

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

Факультет природничих наук та технологій
(факультет)
Кафедра гідрології та інженерної геології
(повна назва)

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

Студент Шевченко Олександр Валерійович
(ПІБ)

академічної групи 103-18-2
(шифр)

Спеціальності 103 Науки про Землю
(код і назва спеціальності)

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

на тему: «Інженерно-геологічні особливості надзаплавної тераси у м. Дніпро та засоби захисту споруд на просадних ґрунтах»

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Дерев'ягіна Н.І.			
розділів:				
Загальний	Дерев'ягіна Н.І.			
Спеціальний	Дерев'ягіна Н.І.			
Рецензент	Шевченко С.В.			
Нормоконтролер	Загриценко А.М.			

Дніпро
2022

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

гідрогеології та інженерної геології

(повна назва)

Рудаков Д.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« » 2022 року

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

студента Шевченка Олександра Валерійовича академічної групи 103-18-2
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 103 "Науки про Землю"

за освітньо-професійною програмою «Геологія» блок «Гідрогеологія»
на тему «Інженерно-геологічні особливості надзаплавної тераси у
м. Дніпро та засоби захисту споруд на просадних ґрунтах» затверджену
наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» №203-с від 15.04.2022

Розділ	Зміст	Термін виконання
Загальний	<i>Опис механізмів утворення деформацій в льодових породах надзаплавних терас м. Дніпра, а також їх розвиток у часі. Характеристика існуючих методів зміцнення масивів льодових порід.</i>	2.05.2022- 17.05.2022
Спеціальний	<i>Опис загальних, гідрогеологічних, морфологічних, особливостей району досліджень, характеристика товщі масиву льодових порід. Розрахунок просідання будівлі, аналіз та порівняння розрахункових даних, розробка рекомендацій для стабілізації деформацій досліджуваного об'єкта.</i>	18.05.2022- 15.06.2022

Завдання видано

(підпис керівника)

Дерев'ягіна Н.І.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі 02.05.2022

Дата подання до екзаменаційної комісії 15.06.2022

Прийнято до виконання

(підпис студента)

Шевченко О.В.

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 94 с., табл.2, рис. 27 джерел 41.

Мета дипломного проекту: обґрунтування параметрів стійкості льосових порід надзаплавних терас у м. Дніпро при виборі методів їх зміцнення.

Об'єкт досліджень: процеси, що визначають зміну властивостей масивів льосових порід надзаплавних терас за їх інженерної меліорації.

У **вступі** розглядається необхідність розробки та вдосконалення нових методів зміцнення масивів у зв'язку з освоєнням нових територій під будівництво будівель та споруд.

У **загальному розділі** розглядається механізм утворення просідання, його розвиток у часі у зв'язку з впливом зовнішніх джерел, які є передумовами утворення деформації масивів. Проведено розбір існуючих методів зміцнення масивів льосових порід, а також їх аналогів, застосування цих методів виходячи з геологічних, гідрогеологічних, геоморфологічних та інших умов території. Розглянуто економічну частину деяких з методів, їх переваги та недоліки.

У **розрахунковій та експериментальній частинах** було здійснено розрахунки осідання та просідання об'єкту по вул. Сімферопольська, 11, а також порівняння отриманих даних із результатами натурних досліджень. Були розроблені рекомендації щодо зміцнення масиву льосових порід з метою запобігання подальшого розвитку деформацій.

Практичне значення даної роботи полягає у обґрунтуванні застосованості методів для повної або часткової ліквідації деформації надзаплавних масивів м.Дніпра, а також на аналогічних, за властивостями, ділянках з урахуванням усіх інженерно-геологічних складових.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: НАДЗАПЛАВНІ ТЕРАСИ, ТЕХНІЧНА МЕЛІОРАЦІЯ, ФОРМУВАННЯ ПРОСАДНОСТІ, ЗМІЦНЕННЯ СХИЛІВ, ЛЬОСОВА ПОРОДА, ЛІКВІДАЦІЯ ДЕФОРМАЦІЙ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ РОЗВИТКУ НЕГАТИВНИХ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ГРУНТОВИХ МАСИВАХ НАДЗАПЛАВНИХ ТЕРАС М. ДНІПРА.....	8
1.1 Характеристика основних інженерно-геологічних факторів, що впливають на досліджувані території.....	8
1.2 Формування та розвиток зсувних процесів на надзаплавних терасах.....	11
1.3 Стадії формування зсуву.....	12
1.4 Типи зсувних процесів і динаміка їх розвитку.....	13
1.5 Причини утворення зсувів на досліджуваних територіях.....	21
2 ФІЗИКО-ХІМІЧНІ І МЕХАНІЧНІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОСІДАННЯ ЛЬОСОВИХ ПОРІД, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ СТІЙКІСТЬ НАДЗАПЛАВНИХ ТЕРАС.....	23
2.1 Хіміко-мінералогічний склад і будова льосових порід.....	23
2.2 Генезис просідання льосів, швидкість і час його формування.....	26
2.3 Сучасні геологічні процеси у льосових породах надзаплавних терас.....	27
3 АНАЛІЗ ОСНОВНИХ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ПРОСАДНІСТЮ ЛЬОСОВИХ МАСИВІВ.....	32
3.1 Класифікація методів керування просідання масивів льосових порід.....	34
3.2 Методи механічного ущільнення просадних льосових порід.....	35
3.3 Методи гідромеханічного усунення просідання масиву льосових порід.....	39
3.4 Методи термічного усунення просідання масиву льосових порід.....	45
3.5 Методи фізико-хімічного ін'єкційного зміцнення масивів льосових порід.....	49
3.6 Методи індустріального зрізування просадних льосових порід.....	53
3.7 Методи армування масивів просадних льосових порід.....	54
3.8 Методи, що ґрунтуються на повному прорізуванні масиву просадних льосових порід.....	57
3.9 Методи, засновані на керуванні режимом вологості масивів	

просадних льосових порід.....	58
4 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЛЬОСОВИХ ПОРОД ДІЛЯНКИ І ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	60
4.1 Коротка геолого-гідрологічна характеристика Дніпровського регіону.....	60
4.1.1 Геологічна будова.....	60
4.1.2 Тектоніка.....	62
4.1.3 Гідрологічні умови.....	63
4.2 Фізико-географічні та інженерно-геологічні умови ж/к «Славний», по вул. Сімферопольська, 11.....	65
4.2.1 Загальні відомості про об'єкт досліджень.....	65
4.2.2 Геологічна будова.....	65
4.2.3 Гідрологічні умови.....	67
4.2.4 Геоморфологія, рельєф.....	69
4.2.5 Інженерно-геологічна та геотехнічна характеристика ґрунтів.....	70
5 ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРАХУНКОВИХ СХЕМ І ЗАХОДІВ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ СПОРУД ПО ВУЛ. СІМФЕРОПОЛЬСЬКОЇ.....	72
5.1 Розрахунок просідання льосового масиву в природних умовах під впливом техногенного навантаження.....	72
5.2 Розрахунок осідання будівлі.....	73
5.3 Аналіз отриманих результатів та порівняння з натурними спостереженнями.....	75
5.4 Вибір та обґрунтування найбільш ефективної технології зміцнення масиву.....	78
ВИСНОВОК.....	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	84
ДОДАТКИ.....	88

ВСТУП

Швидкі темпи будівництва, освоєння нових територій, реконструкція будівель і споруд, зведення об'єктів підвищеної поверховості, складної конфігурації в плані з різноманітними видами техногенних навантажень на ґрунти, призводять до порушення природної рівноваги і утворення нової системи, яка в подальшому позитивно або негативно впливає на навколишнє середовище. Надійне прогнозування змін геологічного середовища під впливом техногенних навантажень можливо тільки на підставі результатів комплексних досліджень ґрунтів і, в першу чергу, їх міцності і деформаційних властивостей, характерних для певного виду ґрунтів.

Серед комплексу проблем, які супроводжують оцінку стійкості масивів надзаплавних терас міста Дніпра, особливу актуальність має врахування специфічності льосів в загальному комплексі оцінки. У більшості випадків стандартні методики не враховують її, і тому дають більш оптимістичні прогнози.

Відповідно, практична значимість захисту територій на таких ґрунтах значно зросла останніми роками, оскільки розробленими нею методами вирішується складна проблема цілеспрямованої штучної зміни властивостей гірських порід і ґрунтів у потрібному для людини напрямку. За оцінками фахівців, до 45% вартості робіт з будівництва цивільних та промислових об'єктів на льосових ґрунтах витрачається на комплекс заходів, що запобігають деформації споруд через просідання.

Більш широке пізнання методів захисту надзаплавних терас дозволить безпомилково впливати на нестійку специфічну структуру льосових порід і трансформувати її в стійкий стан, що не деформується.

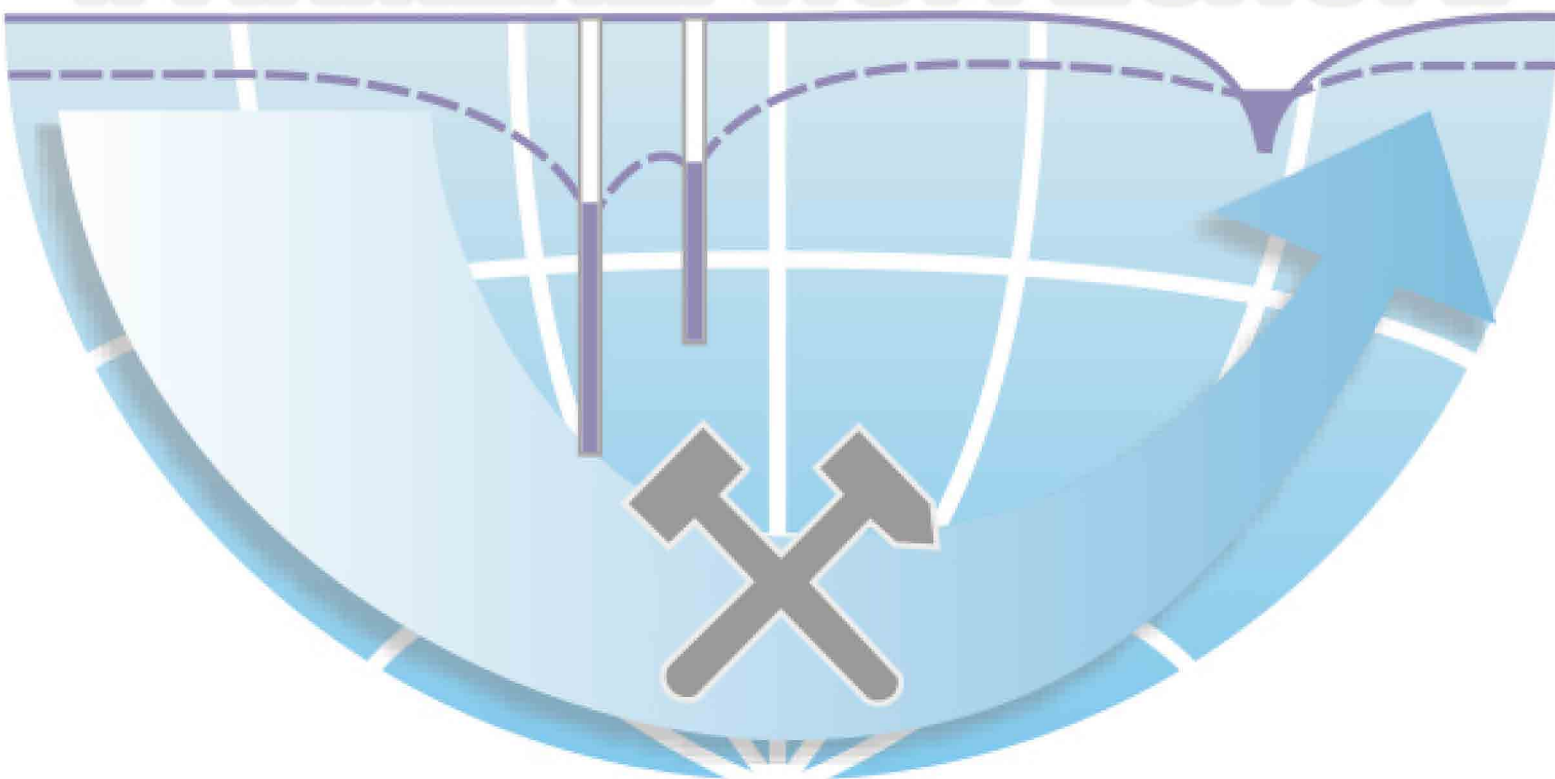
Теоретичне та експериментальне закріплення розроблених методів поліпшення або докорінної зміни властивостей ґрунтів, сприятиме прискоренню процесів будівництва у складних інженерно-геологічних умовах відповідно до запитів та специфіки різних видів будівництва.

Мета роботи: обґрунтування параметрів стійкості льосових порід надзаплавних терас у м. Дніпро при виборі методів їх зміцнення.

Для досягнення мети визначені наступні **завдання:**

- проаналізувати інженерно-геологічні умови надзаплавних терас м. Дніпра, основних характеристик льосових ґрунтів, механізмів розвитку процесів просідання у природних та антропогенних умовах;
- проаналізувати основні методи керування просіданням льосових масивів;
- виконати аналіз та порівняння особливостей льосових порід надзаплавних терас взагалі та безпосередньо об'єкта досліджень;
- обґрунтувати вибір розрахункових схем та заходів щодо забезпечення стійкості споруд по вул. Сімферопольська, 11, враховуючи їх інженерно-геологічні особливості.

КАФЕДРА
ГІДРОГЕОЛОГІЇ
ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



1. АНАЛІЗ РОЗВИТКУ НЕГАТИВНИХ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ГРУНТОВИХ МАСИВАХ НАДЗАПЛАВНИХ ТЕРАС М. ДНІПРА

1.1. Характеристика основних інженерно-геологічних факторів, що впливають на досліджувані території

Правобережна частина міста Дніпра відноситься до крайової ділянки Придніпровської височини, тому вона має високі абсолютні позначки і характеризується розвиненою густою яружно-балочною мережею, яка утворена сильно розгалуженими 15 балками і більш ніж 40 ярами із загальною протяжністю понад 120 км. Така геоморфологічна будова є передумовою для подальшого формування несприятливих геологічних процесів. Але для їх розвитку потрібно ряд інших природних особливостей, які будуть розглянуті далі.

Гідрогеологічні особливості привели до того, що м. Дніпро відноситься до одного з 244 підтоплених міст України. У ґрунтах міської території на протязі десятиліть поступово піднімається рівень ґрунтових вод (до 1 м/рік). Це відбувається в основному за рахунок витоків з водоносних магістралей, недостатньою дренажною інфраструктурою та впливу гідротехнічних споруд (наприклад, будівництво греблі ДніпроГЕС сприяло підняттю рівня води в річці Дніпро на 4 м). Загалом же ділянки з заляганням ґрунтових вод на глибині понад два метри становлять 6283 га або більше 18% загальної площі Дніпра. Ділянки з інтенсивним підйомом вод в інтервалі глибин до 10 метрів складають близько 2020 гектарів (6% площі міста).

