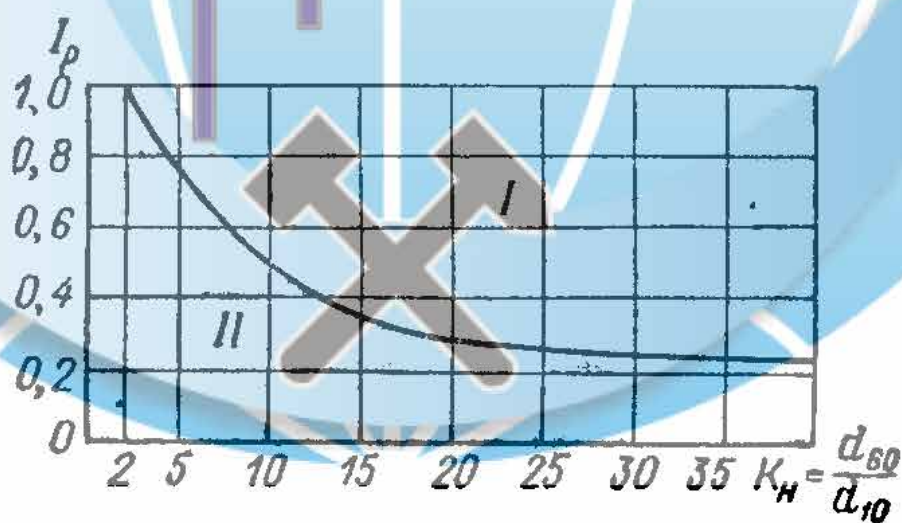
де  $\rho_s$  – щільність піску (питома вага), г/см<sup>3</sup>;  $n$  – пористість піску, дол. од.

Підставляючи у формули (6.3) та (6.4) для ПГЕ 3а, 3, 4 (пісків) значення питомої ваги з табл. 5.1 та пористості з табл. 6.1, можна визначити критичні гідравлічні градієнти, значення яких наведено в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Значення критичних гідравлічних градієнтів ( $I_p$ )

№ ПГЕ	Величина $I_p$ , розрахована за залежністю	
	(6.3)	(6.4)
3 <sup>а</sup>	0,73	0,87
3	0,75	0,89
4	0,70	0,81

Для прогнозу розвитку суфозії за допомогою визначених критичних гідравлічних градієнтів використовують графік Істоміної (рис. 6.1), з якого видно, що чим більше неоднорідність ґрунту, тим менше градієнт, при якому починається суфозія. Відкладаючи на осі абсцис цього графіка значення ступеня неоднорідності ПГЕ з табл. 6.1 та на осі ординат значення розрахованих градієнтів з табл. 6.3, можна зробити висновок, що всі піщані ґрунти досліджуваної території знаходяться в зоні безпечних гідравлічних градієнтів (II) для розвитку суфо-



зії.

Рисунок 6.1 – Графік для оцінки можливості розвитку суфозії: I – область руйнівних градієнтів фільтраційного потоку; II – область безпечних градієнтів



## ВИСНОВКИ

Аналіз результатів попередніх досліджень та виконане моделювання геофільтраційних і геомеханічних процесів, які виникають в процесі будівництва котловану під паркінг багатофункціонального комплексу житлового та громадського призначення по вул. Набережна Перемоги, 128 у м. Дніпро, дозволив зробити наступні висновки:

1. Геологічний розріз ділянки досліджень представлений комплексом сучасних, четвертинних алювіальних і алювіально-делювіальних відкладень, які залягають на товщі палеогенових і палеозой-кайнозойських утворень кори вивітрювання скельних порід.

2. У гідрогеологічному відношенні в межах проєктованого котловану під паркінг поширений водоносний комплекс, приурочений до четвертинних і палеогенових відкладень, з єдиним сталим рівнем підземних вод, який в середньому знаходиться на глибині 2 м (абс. відм. 53,5 м) від денної поверхні.

3. Відповідно до проєкту при будівництві котловану зниження рівня ґрунтових вод проводитиметься двома контурами голкофільтрів. Відмітка рівня відбору підземних вод голкофільтрами першого контуру складає 47,15 м, другого – 42,65 м. Відбір підземних вод на першому контурі дренажу передбачається проводити трьома насосними установками, на другому контурі двома. При цьому середня продуктивність кожної установки становить 960 м<sup>3</sup>/добу.

4. У плані контур першого дренажу є складною фігурою з довжиною основних сторін 73,5 м і 55 м, другий контур прямокутний з довжинами сторін 33,5 м і 27,4 м. Для виконання гідрогеологічних розрахунків ці дренажі були приведені до фіктивних (круглих) з наведеними радіусами 34,9 м та 17,9 м відповідно. Отримані значення використовувались в подальшому для знаходження радіусів впливів та витрат контурів дренажу для перевірки адекватності запропонованої чисельної геофільтраційної моделі.