Багато в чому проблему підтоплення міста можна вирішити посиленнями вимогами до водокористування. Зокрема, на потенційно підтоплених ділянках, відповідно до існуючих нормативних вимог, в незалежності від типу споруди повинні влаштовуватися власні дренажні системи. На заміну іржавих сталевих труб повинні прийти високоякісні

аналоги з пластика або інших синтетичних матеріалів. Це в перспективі суттєво зменшить величину витоків з водонесучих комунікацій (згідно ДБН допускаються витoki до 10% від забору води до споживача) і, відповідно, знизить підживлення ґрунтових вод.

Такі природні особливості обумовлюють широке поширення ерозійних, осідаючих і зсувних процесів. Площа їх поширення займає приблизно 45% від усієї площі міста, тому актуальним питанням є детальне вивчення впливу цих процесів на життєдіяльність людини і екологічну ситуацію району [15].

Схили в балках Дніпра схильні до інтенсивної діяльності ерозії. Крім природних причин (ухили поверхні, легкорозмиваючі ґрунти), важливу роль мають техногенні причини розвитку даного геологічного процесу. До них відносяться витoki з каналізаційних водопроводів, несправність або відсутність дренажних систем, а також зміна усталеного шляху течії поверхневих вод. Внаслідок цього вода підмиває споруди, руйнує дороги і ґрунтово-рослинний шар, утворюючи тим самим вимоїни і яри (рисунок 1.1).

Одним із прикладів є штучний яр на території балки Тунельної. Там, через руйнування водопроводу, розвивається «каньйон» ночвоподібної форми з шириною до 15 м і глибиною, яка доходить до 8 м (рисунок 1.2). В цілому площа розвитку яру ерозії по місту становить 1400 гектарів.

Близько 80% всіх господарських об'єктів міста побудовані на льосових ґрунтах. На правобережжі Дніпра їх потужність досягає 40-50 метрів. У сухому стані по несучих здібностям лесові суглинки не поступаються іншим ґрунтам і здатні витримати великі навантаження. Однак при замочуванні суглинки набувають плинність, пластичність, що різко знижує їх несучу здатність. При подальшому висиханні вони мають властивість значно зменшуватись в обсязі - просідати. Тому повсюдно можна зустріти тріщини в будівлях, від невеликих до тих, що проходять через всю будівлю. Так, наприклад, до непоправного доходить стан Потьомкінського палацу, де просідання лівої частини спричинило

деформацію колон і спровокувало виникнення наскрізних тріщин (рисунок 1.3).



Рисунок 1.1 – Ділянка розвитку лінійної ерозії



Рисунок 1.2 – Ділянка зруйнованого водопроводу для відводу дренажних вод з ж / м Сокіл

Діяльність всіх перерахованих вище процесів об'єднала в собі активізація зсувних процесів. У більшості випадків вони приурочені до схилів, де поширені специфічні ґрунти льосового комплексу та ерозійні процеси. Тут виявлено понад 130 небезпечних в цьому відношенні ділянок. З них найбільший - близько 250 гектарів - житловий масив Тополя (рис. 1.4). Зсувним процесам також схильні ж/м Сокіл і схили Тунельної балки.



Рисунок 1.3 – Тріщина в будівлі Потьомкінського палацу



Рисунок 1.4 – Результати зсуву на ж/м «Тополя» у 1997 р.

1.2. Формування та розвиток зсувних процесів на надзаплавних терасах

Зсувні процеси - різновид схилових водно-гравітаційних процесів, який є відділенням і зміщенням частини гірських порід, що складають схил, під дією сили тяжіння за участю поверхневих і підземних вод. Особливістю зсувів є те, що відокремлені породи ковзають вниз вздовж поверхні зсуву, що виникла в масиві, а не падають як при обвалах. Так само структура порід в початковий етап розвитку зсуву не порушується і зсувна маса не розсипається на окремі брили [2-3, 14, 13, 35].

У складі будь-якого зсуву виділяють загальні структурні елементи. Вони представлені на прикладі ступеневої зсуву, який можна бачити на рис. 1.5.

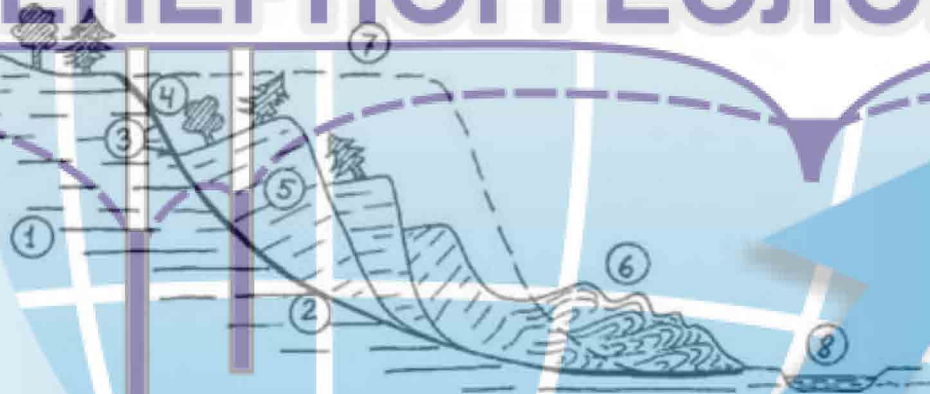


Рисунок 1.5 – Схема будови ступеневого зсуву: 1 - корінні породи непорушеного схилу; 2 - поверхня ковзання (поверхня переміщення зсувного тіла по корінних породах); 3 - тилочий шов (лінія відриву зсувного тіла від корінних шарів); 4 - надзсувний уступ; 5 - зсувні тіла (що відокремилися від корінних масивів гірських порід зі зростаючою на них «п'яною» рослинністю); 6 - бугор обдимання (місце дроблення і зім'ялості в складки зсувного тіла); 7 - первісне положення схилу; 8 - поверхневий водотік (річка).

Зсуви виникають на схилах долин, річкових або морських берегів, а так само в гористій місцевості. На одному і тому ж схилі може розвиватися відразу кілька зсувів, підосви яких розташовуються на різних рівнях. Такі зсуви називаються багатоярусними. Іноді зміщення земляних мас відбувається послідовно, і утворюється ступінчастий зсув (як показано на рис. 1.5).

1.3 Стадії формування зсуву

Ємельяною Є.П. [10, 14, 16] були розроблені стадії зсувного процесу в залежності від активності зсувного тіла і наступним поділом їх на фази, які вона об'єднує в цикл.

Повний зсувний цикл має чотири стадії і сім фаз:

I) Стадія підготовки зсуву. Це період часу, протягом якого відбувається зменшення коефіцієнта стійкості схилу і в породах схилу зростають деформації, що передують їх руйнуванню або початку їх в'язко-пластичної течії.

1. Фаза згасаючих деформацій - період часу, протягом якого наростання деформацій відповідає величині зростання напружень або падіння прочності порід, він припиняється або сповільнюється з припиненням або уповільненням цих процесів (пружні деформації і загасаюча повзучість).

2. Фаза глибинної повзучості - період часу, протягом якого відбувається повільне наростання деформацій, яке не припиняється і при відсутності зростання напружень (стабільна повзучість).

II) Стадія основного зміщення зсуву. Це період часу, протягом якого слідом за руйнуванням порід уздовж поверхні ковзання за порівняно короткий строк велика частина зсувного зміщення і коефіцієнт загальної стійкості схилу підвищується (стадія відновлення загальної рівноваги схилу).

3. Фаза наростання швидкості деформацій, обумовлена процесом руйнування порід в зоні зсуву.

4. Фаза швидкого наростання швидкості зсуву, обумовлена перевищенням сил, що зсуваються над силами опору після руйнування порід.

5. Фаза загасання швидкості зсуву, яка настає після того, як внаслідок зміни положення тіла зсуву, на схилі зсувні сили стають менше сил опору (рух за інерцією).

III) Стадія вторинних зсувів. Це період часу, протягом якого розпушені при основному зміщенні маси гірські породи ущільнюються, а ділянки зсувного схилу, які опинилися в результаті основного зміщення в нестійкому стані, шляхом локальних зсувів досягають стійкості (стадія відновлення локальних умов рівноваги).

6. Фаза відновлення локальних порушень рівноваги, викликаних головним зсувним зміщенням.

7. Фаза відновлення локальних порушень рівноваги, викликаних вивітрюванням гірських порід, підведених до денної поверхні в процесі головного зміщення.

IV) Стадія стійкості (стабілізації). Це період часу, протягом якого середній коефіцієнт стійкості схилу залишається постійним або збільшується, а гірські породи не відчувають деформацій. Переміщуються тільки їх поверхневі частинки в результаті процесів ерозії, абляції та кріпа.

1.4 Типи зсувних процесів і динаміка їх розвитку

За характером порушення рівноваги ґрунтового масиву, особливостям деформування, які в значній мірі визначаються переважаючим силовим впливом і механізмом деформування, зсуви можна поділити на такі основні типи (згідно [33]):

1) Зсув стиснення (або видавлювання). Порушення рівноваги масиву і деформування при формуванні зсуву відбуваються за схемою стиснення.

Під стискаючим вертикальним тиском від ваги покривних пластів деформується горизонт, структурна міцність ґрунтів якого менше за мінімальний вертикальний тиск. Внаслідок деформування ґрунти розчавлюють горизонт, і в бік схилу відбувається просідання і прогин вищезалгаючого масиву з формуванням в зоні вигину спочатку концентрації напруг, що розтягують, а потім - тріщини заколювання (опущеної тріщини розтягування). Далі по цій тріщині відділяється і осідає по крутій криволінійній поверхні ковзання зсувний блок. Поверхня ковзання до схилу виполаживається і може бути близькою до горизонтальної. На рисунку 1.6 показані основні типи даного виду зсувів.

Найбільше поширення мають блокові зсуви стиснення, поверхні ковзання яких формуються в глинистих ґрунтах (рисунк 1.6 а, б). Зсуви даного типу вражають береги річок, морів, озер, утворюються на схилах виїмок, насипів, на бортах кар'єрів.

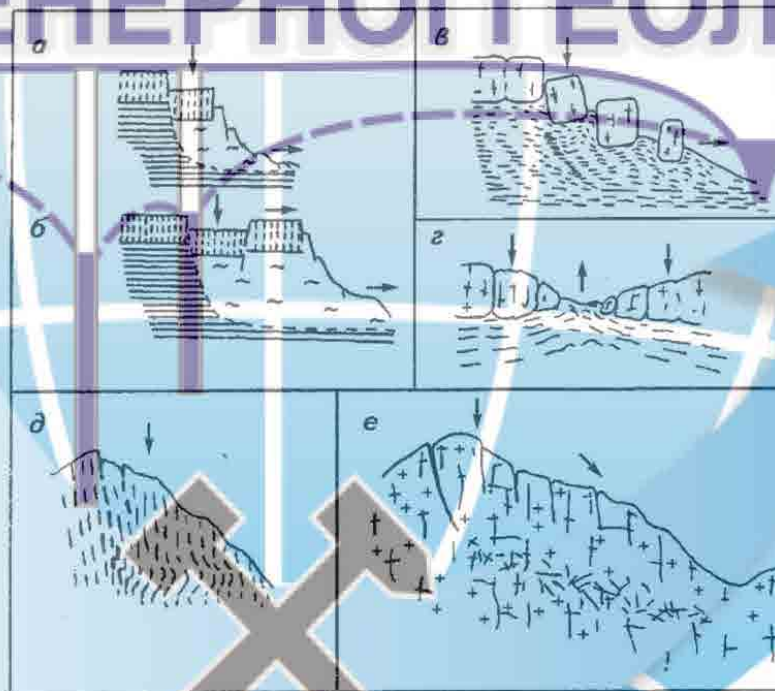


Рисунок 1.6 – Схеми зсувних деформацій за механізмом стиснення: а, б - зсув стиснення в глинистих ґрунтах; в - осідання і розповзання блоків напівскельних і скельних порід; г - випор дна долини; д - гравітаційні складки: глибинна повзучість з S-подібним вигином пластів; е - гравітаційні деформації хребтів.

2) Зсув зсуву (або ковзання). Виникають в результаті ковзання блоків порід по раніше наявній або знову сформуваній похилій поверхні внаслідок миттєвої втрати міцності (крихкого руйнування) або збільшенні дотичних зсувних напружень. Деформування схилу (укосу) в цьому випадку відбувається у вигляді прогресуючого зсуву з падінням опору по мірі деформування, зниженням міцності від пікового значення до залишкового і поступовим формуванням поверхні (площини) ковзання [3, 13, 14, 31].



Рисунок 1.7 – Схеми зсувних деформацій за механізмом зсуву: а - зрушення-зрізання; б - зсув по нашарування; в - зсув-ковзання покривних мас; г - зсув (сшіив) ґрунтового (ґрунтово-рослинного) шару; д - вигин голів крутопадаючих пластів

На рисунку 1.7 показані основні типи даного виду зсувів.

На крутих уступах зрушення (ковзання)

зсування частини масиву відбувається,

як правило, по криволінійній

поверхні ковзання,

що виходить до підшви уступу або вище її (рис. 1.7 а).

Таким чином, формується профіль рівнопрочного або

рівностійкого укосу зі зміщенням (нерідко обваленням)

розубожених ґрунтів.

Поверхня ковзання може бути приурочена до геологічних границь між шарами. При цьому можуть зрушуватися значні пачки гірських порід (рисунок 1.7 б).

Схема зсуву по ламаним плоским поверхням ковзання характерна для зсуву делювіально-елювіальних схилових накопичень по похилій покрівлі корінних порід (рисунок 1.7 в). Частою формою зсувних проявів є зрушення ґрунтово-рослинного покриву (рисунок 1.7 г), що виявляються за серією коротких зсувних тріщин. Повільна повзучість приповерхневого шару у вигляді зсуву може спостерігатися на відносно стійких схилах з крутим падінням пластів міцних порід (рисунок 1.7 д).

З наукової точки зору спостерігати найкраще даний вид зсувів можна в балці Тунельна, так як він розвивається відразу в декількох місцях і має небезпеку для інженерних споруд. Тут четвертинний водоносний горизонт постійно отримує підживлення за рахунок витоків з каналізації та дренажних систем по вул. Космічній і ж/м Сокіл. Тому суглинки весь час знаходяться в змочену стані, що є основним фактором розвитку зсувів зсуву. Найбільшими є два зсувних тіла, що знаходяться поруч з водонасосною станцією (далі іменується як ВНС).

Зсув №1 розташований на схід від ВНС. Форма зсуву в плані складна, близька до ізометричної, з деяким звуженням вниз по схилу. Ширина зсуву по фронту становить 145-150 м, протяжність в напрямку руху 230 м, перевищення бровки головного уступу над підшовою валу випирання становить 47-52 м, генеральний кут схилу дорівнює 15° . Висота головного уступу змінюється від 5 до 12 м, являє собою вертикальну стіну, складену льосовими породами (рисунок 1.8). В східній і західній частині зсуву головний уступ виявлений не настільки круто і має ступінчасту форму, проте множинні заколи (тріщини зриву) на поверхні порушили стінки камери водоводу, саму його нитку і опору телефонної мережі. Біля підніжжя уступу спостерігається постійне височування підземних вод і обводнення льосових ґрунтів, тому тут росте очерет і

верба. Так само збереглися забиті в 1992 році сваї і відвали будівельного сміття.



Рисунок 1.8 – Центральна частина головного уступу зсуву №1

Рельєф поверхні зсувного тіла досить нерівний - хвилястий, горбистий, з западинами за якими зараз розвиваються яри. Дерновий покрив розірваний, дерева нахилені. Край язика зсуву є невисоким до 2-3 м валу. Біля підніжжя язика оголюється покрівля бурих глин, а в період найбільш сильних злив з-під зсуву має витікати струмок, з водами якого виноситься льосовий ґрунт.

У порівнянні з 1992 роком ерозійні процеси спровокували просування бровки головного уступу в сторону ВНС на 10-12 м, в сторону автодороги по вул. Космічній – 10 м, в сторону водопроводу $d = 1200$ мм - на 5 м. При такій швидкості руху в найближчі роки може виникнути ймовірність сповзання проїжджої частини автодороги з прокладеними на ній комунікаціями.

Зсув №2 розташований в відвертті балки з північно-західного боку ВНС. Форма зсуву в плані - складна, що наближається до трикутної, з підставою в головній частині. Ширина зсуву по фронту в головній частині досягає 180-200 м, біля підніжжя 20-30 м. Протяжність вниз по схилу від

145 до 230 м. Перевищення бровки головного уступу над підшовою язичку 33-38 м, над вершиною зсуву 7-10 м. Генеральний кут схилу в центральній частині зсуву дорівнює 11° . Суцільність дернового покриву порушена, так само спостерігається «п'яний ліс». Біля підніжжя уступу відзначається вихід ґрунтових вод на денну поверхню у вигляді струмочків і мочажин, так само відзначається заболочування, росте очерет.

Найбільш активна частина зсуву у верхів'ї яру поблизу поламаної переливної труби водопровідної станції (рисунок 1.9). Тут висота зсувного уступу досягає 4-6 м, через наявність води у підніжжі уступу, активно розвивається водна ерозія, провокуючи утворення гравітаційних процесів (обвали) (рисунок 1.9). Найближчі тріщини відколу простежуються на відстані 40-50 м від кордону ВНС, що створює реальну небезпеку для її подальшого використання і функціонування.



Рисунок 1.9 – Ділянка зсувного цирку з постійною водою

За характером розвитку зсуву, зсуви №1 і №2 відносяться до деляпсівних (тобто зсуви зсуву, зісковзування), по виду або структурі зсувного схилу - консеквентні, так як поверхня ковзання зумовлена

будовою схилу і представлена першим регіональним водоупором - червоно-бурими глинами (або суглинками). Так само їх можна класифікувати як глибокі, але дрібні за масштабом (менше 50 га).

3) Зсув розрідження (або течії). Порушення рівноваги схилових масивів у вигляді розрідження відбувається внаслідок переважного силового впливу підземних (грунтових) вод. Основний механізм розрідження, що розглядається в механіці ґрунтів як фільтраційне деформування ґрунту, - це збільшення порового тиску (тиску води в порах ґрунту) і, як наслідок, зменшення ефективних напружень. У водонасиченому ґрунтовому масиві парова вода в тій чи іншій мірі може надавати на мінеральний скелет ґрунту гідростатичний тиск та фільтраційний тиск різної спрямованості, що викликаються фільтраційними об'ємними силами. Інтенсивність і спрямованість цих сил залежать від зовнішніх впливів: статичних та динамічних навантажень на схил, швидкості фільтраційних потоків і коливання рівня підземних вод, рівневого режиму у водоймах і поверхневих водотоках, інтенсивності атмосферних опадів і т.д.

Даний механізм формування зсувів особливо характерний для дисперсних ґрунтів, що мають слабкий структурний кістяк і малу фільтраційну здатність. До них відносяться сучасні мули, водонасичені молоді глини і суглинки, пливуні, ґрунти, торфи, а також глинисті ґрунти різного віку, що втратили міцність в результаті розубожування, вивітрювання і гідратації. На рисунку 1.10 показані основні типи даного виду зсувів.

У місці виходу (розвантаження) на поверхню схилу підземних вод нерідко утворюється зсувній цирк зі звуженою горловиною (рисунок 1.10 а). Розріджені ґрунтові маси (продукт обвалення стінки зриву і бортів) у вигляді в'язко-пластичного потоку переміщуються з горловини на укіс з утворенням конуса виносу біля підніжжя. Що виникає в результаті сильних злив, рясного танення снігу, підвищення рівня підземних вод і відповідно висхідні фільтраційні сили можуть знизити внутрішнє тертя в

грунті до нуля, а розубожування при малих навантаженнях (поверхневі шари) - привести до втрати зв'язності між мінеральними частинками. Розрідження піщано-глинистого ґрунту в такому випадку може статися навіть при невеликих ухилах поверхні (1:10 і менше) (рисунок 1.10 б). Часто зустрічаються порушення локальної стійкості ділянки схилу в місцях надмірного зволоження ґрунтів і деформування у вигляді опливін (рисунок 1.10 в).



Рисунок 1.10 – Схеми зсувних деформацій за механізмом розрідження: а - зсувний цирк з вузькою горловиною (розвантаження підземних вод); б - зсув-потік; в - опливіна

Приклад таких зсувів - катастрофічне зміщення ґрунтів на житловому масиві Тополя-1 в 1997 році, коли був зруйнований 2-під'їзний дев'ятиповерховий будинок, кілька гаражів, школа і частково 2 дитячі садки (рисунок 1.11). Зсуви течії важко прогнозовані, їх активізація і зміщення відбувається в короткій проміжок часу.

4) Зсув розтягування (або обвалу). Порушення рівноваги і переважне руйнування відбувається під дією нормальних розтягуючих напруг, з поділом масиву по поверхні розриву. Монолітні скельні породи можуть сприймати значні напруження розтягу (до 30 МПа), свідченням чого є високі прямовисні схили бортів багатьох гірських долин.



Рисунок 1.11 – Ділянка руйнування школи на ж/м Тополя-1

1.5 Причини утворення зсувів на досліджуваних територіях

Для оцінки зсувонебезпечності і розробки протизсувних заходів, повинен бути детальний комплексний аналіз всіх чинників формування зсувного процесу. Саме такий підхід може забезпечити максимальну ефективність інженерно-геологічних досліджень.

З точки зору геології їх прийнято розділяти за характером походження, де вони можуть бути природними або техногенними. Основними причинами в природних умовах є:

1. Глобальні катаклізми і землетруси;
2. Перезволоження схилів опадами;
3. Збільшення крутизни схилів в результаті підмиву водою (абразії);
4. Ослаблення міцності твердих порід при вивітрюванні, вимиванні або вилуговуванні;
5. Наявність в товщині ґрунту розм'якшених глин, пливунних пісків, льоду;
6. Чергування водотривких (глинистих) і водоносних порід (піщано-гравійних, вапняних);
7. Перетин порід тріщинами;

8. Розташуванням шарів ґрунту.

За міжнародною статистикою близько 80% сучасних зсувів відбуваються через активну діяльність людини. Тому одним з найважливіших аспектів при оцінці стійкості схилу є виявлення наступних техногенних факторів:

1. Вирубка рослинності на схилах (дерев і чагарників з глибокою кореневою системою);
2. Буропідривні роботи в гірничих виробках;
3. Розорювання схилів, надмірний полив садів і городів на схилах;
4. Руйнування схилів котлованами, траншеями, дорожніми виїмками, підрізання схилів;
5. Засмічення, завалювання місць виходу підземних вод;
6. Будівництва житла і промислових об'єктів на схилах, що веде до руйнувань схилів, збільшення сили тяжіння, спрямованої вниз по схилу.

Слід зазначити, що часто в формуванні зсуву бере участь комплекс пов'язаних між собою як природних, так і антропогенних факторів.

КАФЕДРА
ГІДРОГЕОЛОГІЇ
ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

2. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ І МЕХАНІЧНІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОСІДАННЯ ЛЬОСОВИХ ПОРІД, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ СТІЙКІСТЬ НАДЗАПЛАВНИХ ТЕРАС

2.1 Хіміко-мінералогічний склад і будова льосових порід

Мінералогічний склад льосових порід. Найголовніші інженерно-геологічні властивості льосових порід визначаються їх мінералогічним складом.

Розподіл карбонатів, гіпсу та залізисто-марганцевих сполук в льосових товщах обумовлений багатьма факторами, з яких головними є кліматичні умови, положення древніх і сучасних рівнів ґрунтових вод, їх режим, висхідні і низхідні водні розчини.

У льосових породах знаходяться переважно карбонати, бікарбонати, сульфати і хлориди. Кількість солей визначають хімічними аналізами.

Зміст карбонатних солей в льосових породах коливається від 5 до 20% (рідше 30%). Найбільша їх кількість міститься в льосах посушливих районів. Основна маса карбонатів зосереджена в пилуватій фракції.

Дуже важливе значення набувають карбонати у формуванні міцності льосових порід. Карбонати, особливо високодисперсні, створюють міцні слабозчинні кристалізаційні зв'язки між окремими частинками в льосових породах. Крім того, карбонати обумовлюють значну насиченість поглинаючого комплексу льосів кальцієм, що призводить до агрегації глинистої і колоїдної фракцій, зниження пластичних властивостей.

З середньорозчинних солей в льосових породах переважає гіпс. Сульфати концентруються переважно у фракціях крупніше 0,01 мм. У зоні посушливого клімату гіпс знаходиться в льосових породах повсюдно. Вміст легкорозчинних солей (хлоридів, сульфатів і карбонатів натрію, сульфатів натрію і магнію і т.д.) в льосових породах України не перевищує 0,5%, в Середній Наддніпрянщині - 0,3%, Східному Передкавказзі - 0,36%,

Північному Прикаспію - 0,68%, Середній Азії - 1,5-2,0%. У льосових породах України виявляється зональність складу легкорозчинних солей: на півночі лісостепу переважає двовуглекисла сода, в центрі і на півдні лісостепу - сода, хлориди і сульфати, в степовій зоні - сульфати і хлориди. Найбільш засолені ґрунти і ґрунти Лівобережної України, особливо на низьких річкових терасах.

Хімічний склад льосових порід. У льосі у великій кількості містяться SiO_2 і карбонати. Хімічний склад в помітному ступені змінюється в залежності від величини мінеральних частинок: чим більше вони, тим більше міститься в них таких інертних речовин, як SiO_2 , тим бідніше вони такими сполуками, які містять в собі залізо, кальцій, магній, фосфор і, навпаки, чим дрібніше частинки, тим більше в їх складі таких елементів, як P, Ca, Mg, Fe і Al.

У грубих механічних фракціях переважають переважно кварц і польові шпати з високим вмістом кремнезему, а в тонких - в основному глинисті мінерали (каолініт, галлуазіт, монтморилоніт, аллофан, бейделліт, нонтроніт та ін.) з низьким вмістом кремнезему і високим вмістом полуторних окислів калію, магнію і хімічно зв'язаної води. Найбільш складною щодо хімічного складу є іловата фракція (<0,001 мм), в яку входять всі колоїдні сполуки ґрунту. Разом з тим, чим дрібніше мінерали, тим більше їх питома поверхня і тим сильніше у них виражена можливість для активної взаємодії з елементами навколишнього середовища.

Таким чином, механічний склад характеризує певною мірою не тільки фізичні властивості, а й хімічний склад ґрунту і материнської породи.

За хімічним складом високий вміст SiO_2 в льосі пояснюється не стільки процесами вивітрювання, скільки сортуванням матеріалу, що викликав велику кількість кварцових зерен [2, 3].

Будова льосових порід. Для льосових ґрунтів зазвичай характерні: висока пилуватість (вміст часток розміром 0,05-0,005 мм більше 50% при кількості частинок розміром менше 0,005 мм, як правило, не більше 10-

15%); низькі значення числа пластичності (менше 12); низька щільність скелета ґрунту (переважно менше $1,5 \text{ г/см}^3$); підвищена пористість (більше 45%); невисока природна вологість (як правило, менш межі розкочування); засоленість; світле забарвлення (від палевого до охристого кольору); здатність в мало зволжених умовах тримати вертикальні укоси; циклічність будови товщ.

Головна відмінна риса льосів - наявність макропор розміром 1-3 мм, помітних неозброєним оком. Макропори мають форму звивистих вертикальних каналців.

Могутні товщі льосових порід мають циклічну будову: кілька горизонтів льосів перешаровуються з похованими ґрунтами і непросадними льосовими ґрунтами (льосовидні суглинки). Останні, на відміну від льосів, мають більш темний бурий або червонувато-бурий колір і нерідко виразну шаруватість. Вони більш глинисті, характеризуються відносно низькою пористістю (до 40%) і значно більш високою щільністю ($1,8 - 1,9 \text{ г/см}^3$). Як правило, просідання зменшується зверху вниз по розрізу.

Просадні ґрунти слід характеризувати:

- відносною деформацією просідання - відносним стисненням ґрунтів при заданому тиску після їх замочування;
- початковою просідаючої вологістю - мінімальною вологістю, при якій виявляються просадні властивості ґрунтів;
- початковим просадним тиском - мінімальним тиском, при якому проявляються просадні властивості ґрунтів при їх замочуванні.

При інженерно-геологічних дослідженнях під свайні фундаменти з опертям свай на непросадні ґрунти (свай-стійки) і при відповідному записі в технічному завданні допускається не визначати зазначені специфічні властивості просадних ґрунтів.

2.2. Генезис просідання льосів, швидкість і час його формування

Більшість льосових порід при замочуванні їх водою різко зменшуються в об'ємі, що прийнято називати «осіданням» або «додатковою осадкою». Просадність є специфічною інженерно-геологічною властивістю льосових порід, реалізованою в їх здатності зменшувати свій об'єм при зволоженні, тобто деформуватися під впливом навантаження на споруди або під власною вагою.

Незважаючи на численні дослідження, причини високої пористості і виникнення просадних явищ в льосових породах під впливом тривалого зволоження досі остаточно не з'ясовані. Найбільш просадними є еолові (представлені матеріалом, принесеним вітром) і пролювіальні (пухкі відкладення продуктів руйнування гірських порід, що змиваються і виносяться по балкам тимчасовими потоками від атмосферних опадів до підніжжя височин) льоси.

Осідання льосових ґрунтів в області будівництва можуть викликати їх нерівномірне осідання, що призводить до деформації фундаментів, утворення тріщин в стінах споруд, їх крену, порушення роботи механізмів, що знаходяться в будівлях та ін.

За характером реагування на зволоження розрізняють 4 типи льосових порід: 1) набухаючі (без навантаження або з невеликим навантаженням); 2) непросадні (що не дають додаткові осади); 3) просідаючі (провальні або самопросідаючі) і 4) просідаючі з уповільненим ущільненням (при навантаженні від споруд).

Причини просадності:

1. Вимивання солей і зменшення в зв'язку з цим обсягу породи;
2. Дія риючих тварин і комах, коріння рослин;
3. Різноманітність мінералогічного складу глинистих фракцій;
4. Еоловий генезис;

5. Фізичні водні властивості, тобто втрата зчеплення частинок в результаті розклинюючої дії гідратних плівок колоїдних частинок, і полегшення ковзання мінеральних часток один щодо одного;

6. Відсутність колоїдно-дисперсної частини («кількісний дефіцит») - наявність більше 3% розчинних солей.