5. Розрахункова схематизація досліджуваної ділянки (першого і другого контурів дренажу та прилеглих до котловану територій) була виконана відповідно до особливостей геологічної будови, характеру залягання водовмісних і

водотривких порід та їх гідродинамічних характеристик. В розрізі модель представлена двошаровою водоносною товщею, де перший розрахунковий шар відображує намивні ґрунти, верхньочетвертинні лесовидні суглинки і пілуваті піски (ПГЕ-1...3а) сумарною потужністю 11,7 м, другий – середньовверхньочетвертинні кварцові піски і палеогенові відкладення потужністю 25,3 м. Для детального відображення конфігурації контурів розташування голкофільтрів та геометрії сформованих воронок депресії модельована область представлена сіткою розрахункових блоків розмірами 1,0 м x 1,0 м.

6. За результатами чисельного моделювання геофільтрації у водоносному горизонті, приуроченого до четвертинних і палеогенових відкладень, було встановлено, що після другого місяця роботи першого контуру голкофільтрів позначка рівня ґрунтових вод на відстані 20 м від них становить 50,4 м, на 50 м – 51 м, на 100 м – 51,6 м. Це відповідно обумовлює зниження рівня ґрунтових вод у цих точках на 3,1 м, 2,5 м і 1,9 м. При цьому основне зниження вод відбувається на перших 7 м від контуру дренажу та складає 6,35 – 3,8 м.

7. Обчислювальна коректність розробленої моделі та отриманих величин водозниження була доведена за допомогою аналітичних розрахунків для випадку окремого дренажу (першого), складна конфігурація якого замінена наведеним радіусом. Зіставлення результатів цих розрахунків із даними моделювання показує, що сумарна розбіжність отриманих знижень рівня ґрунтових вод не перевищує 8 % і пояснюється нестационарним режимом фільтрації при моделюванні та стаціонарним у використовуваних аналітичних рівняннях. У зв'язку з чим розроблену модель геофільтрації можна вважати адекватною процесу, який вона відображає.

8. За результатами моделювання також встановлено, що наприкінці роботи дренажних систем при завершенні будівництва котловану (через 6 місяців роботи першого контуру та 4 місяці другого) рівень ґрунтових вод знизиться до мінімальних позначок за період експлуатації голкофільтрів. Позначка рівня вод на відстані 20 м від контуру становить 46,7 м, на 50 м – 47,8 м, на 100 м –

48,9 м. Це відповідно обумовлює зниження рівня у цих точках на 6,8 м, 5,7 м і 4,6 м. Загальна швидкість фільтрації вод у межах досліджуваної території змінюється від 0,08 м/доб до 2,5 м/доб після 30 діб роботи першого контуру та від 0,5 м/доб до 4,5 м/доб при завершенні роботи дренажних систем (180 діб). При цьому найбільші значення швидкості фільтрації характерні для ділянок, які знаходяться поблизу контурів дренажу, а найменші – для ділянок, віддалених від них.

9. За допомогою обґрунтованої методики оцінки осідання гірських порід при роботі водознижувальних свердловин отримана залежність осідання товщі ґрунту ПГЕ 1, 1а, 2а, 2, 3а, 3 і 4 від максимального водозниження, викликаного роботою голкофільтрів на досліджуваній території. Встановлено, що на перших 100 м від котловану під паркінг осідання ґрунтів наприкінці роботи двох контурів голкофільтрів буде змінюватися від 3,9 см до 2,6 см. Порівняння отриманих величин осідання з їх гранично допустимими значеннями показало, що максимальне розраховане осідання ґрунтів не перевищує середні допустимі осідання для всіх типів інженерних споруд.

10. Шляхом аналізу отриманого в результаті розрахунків графіка залежності осідання ґрунту від зниження РГВ встановлено, що із сумарного максимально можливого осідання ґрунту (3,9 см) на верхні відносно стисливі шари (ПГЕ 1 – 2) припадає 2,5 см, наступні 1,4 см осідання відбуваються по всій потужності товщі яка стискається (18,6 м). При цьому на місцевий несучий шар піщано-гравійних відкладень (ПГЕ 4), який є опорою для паль будівель розташованих недалеко від котловану під паркінг, характеризується хорошою несучою здатністю та потужністю близько 4 м, припадає близько одного міліметру осідання, яке можна порівняти з фракційним складом ґрунту та зовсім не враховувати. Саме це вказує на майже відсутній вплив роботи двох контурів голкофільтрів на осідання несучого шару ґрунту, що використовується як опора для паль будівель.

Крім того, за наявності в основі паливних фундаментів існуючих біля котловану будівель слабостисливого шару піщано-гравійних відкладень величина

їх додаткового осідання в зоні дренуючого впливу голкофільтрів буде визначатися величиною, еквівалентною дії додаткового навантаження, викликаного зниженням опору тертя по бічній поверхні паль в інтервалі осушення ґрунтової товщі. При цьому, для фундаментів споруд, закладених за схемою стоячих паль з обпиранням на слабостисливі піщано-гравійні відкладення з високою несучою здатністю, зниження опору тертя в межах інтервалу осушення при загальній глибині закладення пального фундаменту не буде суттєвим і не призведе до відчутних додаткових осідань існуючих будівель.