Просадність обумовлюється групою факторів, які можна розділити на зовнішні, що впливають на породу ззовні, і внутрішні, які є результатом генезису і постгенетичних процесів.

За даними досліджень А.К.Ларіонова висловлена така точка зору: хіміко-мінералогічний склад є фактором просідання в загальному ряді інших причин, що викликають це явище, таких, як структурні особливості льосових порід, їх сольовий склад, кількість глинистих частинок і т.п.

Вологість льосових ґрунтів визначається в момент проведення вишукувальних робіт і є одним з найважливіших показників при визначенні властивостей глинистих ґрунтів. Величина вологості залежить від ряду факторів, з яких найважливішими є: 1) кліматичні особливості даного району; 2) рельєф місцевості; 3) глинистість льосових порід; 4) склад мінералів глинистих фракцій; 5) глибина залягання ґрунтових вод; 6) умови конденсації пари в льосовій товщі і т.п.

2.3 Сучасні геологічні процеси у льосових породах надзаплавних терас

Екзогенні процеси і викликані ними явища. Природні геологічні процеси є результатом геологічної роботи води, льоду, вітру, гравітації. Всі геологічні процеси, які впливають на інженерні споруди (на вибір конструкції і тип фундаменту, на вибір способу виробництва робіт) та, відповідно, вплив інженерних споруд на існуючу геологічну обстановку вивчає наука геодинаміка. Виняткову роль відіграють підземні води у виникненні таких геологічних процесів, як суффозія, карст, пливуні і

просадки льосових порід. Необхідно усвідомити, що вплив гідродинамічного тиску потоку підземних вод на природні схили, борта кар'єрів і укоси котлованів не тільки зменшує їх стійкість, але і в певних випадках призводить до суфозії - механічного виносу потоком підземних вод дрібних частинок, утворення пустот, внаслідок чого ще більше порушується стійкість схилу.

Інженерно-геологічні (антропогенні) процеси і явища. Інженерно-геологічні (антропогенні) процеси пов'язані з інженерною діяльністю людини. Прикладом можуть служити: деформації штучних укосів, зрушення гірських порід над гірничими виробками, ущільнення порід в області будівництва, просадні явища в льосах, внаслідок витоків води з водопроводів і т.д. Слід чітко засвоїти, що для нормальної експлуатації і збереження споруд необхідний правильний кількісний прогноз можливості розвитку інженерно-геологічних процесів і що недооблік впливу цих процесів вкрай небезпечний і дуже часто викликає руйнування споруд.

Студенту вкрай важливо ознайомитися з існуючими сучасними заходами, що виключають або зменшують шкідливі впливи інженерно-геологічних процесів при будівництві та експлуатації різних споруд.

Просадні процеси. Осідання льосу і льосовидних суглинків, які відбуваються під впливом тиску від власної ваги порід, можна розглядати як геологічний процес самоущільнення порід, які опинилися в нових умовах - підвищеної вологості.

Осідання льосу і льосовидних суглинків в залежності від джерела надходження води можуть бути розділені на дві групи. До першої групи можна віднести природні просадки, що викликаються інфільтрацією атмосферних опадів і проявляються, наприклад, в формуванні степових блюдець. До другої - просадки штучні, що виникають в результаті інфільтрації води з каналів, котлованів і т.д., тобто в безпосередньому зв'язку з інженерною діяльністю людини.

Ерозійні явища. Геологічна ерозія - повільний процес змиву частинок з поверхні ґрунту, покритою природною рослинністю. При цьому втрата ґрунту відновлюється в ході ґрунтоутворення, і практично така ерозія шкоди не приносить.

Ерозія ґрунту це природний процес, який залежить від клімату, рельєфу і природи самого ґрунту. При наявності постійного і не порушеного рослинного покриву ерозія протікає більш-менш поступово і врівноважується ґрунтоутворювальним процесом. При відсутності рослинного покриву ерозія прискорюється. Площі, які за кліматичними або топографічними умовами не мають постійного рослинного покриву, як, наприклад, у Великому Каньйоні, піддаються «геологічній» ерозії. Геологічні умови, що впливають на розвиток ерозії, в основному визначаються ступенем опірності ґрунтів і порід розмиваючої дії води і розвіювання вітром.

Механічна суфозія, внутрішній розмив. Підземні води в своєму русі діють на породи, що вміщують, механічно і хімічно. При цьому частинки породи виносяться, а поверхня землі, над порожнечами осідає. Процес виносу часток породи, що викликає осідання поверхні землі в даних умовах, називається суфозія. До теперішнього часу явище суфозія ще мало вивчено. Однак спостереження і експерименти, проведені багатьма вченими, дозволяють зробити деякі висновки.

Гірські породи (ґрунти), що зазнають суфозію, водонасичені, і можливість винесення окремих частинок визначається їх розмірами, мінералогічним складом, швидкістю фільтрації води, що рухається і величиною гідродинамічного тиску. Так як процес суфозії полягає в перенесенні дрібних частинок породи через пори між великими частками, то велике значення мають розмір пор. Незалежно від причин виникнення або розвитку, суфозія - карстові процеси відносяться до природних явищ. Вони становлять небезпеку для будь-якого виду будівель, так як є ризик просідання ґрунту, в тому числі і під впливом ваги будівлі або споруди.

Процес розмиву особливо інтенсивно протікає в місцях наявності великих порожнеч. Там відбувається завихрення водного потоку, що тягне стрімке вимивання слабо пов'язаних елементів. Найчастіше це спостерігається в пилюватих складах льосів. Починається процес вимивання у обривистих берегів або ухилів каналів. Швидкість потоку збільшується, створюючи високий градієнт фільтрації низхідним рухом.

Хімічна суфозія - вилуговування і винесення в розчиненому вигляді водорозчинних мінералів і гірських порід. Механічна суфозія в природних умовах відбувається досить рідко і відзначається в бортах ярів і річкових берегах.

При різкому скиданні паводкових вод рівень підперті водоносного горизонту (РГВ) знижується значно повільніше, утворюється крута депресійна крива ГВ і створюється гідродинамічний тиск, спрямований в бік схилу. На поверхні може утворитися суфозійна воронка внаслідок виносу частинок і осідання вищезалігаючого ґрунту (див. рис.2.1).

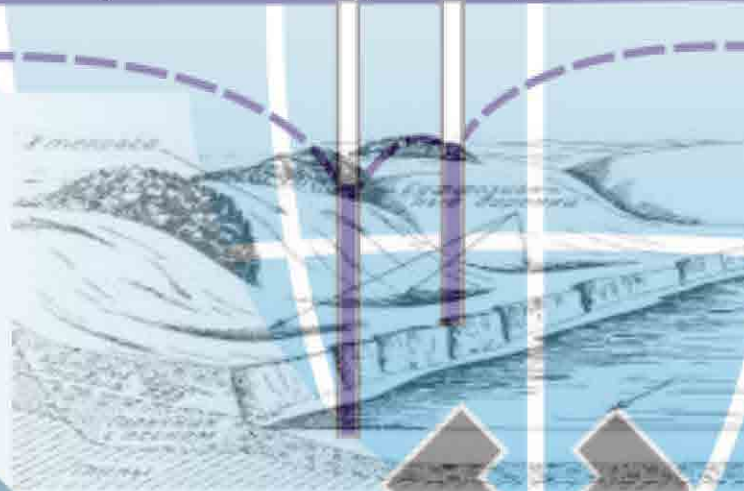


Рисунок 2.1 – Формування суфозійних воронок

Необхідно підкреслити, що внаслідок виносу часток в гірській породі утворюються порожнечі, зростає швидкість потоку, починають виноситися більші частки і т.д. Таким чином, виник в масиві гірських порід або в тілі греблі процес механічної суфозії, якщо не вживати заходів щодо його усунення, буде прогресувати з часом. Хімічна суфозія спостерігається в тих випадках, коли на шляху води є розчинні в ній речовини.

Обводнення і підтоплення. Внаслідок значного підвищення рівня підземних вод і природної вологості ґрунтів, спостерігається процес

деградації льосів (зміна фізико-механічних властивостей) і перехід в водонасичений стан, в результаті чого, майданчики будівництва можуть бути представлені повністю водонасиченими або неоднорідними підставами, з високим заляганням усталеного рівня підземних вод (далі УПВ).

У практиці експлуатації промислових і цивільних споруд, збудованих на льосі і льосовидних суглинках, прийнято зважати на два джерела можливого зволоження порід основ: 1) надходженням атмосферних опадів; 2) проникненням води за рахунок втрат у виробничому процесі і витоків з водопровідних і каналізаційних систем. Заходи по боротьбі з можливим надходженням таких вод насамперед в забезпеченні найкращих умов для швидкого стоку атмосферних опадів в межах забудованої території і в запобіганні можливості інфільтрації води в породи підстав споруд.

Вплив атмосферних опадів і витоків з водопроводу і каналізації на режим вологості порід і положення рівня ґрунтових вод посилюється тим, що зволожена товща порід виявляється під спорудами, вкривають її від впливу сонячних променів і від провітрювання. У цих умовах вода не випаровується і тому її кількість з часом може зростати [10, 38].

Додаткові опади споруд, збудованих на льосі і льосовидних суглинках порівняно малої вологості, починаються в процесі інфільтрації води (проникнення атмосферних і поверхневих опадів і вод в ґрунт) в товщу порід і закінчуються після підйому рівня ґрунтових вод, що є наслідком цієї інфільтрації.

3. АНАЛІЗ ОСНОВНИХ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ПРОСАДНІСТЮ ЛЬОСОВИХ МАСИВІВ

Відповідно до Державних будівельних норм (ДБН) при проектуванні будівель та споруд повинна розглядатися необхідність застосування заходів трьох типів:

- 1) щодо запобігання погіршення властивостей ґрунтів основи;
- 2) заходів, спрямованих на перетворення будівельних властивостей ґрунтів;
- 3) конструктивних заходів, що зменшують чутливість споруд до деформацій основи.

Вибір одного або комплексу цих заходів повинен проводитися з урахуванням вимог забезпечення надійного, запланованого функціонування об'єкта, що проектується.

До заходів, що оберігають ґрунти основи від погіршення їх властивостей, відносять:

а) водозахисні заходи на площадках, складених ґрунтами, чутливими до зміни вологості (відповідне компонування генеральних планів, вертикальне планування території, що забезпечує стік поверхневих вод, пристрій дренажів, протифільтраційних завіс та екранів, прокладання водоводів у спеціальних каналах або розміщення їх на безпечних відстанях від споруд, контроль за можливими витокami води тощо);

б) захист ґрунтів основи від хімічно активних рідин, здатних призвести до просідання, набухання, активізації карстово-суффозійних явищ, підвищення агресивності підземних вод, обмеження джерел зовнішніх впливів (наприклад вібрацій), і вологості ґрунтів, дотримання технології улаштування основ, фундаментів, підземних і надземних конструкцій, що не допускає зміни прийнятої в проекті схеми та швидкості передачі навантаження на основу, особливо за наявності в основі повільно консолидованих ґрунтів тощо.

Зміна будівельних властивостей ґрунтів основи (влаштування штучних основ) досягається:

а) ущільненням ґрунтів (трамбуванням важкими трамбовками, влаштуванням ґрунтових паль, витрамбовуванням котлованів під фундаменти, попереднім замочуванням ґрунтів, використанням енергії вибуху, глибинним гідровіброущільненням, вібраційними машинами, катками тощо);

б) повною або частковою заміною в основі (у плані та по глибині) ґрунтів з незадовільними властивостями подушками з піску, гравію, щебеню тощо;

в) влаштуванням насипів (відсипанням або гідронамиванням);

г) закріпленням ґрунтів (хімічним, електрохімічним, бурозмішувальним, термічним та іншими способами);

д) введенням у ґрунт спеціальних добавок (наприклад, засоленням ґрунту або просоченням його нафтопродуктами для ліквідації пучинистих властивостей);

е) армуванням ґрунту (введенням спеціальних цпівок, сіток тощо).

Конструктивні заходи, що зменшують чутливість споруд до деформацій основи, включають:

а) раціональне компонування споруди у плані та за висотою;

б) підвищення міцності та просторової жорсткості споруд, що досягається посиленням конструкцій, особливо конструкцій фундаментно-підвальної частини, відповідно до результатів розрахунку споруди у взаємодії з основою (введення додаткових зв'язків у каркасних конструкціях, влаштування залізобетонних або армокам'яних поясів, розрізання споруд на відсіки тощо);

в) збільшення податливості споруд (якщо це дозволяють технологічні вимоги) за рахунок застосування гнучких чи розрізних конструкцій;

г) влаштування пристроїв для вирівнювання конструкцій споруди та рихтування технологічного обладнання [33].

Перше з цих процесів – усунення просадних властивостей льосових порід – використовується найширше і здійснюється методами технічної меліорації ґрунтів. Вони можуть бути використані при управлінні

просадочністю і в межах верхньої частини масиву (ущільнення важкими трамбовками, влаштування ґрунтових подушок, витрамбовування котлованів, у тому числі з використанням розширення з жорсткого матеріалу, хімічне або термічне закріплення), і в межах усієї товщі (глибинне ущільнення, попереднє замочування ґрунтів основи, у тому числі з глибинними вибухами, хімічне або термічне закріплення та ін.).

3.1. Класифікація методів керування просадністю масивів льосових порід

Ю.М. і М.Ю.Абелеви у книзі «Основи проектування та будівництва на просадних макропористих ґрунтах» відокремили та описали наступні методи усунення просадних властивостей льосових ґрунтів:

- 1) механічне ущільнення ґрунтів як у межах деформованої зони основи, так і в межах усієї товщі просадного ґрунту;
- 2) хімічне закріплення ґрунтів шляхом штучного створення водостійких сил зчеплення між частинками ґрунту;
- 3) термічна обробка ґрунтів у природному заляганні з метою отримання водостійких сил зчеплення внаслідок оплавлення окремих мінералів, що входять до складу скелета ґрунту;
- 4) ущільнення ґрунту фізико-механічними способами - глинізацією та ін., і було відзначено, що найбільш широко застосовуються методи механічного ущільнення ґрунту.

Найбільш детально це питання було розглянуто В. П. Ананьєвим у книзі «Технічна меліорація льосових ґрунтів». Його погляд представлено у додатку 1 до даної дипломної роботи. Їм також оцінено ефективність методів поліпшення льосових ґрунтів першого (I) та другого (II) типу за просадочністю (додаток 2).

Однак і ці досить об'ємні побудови, що систематизують методи поліпшення властивостей льосових порід методами технічної меліорації, не охоплюють всього комплексу методів керування просідання масивів цих порід. С.В. Воронкевич (1989), у зв'язку з цим, поряд з механічним

ущільненням та фізико-хімічними типами методів боротьби з просадністю виділив у їх ранзі армування ґрунтів, назвавши їх у роботі 1991 р. гідрогеомеханічною, геохімічною [6] та геотехнічною групами методів технічного захисту ґрунтів відповідно. Методи управління інших напрямів (зрізання просадного льосового ґрунту, водозахисні заходи та ін.) і в цих пропозиціях не знайшли відображення [6, 24, 28].

3.2. Методи механічного ущільнення просадних льосових порід

Механічне ущільнення льосових порід – найбільш широко використовувані та дієві методи покращення їх інженерно-геологічних властивостей. Ущільнення обумовлює процес руйнування природної та формування нової будови льосових порід, що характеризується зниженням пористості та збільшенням числа контактів між мінеральними частинками за рахунок їх перерозподілу у ґрунтовому масиві.

Штучне ущільнення льосових порід широко застосовується у дорожньому, гідротехнічному, промислово-цивільному будівництві. Широкому використанню цього способу сприяє порівняно просте виконання робіт та їх низька вартість.

Ущільнення важким трамбуванням. Цей спосіб є найбільш поширеним для усунення просадності та підготовки основ будівель та споруд, особливо у промислово-цивільному будівництві. ДБН цей спосіб рекомендують як один з основних методів усунення просадних властивостей льосових порід.

Трамбування буває дещо утруднене поблизу існуючих будівель внаслідок виникнення пружних коливань, але воно цілком можливе, якщо кількість ударів при найменшій величині поверхні, що трамбується, невелика (два-три удари), вага трамбування не перевищує 3,5 т і діаметр робочої поверхні - 1,5 м.

Різновид способу трамбування - витрамбовування котлованів (траншей). Ущільнення льосових порід проводиться не на дні котловану, а з рівня денної поверхні. При витрамбовуванні утворюється котлован, дно

якого містить ущільнений шар породи (до глибини 1,7 діаметра трамбування). У цьому шарі ліквідуються просадні властивості. Витрамбування котлованів (траншей) значно зменшує обсяг земляних робіт за рахунок зменшення на 0,6–1,2 м глибини котловану та скорочення на ту саму «відкидку висоти його засипки».

Віброущільнення. Ущільнення проводиться шляхом неодноразового пропускання вібромашин різної конструкції на поверхні порід, які попередньо зволожуються до оптимальної вологості. Спосіб прийнятний в основному для просадних порід I типу при малопотужних товщах просідання. Ефект ущільнення загалом незначний, через що цей метод широко не застосовується.

Створення подушки із льосових ґрунтів. Це один з найпоширеніших методів підготовки основ, заснований на заміні просадних льосових ґрунтів. Подушка є ущільненим шаром ґрунту з місцевого льосовидного суглинку. Товщина ущільненого шару може бути від 1 до 4 м. Для створення такого шару спочатку проводиться виїмка котловану на необхідну глибину. На дно котловану шарами (25–30 см) укладається обраний раніше льосовидний суглинок без гумусових домішок та рослинних решток. Зволоження ґрунту до оптимальної вологості проводиться попередньо або після відсипання його в котлован. За оптимальної вологості кожен шар ущільнюється механізмами укатки або трамбуванням [2, 3].

Ґрунтові подушки доцільні для ґрунтів I типу просідання. Товщина подушок призначається таким чином, щоб повний тиск на нижньому їх урізі був меншим за початковий просадний тиск для льосового ґрунту даного майданчика. Це повністю усуває можливість прояву просідань. Для ґрунтів II типу просідання ґрунтові подушки доцільні лише в поєднанні з глибинним ущільненням (закріпленням) льосових просадних товщ (попереднє замочування, ґрунтові палі тощо).

Ущільнення вибухами. Його здійснюють вибухом камуфлетних чи подовжених зарядів.

Вибухи камуфлетних зарядів здійснюються за наступною технологією. У масиві льосових порід проходять свердловину необхідної глибини (найчастіше 3-6 м), що залежить від потужності просадної товщі. У вибої свердловини розміщується вибуховий заряд. Після цього свердловина заповнюється бетоном. Після вибуху у нижній частині свердловини утворюється розширення з ущільненими стінками, частково заповнене бетоном. Радіус розширення досягає в середньому 1 м. Після цього проводиться остаточне заповнення свердловини сумішшю піску та цементу.

Цей спосіб успішно застосовується при будівництві житлових та промислових будівель. Він найбільш прийнятний для льосових ґрунтів І типу просідання при потужності шару ґрунтів просадки більше 3 м.

Вибухи подовжених зарядів здійснюються в свердловинах заданої глибини, в яких розміщують заряди розрахункової маси і довжини. До вибуху свердловину рекомендується наповнювати цементним розчином. Її заповнюють ущільненим ґрунтом, бетоном та ін.

Цей метод ефективніший за ущільнення ґрунту зосередженими зарядами. Областями застосування методу можуть бути льосові ґрунти І і ІІ типу просадності [1, 3, 5].

Підкреслимо, що при використанні вибухів відбувається не тільки ущільнення ґрунту просадки в масиві, але і утворення порожнин. Їх заповнюють матеріалом із заданими характеристиками міцності, що призводить до армування масиву льосових порід.

Гідравлічне ущільнення. Сутність методу ось у чому. У масиві просадного льосового ґрунту бурять свердловину. У неї опускається труба діаметром 100-150 мм із попередньо одягненим гумовим шлангом. У простір між ними нагнітається вода під тиском до 10 кгс/см² і вище. Під тиском шланг розширюється (рис. 3.1) та ущільнює навколишній ґрунт. За обсягом закачаної води визначається розмір порожнини, утвореної за рахунок розширення шланга, та ступінь ущільнення ґрунту. Після

вилучення труби в свердловину подається під тиском 2-3 атм піщана пульпа або піщана маса з добавкою 10% суспензії бентонітової глини, яка формує ґрунтову палю.

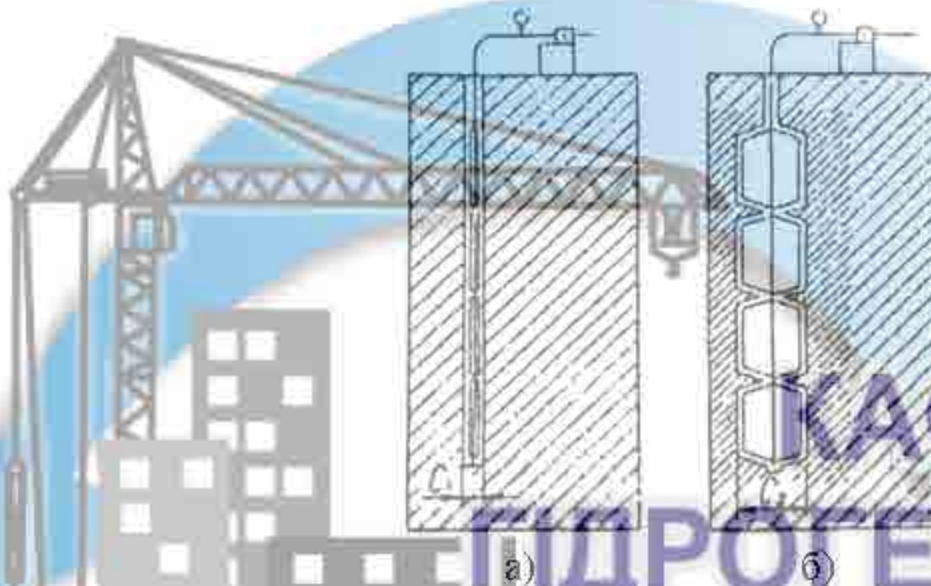


Рисунок 3.1 – Схема зміцнення гідравлічними ущільнювачами ґрунту в свердловинах з розширенням їх діаметра (за І.М. Літвіновим, 1969): а – до ущільнення; б – після ущільнення

Ущільнення котками. Цей метод широко використовується при зведенні гребель, дамб, насипів, земляного полотна. У дорожньому, аеродромному та підротехнічному будівництві використовуються котки різних конструкцій (гладкі, кулачкові, на пневматичних шинах та ін.), а також важкі автомашини. Величина ущільнення насипної льосової породи визначається заздалегідь залежно від необхідних характеристик міцності, стисливості і водопроникності ущільненого шару. Ущільнення котком можливе при вологості насипної породи, близької до оптимальної.

Ковзанки використовуються в основному для пошарового ущільнення насипних льосових порід з потужністю шару в 35-45 см. Потужність шару та його наступна щільність залежать від кількості проходок, ваги та конструкції ковзанок. Найбільш ефективні ковзанки на пневмошинах.

3.3. Методи гідромеханічного усунення просідання масиву льосових порід

У методах цього виду усунення просідання масиву льосових порід обов'язкове використання води. Її гідростатичний, гідродинамічний і фізико-хімічний вплив на ґрунти обумовлює, спільно з іншими діючими силами (гравітаційними, динамічними тощо), процес його перебудови формуванням більш щільної будови та стійкішого стану. Замочування льосових товщ здійснюється різними способами: наливом, нагнітанням під тиском, нагрітими водами та ін.

Замочування масивів просадних льосових порід водою. Цей метод широко використовується. При замочуванні під впливом власної ваги товщі чи додаткових напруг відбувається порушення структури льосових порід і вони ущільнюються. Процес ущільнення протікає досить довго (від 2 до 6 місяців), залежно від літологічного складу та структури порід.

Замочування товщ льосових порід може здійснюватися різними методами: заливкою котлованів водою, зволоженням товщі водою через спеціально пробурені свердловини, виконуватися як попереднє, під час будівництва, або під зведеними будівлями і спорудами.

Попереднє замочування масиву льосових порід здійснюється до початку будівництва і полягає в насиченні товщі льосових порід водою з метою подальшого їх ущільнення. Воно здійснюється заливкою водою котлованів, через свердловини або поєднанням котловану та свердловин.

Попереднє замочування використовується в районах нового будівництва та на ділянках міських територій, віддалених від раніше збудованих будівель. Це зумовлено розтіканням води в сторони при замочуванні ґрунтових товщ, що може негативно позначитися на раніше збудованих будинках. Для орієнтування прийнято вважати, що ділянки замочування повинні знаходитися від існуючих будівель на відстані не менше триразової величини потужності зони просадних порід за наявності

водоупору під льосовими товщами та півторакратної – за відсутності водотриву.

Замочування потужних товщ просадних льосових порід здійснюється через свердловини. Це призводить до скорочення загального часу замочування на 10-15 днів і збільшує просідання ґрунту на 15-20%.

У практиці робіт також використовують *гідробуріння (розмив)*. У порівнянні з бурінням свердловин шнековим способом це дешевше, вчетверо швидше, вдвічі збільшується водопоглинання через стінки свердловин.

Замочування товщ просадних льосових порід під будинками дозволяє ущільнювати льосові породи та усувати їх просадні властивості за рахунок зволоження та впливу на породи ваги будівель (споруд) та власної ваги породи. Цей спосіб застосовується для порід I і II типу, але за таких умов:

- 1) льосові породи в товщі повинні бути однорідними за просадними властивостями;
- 2) товщина просадної зони однакова під усією площею будівлі;
- 3) конструкція будівлі має бути однаковою за просторовою жорсткістю.

Замочування льосових товщ у цей спосіб здійснюється через дренажну систему. Для порід I типу використовується горизонтальний дренаж, який закладають під подошви фундаментів або біля поверхні землі в межах деформованої зони, для порід II типу - комбінація дренажів глибинного і поверхневого замочування.

Просадні породи I типу ущільнюються під дією ваги будівлі і породи тільки в межах зони, що деформується. У породах II типу ущільнення відбувається практично за всією глибиною зони просадки.

Замочування льосових товщ із попереднім вибухом використовується при слабких або нерівномірно фільтруючих воду льосових породах, особливо на глибинах понад 6 м. Такі умови ускладнюють рівномірне замочування товщі. З метою поліпшення умов замочування товщі її попередньо розпушують вибухами. Для цього буряться свердловини на глибину близько $\frac{3}{4}$ потужності просадного шару. Після вибуху товща

розбивається тріщинами та її фільтруюча здатність зростає у 8–10 разів [2, 3, 22].

Ущільнення вибухами попередньо замоченого масиву просадних льосових порід. Воно здійснюється так званими «підводними вибухами», «вибухами у свердловинах» та комбінуванням цих способів.

Підводні вибухи в котлованах (каналах) здійснюються в котлованах, заповнених водою, і використовуються в промислово-цивільному будівництві та в гідротехніці при зведенні будівель та споруд на просадних товщах льосових порід II типу.

Методика проведення ущільнення льосових порід цим способом така. Будівельний котлован (або канал) наповнюється водою. Льосова порода замочується, міцність її структури поступово слабшає. Після цього рівень води у котловані піднімають до проектної позначки. Вибух здійснюється у водному середовищі. Вибухова речовина розміщується на висоті 0,5 м від дна котловану (каналу) під шаром води в 1-1,5 м. Найбільший ефект від вибуху виходить при ступені вологості порід, що дорівнює 0,7-0,8. Після вибуху порода ущільнюється і дно котловану осідає (рис. 3.2). Ущільнення порід відбувається на значну товщину (приблизно до 5-7 м); і до глибини 2 м і більше вони практично повністю втрачають просадні властивості.

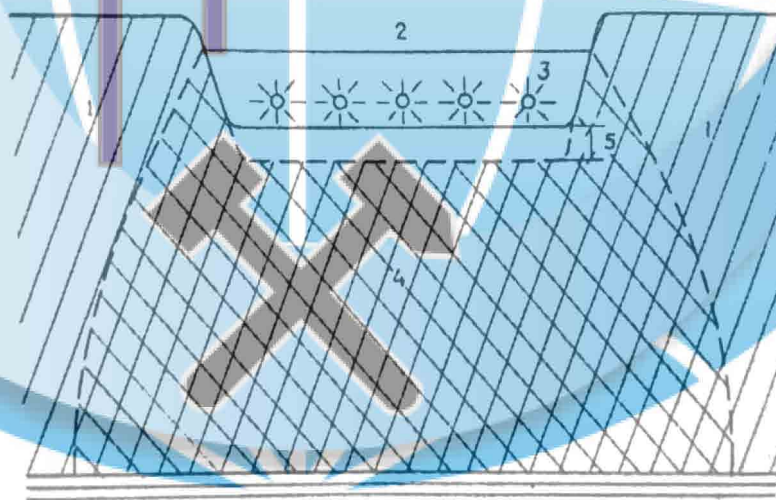


Рисунок 3.2 – Ущільнення льосових ґрунтів підводним вибухом: 1 – просадний льосовий ґрунт; 2 – котлован із водою; 3 – вибухові заряди; 4 – ущільнений ґрунт; 5 – величина осідання дна котловану

За допомогою вибуху можна виконувати двошарове ущільнення. При використанні цієї технології спочатку підводним вибухом ущільнюються ґрунти у дні котловану. Потім на дно шаром 1-2 м насипається місцевий льосовидний суглинок. Цей ґрунт ущільнюється повторним підводним вибухом.

Спосіб підводних вибухів дозволяє виключити сезонність робіт, що скорочує час на ущільнення порід. Він застосовується переважно на незабудованих ділянках й на віддаленні від існуючих будівель [2, 3, 4].

Глибинні вибухи в свердловинах попередньо замоченого масиву просадочних льосових порід застосовують і на незабудованих територіях, і на відносно вільних ділянках забудованих районів у масивах з великою просадковою зоною (до 50 м). Часто цей метод називають "прискореним методом ущільнення". Усунення просадочності товщі льосових порід обумовлено ущільненням замочування та енергією вибуху.

Ділянка, що ущільнюється, огорожується контурними траншеями (рис. 3.3) шириною 0,2-0,3 м і глибиною до 6 м. Вони усувають зв'язок між ґрунтами ділянок, що замочують і незамочуються, тобто виконують роль осадочних швів.