11. Згідно виконаних розрахунків ґрунти території досліджень відносяться до несуфозійних за ступенем неоднорідності ( $U < 20$ ) і гідравлічним градієнтом ґрунтових вод, викликаним роботою голкофільтрів ( $I \ll 5$ ). Крім того, відсутність розвитку процесу механічної суфозії на даній території підтверджується тим, що існуюча максимальна швидкість фільтрації підземних вод ( $\approx 0,003$  м/хв) значно менше критичних швидкостей розмивання частинок ґрунту різних розмірів (0,59 – 13,23 м/хв). Виконана для більшої достовірності прогнозів роз-

витку суфозії в породах біля котловану оцінка критичних гідравлічних градієнтів за формулами Терцаги і Замаріна також показала, що всі піщані ґрунти досліджуваної території (ІґЕ 3а, 3, 4) знаходяться в зоні безпечних градієнтів для розвитку суфозії.

12. Надані результати розрахунків та оцінки гідродинамічного та геомеханічного впливу котловану під паркінг багатофункціонального комплексу житлового та громадського призначення по вул. Набережна Перемоги, 128 у м. Дніпро виконані на основі заданих розмірів та форм котловану, контурів, місць та глибин закладення голкофільтрів, а також середніх витрат насосних установок. Зміна будь-якого з цих параметрів вимагає проведення нових розрахунків та оцінок.

## 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](mailto: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.Прищепя, 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 with a grid of latitude and longitude lines. The top half of the globe is light blue, and the bottom half is a darker blue. Overlaid on the globe are several symbols: a crane on the left, a building in the center, 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 large, bold, blue letters 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 Головченко Андрія Володимировича  
«Прогноз зміни гідродинамічного та геомеханічного стану ґрунтів  
при роботі голкофільтрових установок»

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 гідродинамічного та геомеханічного впливу котловану під паркінг багатофункціонального комплексу житлового та громадського призначення м. Дніпро виконано у зв'язку з роботою голкофільтрів в процесі його будівництва. Цільовим завданням роботи є встановлення впливу роботи голкофільтрів у процесі будівництва котловану на формування гідрогеологічного режиму досліджуваної території, а також визначення осідання та суфозійної стійкості ґрунтів на прилеглих територіях внаслідок зниження рівня підземних вод.

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. Досягнення поставленої у магістерській роботі мети здійснювалось автором шляхом аналізу геологічних, гідрогеологічних та техногенних умов ділянки під будівництво; вивчення технічної характеристики котловану, а також геотермічних та конструктивних параметрів голкофільтрів; обґрунтування технологічних схем експлуатації голкофільтрів; оцінки їх гідродинамічного та геомеханічного впливу на ґрунт.



Практичне значення результатів. Запропоновані технічні рішення, спрямовані на визначення гідрогеологічного режиму досліджуваної території, а також визначення осідання та суфозійної стійкості ґрунтів на прилеглих територіях внаслідок зниження рівня підземних вод.

Недоліки. В роботі не доведено адекватності розробленої гідрогеологічної моделі.

Ступінь самостійності виконання. Студент Головченко А.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 у відповідності з вимогами до кваліфікаційних робіт ступеню магістра, має необхідний графічний та табличний матеріал.

Комплексна оцінка. Кваліфікаційна робота Головченко Андрій Володимирович відповідає вимогам до рівня вищої освіти за НРК та компетентностям освітньої програми «Науки про Землю» і заслуговує оцінки «добре», а її автор Головченко А.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 Головченко Андрія Володимировича

«Прогноз зміни гідродинамічного та геомеханічного стану ґрунтів при роботі голкофільтрових установок»

У магістерській роботі Головченко А.В. за допомогою обґрунтованої методики оцінки осідання гірських порід при роботі водознижувальних свердловин отримана залежність осідання товщі ґрунту від максимального водозниження, викликаного роботою голкофільтрів на досліджуваній території. Порівняння отриманих величин осідання з їх гранично допустимими значеннями показало, що максимальне розраховане осідання ґрунтів не перевищує середні допустимі осідання для всіх типів інженерних споруд. Згідно з виконаними розрахунками ґрунти території досліджень відносяться до несупфозійних за ступенем неоднорідності та гідравлічним градієнтом ґрунтових вод, викликаним роботою голкофільтрів.

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.

Дипломна робота магістра Головченко А.В. заслуговує оцінки «Добре».

Доцент каф. геології та  
розвідки родовищ корисних копалин,  
к.г-м.н.

В.В. Ішков

Протокол перевірки кваліфікаційної роботи бакалавра

студента групи 103м-22-1

(шифр групи)

Головченко Андрія Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові)

Назва роботи: «Прогноз зміни гідродинамічного та геомеханічного стану ґрунтів при роботі голкофільтрових установок»

Науковий керівник проф. Інкін О.В.

(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

Plagiat.pl «StrikePlagiarism»	Unicheck	
	Оригінальність	70
Схожість	30	

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. Дерев'ягіна Н.І.

Зав. кафедри

доц. Загриценко А.М.

18.12.2023 р.