Глибинні вибухи в масиві попередньо зволоженого масиву льосового ґрунту можуть здійснюватися різними способами. Найчастіше використовують камуфлетні вибухи. Проте застосовують і вибух ланцюжка набоїв. Найбільш ефективним є застосування гідровибухового методу для ущільнення однорідних льосових порід великої потужності, які мають гарну водопроникність (коефіцієнт фільтрації 0,5–1,0 м/добу). І тут після вибухів відбувається опускання поверхні дна котловану на глибину до 2,5–3 м. Комбіновані вибухи використовують у льосових ґрунтах II типу просідання. Сутність методу полягає в ущільненні замочених просадочних ґрунтів глибинними вибухами у свердловинах та вибухами під водою на дні будівельного котловану. У певних умовах це забезпечує повне усунення просідання і необхідне ущільнення ґрунтів по всій глибині зони просадки [21].



Рисунок 3.3 – Характер деформацій ґрунту при ущільненні просадних ґрунтів замочуванням звичайним способом (а) та прискореним ущільненням масиву просадних ґрунтів глибинними вибухами попередньо замоченого масиву (б): А – ділянка, що ущільнюється; Б – неуцільнювані ґрунти; П – просадний ґрунт у незамоченій зоні; П_о – просадний ґрунт у замоченій зоні; Д – контурні траншеї; С – дренажні свердловини; С₁ – вибухові свердловини; К – заряди вибухової речовини; В – вода; М – границя зони замоченого ґрунту; Т – тріщини в ґрунті; Н – непросадний ґрунт

Глибинні вибухи в масиві попередньо зволоженого масиву льосового ґрунту можуть здійснюватися різними способами. Найчастіше використовують камуфлетні вибухи. Проте застосовують і вибух ланцюжка набоїв. Найбільш ефективним є застосування гідровибухового методу для ущільнення однорідних льосових порід великої потужності, які мають гарну водопроникність (коефіцієнт фільтрації 0,5–1,0 м/добу). І тут після вибухів відбувається опускання поверхні дна котловану на глибину

до 2,5–3 м. Комбіновані вибухи використовують у льосових ґрунтах II типу просідання. Сутність методу полягає в ущільненні замочених просадних ґрунтів глибинними вибухами у свердловинах та вибухами під водою на дні будівельного котловану. У певних умовах це забезпечує повне усунення просідання і необхідне ущільнення ґрунтів по всій глибині зони просадки [21, 24].

Віброущільнення попередньо замочуваного масиву просадних льосових порід. Цей метод служить для швидкого руйнування та ущільнення структури порід під дією води та подальших вібраційних навантажень. Віброущільнення здійснюється спеціальними вібраторами у вертикальному або горизонтальному напрямку. Товща порід швидко ущільнюється і втрачає просадні властивості. Спосіб застосовується для II типу товщ льосових порід.



Рисунок 3.4 – Схема уцілювання просадного льосового ґрунту попереднім замочуванням та вібраціями: 1 – границя зони замочування; 2 – стійка площинного віброштампу спрямованої дії; 3 – робоча частина

віброштампа (скошена під кутом α), що спрямовує потік вібрацій у заданому напрямку K ; 4 – сильний віброзанурювач [21, 25].

Пропарювання масиву просадних льосових порід. Цей метод заснований на реалізації просідання льосових ґрунтів при обробці їх перегрітою парою. Нагнітання здійснюється через перфоровані труби-ін'єктори, що занурені в масив. Цей метод дозволяє, за Г.М. Вариниченком, усувати просідання в нижніх шарах льосових порід II типу просідання. Він застосовується в природних умовах при будівництві в літній та зимовий час. Їм можна усувати просідання до початку будівництва, в період будівництва (під вагою будівлі та ваги ґрунту) та в період експлуатації об'єктів, наприклад, вирівнювання кренів будівель та споруд.

3.4. Методи термічного усунення просідання масиву льосових порід

Методи цього виду використовують часто. Їх використовують і при будівництві нових будівель, і при ліквідації аварійних осідань раніше побудованих на льосових породах будівель та споруд.

При термічній обробці льосових порід відбувається поступова зміна їх фізико-механічних властивостей. Вона залежить від втрати пов'язаної води, агрегування частинок, спіканням елементів породи з їх подальшим плавленням та утворенням нових мінеральних комплексів та перекристалізацією. Ці процеси в залежності від температури і часу її впливу призводять до часткової або корінної зміни властивостей ґрунту.

Підвищення температури до $300-400^{\circ}\text{C}$ може призвести тільки до прогріву ґрунтів, тобто до часткової зміни їх властивостей за рахунок видалення зв'язаної води, зміни та часткового згоряння органіки, окислення закисних форм заліза, дегідратації гідратних форм заліза та гіпсу тощо. Підвищення температури до $600-800^{\circ}\text{C}$ і більше призводить до докорінної зміни властивостей льосів за рахунок видалення хімічно зв'язаної води, процесів спікання, плавлення та перекристалізації.

Нагнітання в масиви просадних льосових порід попередньо нагрітого повітря. Даний метод був запропонований Н.А. Осташевим та здійснюється за схемою, показаною на рис. 3.5а. У свердловини гаряче повітря, попередньо нагріте в стаціонарних або пересувних нагрівальних агрегатах до $600-800^{\circ}\text{C}$, нагнітається по жаростійких трубопроводах. Радіус закріплення навколо свердловини становить 1-3 м.



Рисунок 3.5 – Схеми установок для термічного усунення просадності порід. а – за першим способом (нагнітання в ґрунт попередньо нагрітого на поверхні повітря): б – за другим способом (спалювання палива безпосередньо в товщі ґрунту, що зміцнюється, в герметично закритих зверху свердловинах); 1 – компресор, 2 – трубопровід холодного повітря; 3 – агрегат для підігріву повітря; 4 – термоізолюваний трубопровід із жаростійкої сталі; 5 – затвор; 6 – свердловина; 7 – зона термічно укріпленого ґрунту; 8 – ємність для рідкого або газоподібного пального; 9 – насос для подачі в свердловини палива під тиском, 10 – форсунка; 11 – герметично закритий зверху затвор з камерою згорання.

Метод не набув поширення внаслідок дуже малої ефективності та високої вартості. Ціна 1 м^3 укріпленого в такий спосіб ґрунту значно перевищувала за методом І. М. Літвінова, вартість 1 м^3 залізобетону, а час,

необхідний для зміцнення, не вкладався у реальні строки при будівництві [21, 29, 30].

Нагнітання і спалювання палива в зміцнюваному масиві просадних льосових порід. При цьому методі, запропонованому І.М. Літвіновим, зміцнення порід досягається спалюванням палива, що дає високі температури (до 2000°C) безпосередньо в товщі порід, що зміцнюються. Пальне нагнітають у свердловини діаметром 100-200 мм (див. рис. 3.5 б) і спалюють під надлишковим тиском 0,015-0,05 МПа. В якості пального застосовують гази (природний, генераторний, коксовий та ін), рідке паливо (солярне масло, нафту), а також тверде пилоподібне паливо (кокс).

Крім повітря, необхідного для процесу згоряння палива, у свердловину подають додатково холодне повітря для регулювання температури продуктів горіння. За цією технологією льосову породу можна обпалювати у вертикальних, похилих та горизонтальних свердловинах (рис. 3.6).

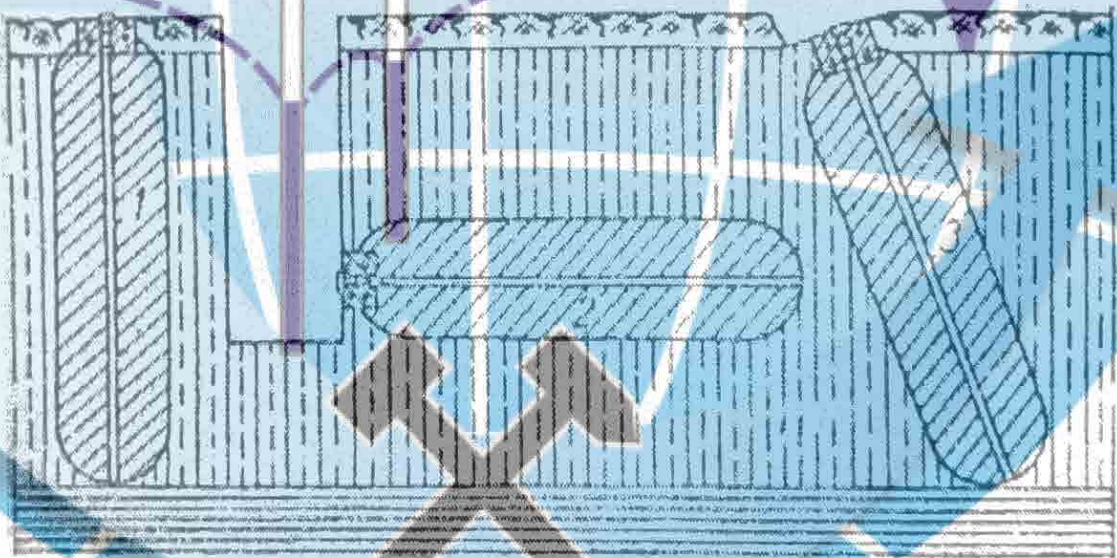


Рисунок 3.6 – Можливе розміщення свердловин для термічного закріплення ґрунтів (за І.М. Літвіновим, 1969): 1 – вертикальне; 2 – горизонтальне; 3 – похиле

Час термічної обробки ґрунту при температурі 1200-1400° С досягає 5-10 і більше діб і істотно впливає на його міцність у 3 м від свердловини і на глибину 10-15 м. Термічно зміцнені ґрунти стають цегляноподібними, повністю втрачають свої просадні властивості, їхня несуча здатність підвищується. Тому термічно укріплені масиви слід створювати з урахуванням відповідного підвищення допустимих тисків на зміцнені зони ґрунту (як на куцтові палі), залишаючи при цьому проміжки неукріпленого ґрунту (до 66 % загальної площі основи).

Для збільшення ефекту термічного зміцнення просадних льосових порід в розпечені продукти згоряння або попередньо прогріту породу вводять хімічні добавки в твердому, пиллоподібному, рідкому, пароподібному і газоподібному стані. Внаслідок впливу на породи розпечених газоподібних продуктів горіння та хімічних добавок досягається і термохімічне зміцнення порід.

Характер і інтенсивність зміни складу і властивостей термозміцнюваних порід визначаються їхньою віддаленістю від свердловини. Найбільш віддалені від свердловини ділянки, де температура вбирається у 100–300° С, характеризуються як зона прогріву. Ділянки, що прилягають безпосередньо до свердловини, потрапляють у зону випалу. Між ними знаходиться перехідна зона, яка носить межі обох зон. Ширина зон та їх віддаленість від оброблюваної свердловини залежать від температури термообробки та інженерно-геологічних особливостей оброблюваного масиву, що контролюють пористість, вологість, теплопровідність порід [6, 8].

Термічну обробку рекомендується проводити для льосових ґрунтів I і II типу просідання. Найбільш доцільно ґрунти обпалювати до непросадного підстилаючого шару. Добрий ефект випал дає при зміцненні льосових основ будівель, що отримали деформації внаслідок просадного процесу, нерівномірних осідань, що розвиваються. До недоліків слід віднести досить складне устаткування й проблеми контролю над якістю випалу ґрунту.

3.5. Методи фізико-хімічного ін'єкційного зміцнення масивів льосових порід

Фізико-хімічна меліорація заснована на комбінованому (послідовному або паралельному) впливі фізичних та хімічних засобів на ґрунтові системи. Введення в ґрунт хімічно активних речовин, здатних як внаслідок власних перетворень, так і взаємодії з компонентами ґрунту до утворення цементуючих гелів та опадів, призводить до формування міцних та водостійких агрегатів та просторових структур у масивах льосових порід.

Ін'єкційний процес уявляє собою напірне впровадження (нагнітання) в масив ґрунтів ін'єкційних розчинів (суспензій, розчинів та ін), що забезпечують поліпшення необхідних характеристик цього масиву. Ця технологія в даний час реалізується у вигляді чотирьох модифікацій:

- а) ін'єкції з однорідним просоченням ґрунту розчином;
- б) розривної ін'єкції, або капсулювання ґрунтів – нагнітання щодо густих суспензійних розчинів з розривом суцільності ґрунту та розповсюдження розчину по порожнинах гідророзривів;
- в) ущільнювальної ін'єкції, закачування густих суспензійних розчинів або швидкотвердних рецептур на основі синтетичних полімерів зі зміщенням ґрунту в сторони від точки ін'єкції та відповідним ущільненням навколишнього об'єму;
- г) струменевої технології розробки порожнини дією горизонтально спрямованого струменя рідини (води або протифільтраційного розчину) під високим тиском (до 70 МПа) та одночасному заповненні утворених порожнин матеріалом із необхідними властивостями [6].

Використання трьох останніх технологій істотно розширює коло ін'єкційних «розчинів» у порівнянні з їх сукупністю, яка традиційно використовувалася при ін'єкціях з однорідним просоченням ґрунтового масиву. Насамперед це відноситься до можливості ширшого застосування цементних суспензій для поліпшення властивостей дисперсних ґрунтів, у тому числі просадних льосових на базі так званих бурозмішувальних

технологій. Останні широко застосовуються при армуванні масивів просадних льосових порід [5,35, 37].

Для зміцнення масивів, що складені такими породами, найширше під час використання традиційних ін'єкційних технологій використовують силікатні розчини, а глинисті суспензії та синтетичні полімери застосовуються рідше.

Силікатизація масивів просадних льосових порід. Вона є одним з найбільш ефективних способів хімічного закріплення льосових ґрунтів, що забезпечує усунення їх просадних властивостей, водостійкість та підвищення механічної міцності.

Сутність методу полягає у введенні в льосовий ґрунт водного розчину силікату натрію (рідкого скла) $\text{Na}_2 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$. Завдяки пористій структурі льосових ґрунтів він поступово їх просочує. При взаємодії з лужним розчином силікату натрію відбувається обмінна реакція між катіоном натрію розчину і поглиненими катіонами кальцію льосового ґрунту. Витіснений кальцій утворює нерозчинну тверду фазу – високодисперсний гідрат окису кальцію. На ній адсорбується кремнієва кислота, внаслідок чого утворюються цементуючі новоутворення, що закріплюють ґрунт.

Однорозчинна силікатизація для боротьби з осіданням льосових порід була запропонована В.В. Аскалоновим. Спосіб заснований на нагнітанні через ін'єктори в масив порід силікатного розчину низької в'язкості (1,5-2 сП), що обумовлює їхню високу проникність в макропористі льосові породи. При цьому концентрація розчинів силікату натрію не перевищує 10-20%, а їх щільність коливається від 1,09 до 1,18 г/см³.

Газова силікатизація, як метод інтенсифікації однорозчинної силікатизації льосових порід з низькою ємністю обміну, і не містять гіпсу, був запропонований В.Є. Соколовичем і В.А. Губкіним в 1969 р. Технологічна схема силікатизації доповнюється обробкою невеликою кількістю вуглекислого газу або вже силікатизованого льосового ґрунту. Внаслідок активного поглинання силікатним розчином вугільної кислоти

відбувається підвищення радіусу закріплення ґрунту на 50–60 %. При цьому закріплення масиву відбувається із значно меншою витратою розчину силікату натрію [15, 21].

Силікатизація з використанням рідких інтенсифікаторів процесу використовується для зміцнення льосових порід з низькими значеннями водопроникності та невисокою фізико-хімічною активністю. Для цих цілей використовують додавання до розчину силікату натрію солей типу хлоридів натрію та калію, сульфатів та карбонатів натрію, введенням розчину аміаку, підвищенням модуля силікату, зокрема, добавками кремнефтористо-водневої кислоти, нагріванням розчинів силікату натрію та деякими іншими речовинами. Надзвичайно ефективні позитивні результати отримані при застосуванні інтенсифікаторів процесу силікатизації розчинів органічних речовин класу амідів, надсернокислого амонію, монофосфату амонію.

Одною із застосованих комбінацій є формахідсилікатний розчин, розроблений Т.Т. Абрамовою, С.Д. Воронкевичем у 1979 р., для приготування якого у водний розчин силікату натрію щільністю $1,13 \text{ г/см}^3$ із силікатним модулем 2,6–2,8 вводиться формахід або кубовий залишок від виробництва. У лужному середовищі формахід гідролізується до мурашиної кислоти та аміаку. Швидкість гідролізу та його глибина збільшуються з підвищенням температури. Мурашина кислота, пов'язуючи лужний компонент, утворює формиат натрію, чим зумовлюється процес поліконденсації кремнієвої кислоти та формування просторового силікатного гелю. Аміак, що виділяється в ході реакції, забезпечує високу лужність середовища, а присутність амонійного іона, що має значну енергію входження в поглинаючий комплекс, інтенсифікує перебіг фізико-хімічних реакцій з виходів гідратних вапняно-кремнеземистих і алюмосилікатних утворень. Виникнення таких сполук сприяє додатковій цементації ґрунту та підвищенню водостійкості гелю кремнезему.

Використання надсірчанокислого амонію для інтенсифікації процесу силікатизації низькоактивних льосових порід запропоновано С.Д. Воронкевичем, Х.Т. Абрамовою та Н.А. Ларіоною. При введенні

розчину цієї солі у водний розчин силікату натрію відбувається зв'язування натрію в сірчаноокислий натрій, утворення гідроксиду амонію та кремнієвої кислоти. Аміак, що виділяється, обумовлює підвищення ємності поглинання льосових ґрунтів, активізацію фізико-хімічних реакцій в системі, активну поліконденсацію кремінної кислоти і переведення її в гелеподібний стан, збільшення виходу з ґрунтів високодисперсної твердої фази гідрату окису кальцію, на якій адсорбується аніон кремне кремнієвої кислоти у водостійкі форми.

Важливою перевагою введення в силікатний розчин монофосфату амонію є забезпечення рівномірного проходження реакцій силікатизації в льосовому ґрунті, повніше затвердіння розчину силікату натрію, що підтверджується значним зменшенням (майже в 2 рази) вилуговування їх кремнієвих кислот. Це забезпечує збереження високої міцності закріпленого льосового ґрунту при замочуванні [1, 2].

Електросилікатизація масивів просадних льосових ґрунтів. Вона використовувалася А.А. Акімовим, А.А. Кириловим та іншими для масивів з коефіцієнтом фільтрації менше 0,1 м/добу та вологістю понад 18 %. У таких масивах рідке скло поширюється за одночасної дії тиску та постійного електричного струму.

Метод електросилікатизації розширив межі практичного застосування силікатизації. Закріпленню цим методом можна піддавати головним чином льосові ґрунти I типу просідання і льосові ґрунти, які отримали часткове ущільнення внаслідок прояву процесу просадження під будинками і спорудами [3,6, 28].

Кольматування масивів просадних льосових порід. Технологія методу передбачає нагнітання масиву через ін'єктори під тиском до 2 атм суспензії гідрофільної глини. Радіус закріплення навколо ін'єктора становить 0,4-0,7 м і залежить від коефіцієнта фільтрації закріплюваного льосового ґрунту, в'язкості суспензії, що нагнітається, її дисперсності, тиску нагнітання.

Льосовий ґрунт унаслідок кольматування ущільнюється, втрачає просадні властивості і практично перетворюється на звичайний глинистий

грунт. На початку глінізації грунт різко зволожується (до 26%), але вже через 2-3 тижні його вологість знижується до природної.

Метод глінізації досить ефективний. Він знайшов практичне застосування на льосових грунтах I типу просідання м. Одеси. В.П. Ананьєв (1976 р.) рекомендував піддавати глінізації льосові ґрунти в межах усієї деформованої зони (рис. 3.7). Метод може також використовуватися для закріплення масивів льосових ґрунтів під будинками, які почали деформуватися внаслідок процесу просадки.



Рисунок 3.7 – Закольматований масив льосових порід під фундаментом: 1 – просадний льосовий ґрунт; 2 – ін'єктори; 3 – зони глінізації; 4 – границя деформованої зони

3.6. Методи індустріального зрізування просадних льосових порід

Методи цього виду забезпечують два важливі управлінські ефекти. По-перше, це зниження вертикальних тисків у масиві льосових порід, а по-друге – зменшення потужності просадної товщі. Обидва ці ефекти зумовлюють зниження величини потенційного просідання масиву льосових порід.

Зниження вертикальних тисків у масиві ґрунту основи зазвичай викликається:

1) зрізанням просадного ґрунту при плануванні території під будівлі та споруди;

2) зрізанням просадного ґрунту при влаштуванні на великих площах глибоких підвалів, тунелів, каналів, колодязів, приямків тощо. При цьому величини вертикальних тисків у масиві ґрунту знижуються на дні цих виїмок на величину, що дорівнює добутку середньої величини об'ємної ваги ґрунту.

За рахунок такого розвантаження забезпечується зниження відносного просідання ґрунту, можливої величини просідання ґрунту від власної ваги, просадної товщі і тим самим перехід товщ ґрунтів з II в I тип за просадністю. З метою повного виключення просадок ґрунтів від власної ваги глибину зрізання верхнього шару ґрунтів або висоту підвальних приміщень призначають такими, при яких у межах нижньої частини просадної товщі, що залишилася, сумарні тиски від власної ваги ґрунту і додаткового навантаження від фундаментів і основ менше початкового просадного тиску. Крім цього при влаштуванні підвалів необхідно, щоб ширина їх була не менше 0,6-1 первісної величини просадної товщі [15].

Слід зазначити, що зрізання просадного льосового ґрунту часто супроводжується подальшим розміщенням ґрунтів із заданими властивостями. Але це інший спосіб керування властивостями масиву - заміна просадного льосового ґрунту.

3.7. Методи армування масивів просадних льосових порід

Методам цього класу належить найважливіше місце в управлінні просідання масивів льосових порід. Всі вони передбачають створення безпосередньо в межах таких масивів техногенного каркасу – просторових різнорівневних конструкцій, які споруджуються шляхом впровадження системи елементів підвищеної міцності або щільності. Їх поява в масиві просадних льосових порід докорінно змінює його будову, різко збільшує

опірність стискаючих і зсувних навантажень і дозволяє успішно вирішувати завдання інженерно-будівельного освоєння.

Армування масивів просадних льосових порід здійснюється різними методами, у тому числі і технологіями, описаними раніше і заснованими на механічному ущільненні порід, термічному та фізико-хімічному усуненні їх просідання. Цими та іншими методами створюються елементи просторових каркасоутворюючих структур масиву, основними з яких є різні типи палей (мікропалей, забивні, буронабивні, буроін'єкційні та ін), траншейні стіни та інші конструкції. Їх спорудження має бути спрямоване на виконання двох наступних умов:

- 1) вертикальна напруга в масиві просадних ґрунтів між елементами системи не повинна перевищувати початкового просадного тиску при замочуванні основи;
- 2) деформація елементів системи не повинна перевищувати межі допустимих значень спільних деформацій основи та будівлі, встановлених для даного типу споруд [6].

Мікропалі. Вони покликані ущільнити просадковий масив льосового ґрунту шляхом впровадження в нього пучка інвентарних мікропалей довжиною 1,4-2,5 м і діаметром 0,1 м. Після вилучення мікросвай свердловини заповнюються ґрунтоцементною сумішшю.

При впровадженні пучка мікропалей відбувається ущільнення масиву ґрунту. Навколо кожної палі утворюється ущільнена зона ґрунту, що дорівнює 3-4 діаметрам палі. Відстань між осями мікропалей (25-40 см) підбирається таким чином, щоб підвищити щільність скелета ґрунту у міжпальному просторі до $1,6-1,7 \text{ т/м}^3$. Крім ущільнення стінок свердловини під п'ятою палей утворюється ущільнене ядро грушоподібної форми, що розташовується нижче її кінця на глибину 1,5-2 діаметри палі [3, 6, 10].

Палі. Для армування масивів просадних льосових порід широко використовуються забивні, різні типи буронабивних та буроін'єкційних палей.

Забивні палі різної довжини та конструкції – прямокутні, циліндричні, призматичні, конічні та ін. – призводять до різкого збільшення несучої здатності масиву ґрунту, у тому числі й за рахунок ущільнення льосової породи навколо палі. Зазвичай як забивні використовують інвентарні залізобетонні палі.

У масивах льосових ґрунтів I типу просідання успішно застосовувалися короткі (5-7 м) призматичні забивні палі, що не прорізають всієї просадної товщі [3, 27].

Набивні палі є стовпом ущільненого матеріалу в ґрунтовому масиві. Їх споруджують шляхом створення отворів різної глибини і діаметра в масиві льосових порід та заповнення їх більш щільним та стійким матеріалом, ніж природна порода. Залежно від складу заповнювача набивні палі бувають ґрунтовими, цементно-ґрунтовими, бетонними, залізобетонними.

Для створення отворів в масиві використовують бурові верстати колонкового, ударно-канатного або шнекового буріння. При створенні буронабивних ґрунтових палей (для засипання свердловин) використовується місцевий льосовий ґрунт, пісок, пісок із грубоуламковим матеріалом. Його подають порціями та ущільнюють ударним снарядом до необхідної густини (близько $1,70 \text{ г/см}^3$). Найбільший ефект досягається при вологості ущільнюваного ґрунту, близької до вологості оптимального ущільнення.

Підвищення надійності методу ущільнення масивів ґрунтовими палями досягається за допомогою заповнення пробитих свердловин не місцевим глинистим ґрунтом, а більш міцним матеріалом, наприклад шлаком, крупноуламковим ґрунтом з глинистим заповнювачем тощо, а також шляхом втрамбування до відмови цього матеріалу в дно пробитих свердловин. Зниження вартості та трудомісткості робіт здійснюється шляхом збільшення діаметра свердловин, що пробиваються, до 0,6–1 м та відстаней між ними, що зменшує їх кількість у 2–4 рази. При армуванні масивів просадних ґрунтів вертикальними елементами підвищеної міцності для заповнення свердловин застосовують більш міцний матеріал

(шлакобетон, тонкий бетон, тощо), а відстані між свердловинами приймають значно більшими, щоб усунути тільки просадки ґрунтів від власної ваги [15].

Буроін'єкційні палі є різновидом буронабивних палей. Вони мають невеликий діаметр (80-250 мм) і відрізняються великою гнучкістю відношення довжини та діаметра (до 100-120). Ці палі створюються за допомогою пристрою свердловин з подальшим зануренням у них жорсткої або гнучкої арматури та нагнітання під тиском або без нього цементного розчину.

3.8. Методи, що ґрунтуються на повному прорізуванні масиву просадних льосових порід

Прорізування як метод управління такими масивами здійснюється глибокими фундаментами, у тому числі пильовими та масивами із закріпленого ґрунту. Ці методи часто виявляються абсолютно необхідними для проведення будівельного освоєння масивів з II типом ґрунтових умов щодо просідання.

Набивні палі в ущільненому ґрунтовому масиві виконуються в свердловинах, пробитих ударним снарядом, внаслідок чого навколо свердловини створюється ущільнена зона ґрунту. Його ущільнення в межах пильового поля та за його периметром для створення бар'єрної смуги здійснюється за технологією глибинного ущільнення ґрунтовими палями. Набивні палі в ущільненому ґрунті доцільно застосовувати для суцільних пильових полів при одночасному усуненні просідання ґрунтів під підлогами, фундаментами технологічного обладнання. Висока ефективність застосування цих конструкцій визначається тим, що ущільнення усуває просадні властивості ґрунтів, а набивні палі призначаються для передачі навантаження від будівлі або споруди на досить міцні підстилаючі ґрунти або споруди на досить міцні підстилаючі ґрунти в умовах, коли відсутні додаткові навантаження тертя.

Виконані в останні роки дослідження показали, що для зниження і навіть повного виключення передачі додаткових навантажень від сил тертя, що навантажує, на ущільнені, закріплені масиви і пальові фундаменти дуже доцільно влаштовувати по їх периметру на всю або більшу частину просадочної товщі глибокі прорізи з заповненням їх еластичним матеріалом [10, 38].

3.9. Методи, засновані на керуванні режимом вологості масивів просадних льосових порід

Цей комплекс методів зазвичай поєднують під назвою «водозахисні заходи». Вони, як правило, здійснюються при будівництві споруд на просадних ґрунтах з II типом ґрунтових умов по просадності для зниження ймовірності замочування ґрунтів основи, виключення інтенсивного замочування на всю величину просадної товщі і повного прояву можливої величини просідання ґрунту, контролю за станом водонесучих мереж, можливості їх огляду та швидкого ремонту, забезпечення своєчасного запобігання джерел замочування ґрунтів основи тощо.

«До комплексу водозахисних заходів входять: компонування генплану; планування території, що забудовується; будова під будинками та спорудами маловодопроникних екранів; якісне засипання пазух котлованів та траншей; будова навколо будівель позначок; прокладання зовнішніх та внутрішніх комунікацій, що несуть воду, за винятком можливості витoku з них води, забезпечення вільного їх огляду та ремонту; від аварійних вод за межі будівель та до зливової мережі та ін.

При плануванні площадки, що забудовується, або ділянки будівництва слід використовувати шляхи природного стоку атмосферних вод. При цьому застосування піщаних ґрунтів, будівельного сміття та інших дренажних матеріалів для планувальних насипів на майданчиках з II типом ґрунтових умов не допускається.

В основах будівель і споруд, що зводяться на просадних ґрунтах II типу ґрунтових умов по просіданню, із застосуванням комплексу заходів

роблять суцільні маловодопроникні екрани з ущільненого льосового ґрунту з розширенням їх у кожную сторону від зовнішніх контурів фундаментів на відповідну величину.

Прорізування маловодопроникного екрану під будинками траншеями для комунікацій на глибину понад $1/3$ його товщини не допускається. При цьому товщина екрану нижче дна траншеї повинна бути не менше 1,5 м для будівель та споруд з мокрим технологічним процесом, а також будівель підвищеної поверховості та 1 м – для інших будівель та споруд.

Зворотні засипки котлованів у фундаментів і траншей під комунікаціями повинні влаштовуватися з місцевих льосовидних суглинків, глин, а за їх відсутності – з супісків. Ґрунт у зворотні засипки відсипається окремими шарами з вологістю, близькою до оптимальної, та ущільнюється до необхідного ступеня щільності.

Введення водопроводу та тепломереж у будівлю, а також випуски каналізації та водостоків слід прокладати у каналах зі змінними плитами перекриття. Канали доцільно робити з одного залізобетонного лотка та укладати з ухилом не менше 0,02 у бік від будівлі. Примикання каналів до фундаментів будівлі має бути герметичним і виконуватись з урахуванням нерівномірного просідання каналу та фундаменту.

Для контролю за витоком води з трубопроводів внутрішніх мереж, а також трубопроводів, прокладених у каналах введів та випусків, і для виявлення аварійних вод слід наприкінці каналів передбачати влаштування контрольних колодязів.

Підлоги в будівлях та спорудах, запроектованих із застосуванням комплексу заходів, влаштовують водонепроникними. Для можливості стоку аварійних вод підлога виконується з ухилами 0,005-0,01 до приямок. У місцях сполучення підлог зі стінами роблять плінтуси на висоту 0,1-0,2 м.

Навколо кожної будівлі слід робити водонепроникні вимощення, які повинні мати підготовку з місцевого ущільненого ґрунту та влаштовуватися з ухилом у поперечному напрямку не менше 0,03» [15].

4. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЛЬОСОВИХ ПОРОД ДІЛЯНКИ І ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Коротка геолого-гідрологічна характеристика Дніпровського регіону

4.1.1 Геологічна будова

Територія Дніпровської області знаходиться в межах Східно-Європейської платформи, і займає південно-східну частину Українського кристалічного щита. Тут поширені геологічні утворення майже всіх стратиграфічних одиниць, починаючи з архейських і закінчуючи четвертинними. В межах області знаходяться Кіровоградський, Придніпровський і Приазовський блоки Українського щита. Докембрійський фундамент тут піднімається вище рівня моря на 100-150 м і місцями оголюється (особливо вздовж річок). Осадочний чохол представлений в основному неогеновими відкладеннями, в меншій мірі палеогеновими і четвертинними. Також область захоплює частину Дніпровсько-Донецької западини, яка ускладнена в центрі Доно-Дніпровським грабеном, обмеженим розломами з багатокілометровою амплітудою. Грабен складний середньо- і верхньодевонськими і кам'яновугільними відкладеннями. Докембрійський фундамент тут занурений на 5-10 км. Вище кам'яновугільних залягають пермські, триасові, юрські, крейдяні, палеогенові і неогенові відкладення, потужність яких поступово зменшується в напрямку щита. Південніше щита знаходиться Причорноморська западина.

Комплекс основних і ультраосновних порід. Архейські інтрузиви основного складу досить широко представлені в районі і розвинені у вигляді масивів пластоподібних і дайкових тіл, приурочених, головним чином, до осадово-вулканогенних утворень синкліорних зон

Верховцевського, Сурського, Чортомлінського районів. До складу виділеного комплексу входять піроксени, габро-діабази, періdotіти, дуніти, серпентиніти, тремоліти, актиноліти.

Нижній протерозой (нижньопротерозойська еонотема). До нижнього протерозою відносяться інгуло-Ингулецька і криворізька серії.

Серед ультраметаморфічних і інтрузивних утворень нижнього протерозою виділені комплекси основних і ультраосновних порід: Кіровоградсько-Житомирський, східно-приазовський граносієнітовий і дайкового.

Велика частина інтрузій приурочена до тектонічних порушень, менша спостерігається у вигляді пластоподібних і лінзоподібних тіл потужністю до 10-20 м. Вік порід 2-2,2 млрд років.

Дайковий комплекс, представлений в основному діабазами, найбільш поширений в межах приазовського блоку. Потужність дайок змінюється від 2-5 м і тільки в окремих западинах досягає 50 м; протяжність зазвичай становить перші сотні метрів, іноді досягає 1-1,5 км. Простягання дайок переважно північно-західне, субмеридіональне, падіння круте до вертикального.

В межах області, як і на всьому Українському щиті, кора вивітрювання кристалічних порід має острівний характер і збереглася від розмиву в основному в знижених частинах щита. Потужність її непостійна і змінюється від мінімальної до сотень метрів. Формування кори вивітрювання відбувалося від архею до сучасності. Виділяються площадний і лінійний типи вивітрювання. Більш поширений площадний тип. Склад кори вивітрювання залежить від характеру материнських порід. З корою вивітрювання порід основного складу пов'язано утворення бокситів, з корою вивітрювання порід кислого складу - первинних каолінів, а ультраосновних порід - кора з підвищеною нікеленосністю.

Відкладення верхнього еоцену представлені мергелями, пісковиками, опоками, рідше - глинами загальною потужністю до 15 м. Відкладення олігоцену поширені тільки на південному схилі щита і складені глинами,

алевритами, пісками, гравелітами конкреціями фосфоритів, найбільш характерною особливістю відкладень є наявність шару марганцевих руд потужністю до 6 м (Нікопольський марганцевий басейн).

На щиті широко поширені континентальні аналоги середньоміоценових відкладень - кварцові піски з прошарками глин, каолінів, пісковиків, вуглистих порід і бурого вугілля загальною потужністю до 30 м.

4.1.2 Тектоніка

Найдавніша історія розвитку регіону (перша половина раннього архею) зафіксована в породах нижніх світ Аульської і західно-приазовської серій, представлених древніми вулканогенними утвореннями. Риси наступного етапу розвитку регіону (друга половина раннього архею) відображаються в породах верхніх світ вищевказаних серій. Для них характерний своєрідний план плікативних деформацій ($340-350^\circ$ і $70-80^\circ$), переважно первинноосадовий характер порід і ін. З ранньоархейським етапом розвитку регіону пов'язана і перша епоха гранітизації, яка призвела до утворення дніпровського комплексу.

Платформенний етап у розвитку території Дніпровської області почався в пізньому протерозої. Він характеризувався коливаннями і блоковими рухами по зонам розломів північно-західного ($310-321^\circ$) напрямку в периферійних частинах щита.

Внаслідок пізньопротерозойських (байкальських) рухів на Східно-європейській платформі виник прогин по лінії Доно-Дніпровського грабена. Такі структурні обставини зберігалися протягом усього ранньопалеозойського (каледонського) етапу розвитку земної кори.

У другій половині девону в прогині відбувалася інтенсивна вулканічна діяльність, яка привела до утворення потужних покривів базальтів. Український щит, існуючий на наступному, герцинського, етапі розвитку земної кори, спочатку мав ту ж площу, що і щит каледонського

часу. Але пізніше вона змінилася: окремі крайні блоки щита опускалися і перекривалися потужними опадами.

Протягом пізньопалеозойського, герцинського етапу відбувалося занурення Доно-Дніпровського грабена, яке призвело до накопичення багатокілометрової товщі осаду в середньому і пізньому девоні, карбоні, ранній пермі. У карбоні відбувалося стійке опускання як в грабені, так і на його бортах. Уже в ранній пермі почалося утворення складок в Донбасі і виникла головна антикліналь.

У першій половині ранньої крейди вся територія Дніпровсько-Донецької западини опускалася, виникали великі області континентальної, переважно алювіальної седиментації, вона поширювалася і на південно-східний схил щита. Були залиті морем Дніпровсько-Донецька западина і схили щита. В кінці крейдяного періоду почалася регресія моря, вона закінчилася тільки в Доно-Дніпровському та Консько-Ялінском грабенах.

Від початку палеогену починається кайнозойський етап, майже вся платформенна частина України перетворюється в область денудації. Сам щит і Дніпровсько-Донецька западина були зоною накопичення континентальних, в основному алювіальних відкладів. Починаючи з пліоцену і до плейстоцену включно осадконакопичення відбувалося головним чином в межах річкових долин, на знижених вододілах формувалися в основному ґрунти (червоно-бурі глини).

4.1.3 Гідрогеологічні умови

Гідрогеологічні умови Українського щита тісно пов'язані з геологічною будовою, тектонікою і деякими фізико-географічними факторами, головними з яких є клімат, рельєф і гідрографія.

На щиті виявлені і вивчені горизонти і комплекси підземних вод в четвертинних відкладеннях, пісках і вапняках неогену, в піщаних

відкладеннях палеогену, піщано-мергелистих відкладеннях крейдяної системи, породах давньої кори вивітрювання кристалічних порід.

Найбільш важливе значення для водокористування в межах Українського щита мають підземні води в породах давньої кори вивітрювання кристалічних порід і верхньої тріщинуватої зони кристалічних порід.

Водоносний горизонт в породах кори вивітрювання в більшості випадків безнапірний або слабонапірний. Продуктивність свердловин і колодязів змінюється в широких межах, але в загальному не перевищує 3 л/с. Питомий дебіт свердловин в середньому 0,03-0,1 л/с, іноді досягає 3-5 л/с. Підземні води в зоні порівняно неглибокого залягання зустрічаються від вельми прісних на північному заході до солонуватих на південному сході.

Найбільша продуктивність свердловин в північно-західній, західній і частково центральній частинах щита.

Підземні води кори вивітрювання живляться головним чином завдяки проникненню атмосферних опадів через товщу порід, які залягають вище. Областями розвантаження горизонту є долини більшості річок, особливо великих - Дніпра, Інгульця. Доцільно використовувати ці води в долинах річок з водами антропогенних, палеогенових відкладень і тріщин кристалічних порід.

Водоносний горизонт, приурочений до верхньої тріщинуватої зони кристалічних порід, в межах кристалічного масиву найбільш поширений. Ступінь тріщинуватості порід і стан тріщин визначають водонасиченість і шляхом циркуляції підземних вод, обумовлюють взаємозв'язок тріщинних вод між собою і водами інших водоносних горизонтів.

Глибина зони підвищеної тріщинуватості на території щита, при якій може відбуватися інтенсивна циркуляція підземних вод, 100-150 м. Нижче зустрічаються тільки дрібні тріщини, циркуляція підземних вод в яких утруднена.

4.2. Фізико-географічні та інженерно-геологічні умови ж/к «Славний», на вул. Сімферопольська, 11

4.2.1. Загальні відомості про об'єкт досліджень

Досліджуваний житловий комплекс "Славний" адміністративно розташований у Соборному районі м.Дніпра, по вул. Сімферопольській, 11, у кварталі вулиць Сімферопольської, Селянського узвозу, Обручова та пр. Дмитра Яворницького.

Інженерно-геологічні дослідження для проекту будівництва комплексу виконані приватним підприємством "ГЕОЗОНД" у 1999 році.

Інженерно-геологічна вивченість району досить висока. У період із 1965 р. по теперішній час у зазначеному кварталі вулиць та безпосередньо на вивченому майданчику "ДніпроДІПНТР" проводилися інженерно-геологічні дослідження для проектування об'єктів цивільного будівництва.

Комплексні інженерно-геологічні дослідження включали такі види робіт: буріння геологічних свердловин, проходку шурф-дудок для вивчення просадних властивостей ґрунтів, штампові та пресіометричні випробування ґрунтів, дослідно-фільтраційні роботи, лабораторні дослідження ґрунтів та підземних вод [31, 32].

4.2.2. Геологічна будова

У геотектонічному відношенні ділянка досліджень розташована в межах крайової частини Українського кристалічного щита, що відноситься до нагірного неотектонічного блоку.

Геологічний розріз обумовлений тектонікою, геоморфологічним відношенням і до глибини 43.00 м представлений комплексом верхньо-середньо-нижньо-четвертинних відкладень еолово-делювіального, елювіально-делювіального, алювіального генезиса та скельними породами. З поверхні покривні відкладення повсюдно перекриті насипними

грунтами, ґрунтово-рослинні ґрунти залягають локально. Опис геолого-літологічних шарів наведено нижче.

Техногенні сучасні відкладення **шару 1 (tIV)** - насипні ґрунти-асфальт, щебене підсипання, суміш супісків і суглинків темно-сірих, жовтувато-сірих, твердих і пластичних, тугопластичних, з включенням щебеню, різного будівельного сміття від 5 до 15%. Потужність насипних ґрунтів у районі комплексу є 0.6 м – 7.4 м (свд.№4).

ґрунтово – рослинні ґрунти **шару 2 (e IV)** – супіски чорні, тверді, з включенням коренів рослин, при дослідженнях зустрінуті під час проходження свд. №1 потужністю 0.9 м.

Верхньочетвертинні відкладення льосового комплексу представлені двома горизонтами: бузьким та прилуцьким.

Під насипними і ґрунтово-рослинними ґрунтами залягають льосові відкладення бузького горизонту, представлені перешаровуванням супісків і суглинків (шари 3–5).

Шар 3 (vdIIIbp) - супіски льосові, буро-жовті, жовті, тверді, в зоні замочування - пластичні, з включенням карбонатів. Потужність дуже невитримана й у межах майданчика змінюється від нуля до 5.4 м.

Шар 4 (edIIIbp) - суглинки льосові світло-жовті, буро-жовті, жовто-бурі, тверді, в зоні замочування напівтверді, туго- і м'якопластичні, з включенням карбонатів, з точковими включеннями гідрооксидів марганця. Потужність суглинків у межах майданчика витримана та змінюється від 3.2 до 3.4 м.

Шар 5 (vdIIIbq) - супіски льосові сірувато-жовті, жовті, тверді, в зоні замочування пластичні та плинні, з включенням карбонатів, з гніздами піску. Потужність шару змінюється від 2.0 до 5.2 м.

Під відкладеннями бузького горизонту залягають суглинки льосові, прилуцького горизонту **шар 6 (edIIIpl)** жовтувато-бурі, тверді, в зоні замочування – напівтверді, туго- та м'якопластичні, з включенням дрібних жовен карбонатів. Потужність суглинків у межах 2.1-2.5 м.

Середньочетвертинні відкладення представлені двома шарами льосових супісків дніпровського горизонту.

Шар 7 (vdII dn) - супіски льосові палево-жовті, тверді, в зоні замочування пластичні, з ниткоподібними включеннями карбонатів і точками оксидів марганцю. Потужність у межах майданчика 4.1 –10.8 м.

Шар 8 (vd II dn) - супіски льосові жовті, сірувато-жовті, тверді, в зоні замочування - пластичні, з ниткоподібними включеннями карбонатів, з гніздами та прошарками дрібних пісків.

Потужність дуже невтримана навіть у межах майданчика та становить 5.4–12.4 м.

Суглинки льосові дніпровського горизонту **шар 9 (edII dn)** за своїми показниками дуже близькі до супісків шару 8, мають локальне поширення і лінзовидне залягання, на досліджуваному майданчику не розкриті.

Нижньочетвертинні відкладення на досліджуваному майданчику представлені алювіальними кварцовими пісками (**шар 10**) жовтими, сірувато-жовтими, дрібними, маловологими вище рівня підземних вод і насиченими водою нижче рівня підземних вод. Розкрита потужність у межах досліджуваного майданчика 2.9–7.1 м.

Архей – протерозойські скельні породи **шар 11 (AR-PR)** – граніти мікроклінові, сірі, сірувато-рожеві, рожеві, середньозернисті, полосчасті, дуже сильно і сильнотріщинуваті, слабовивітрілі, середньої міцності, нерозм'якшувані. Покрівля скельних порід нерівна, із зануренням у північно-західному напрямку. У межах житлового комплексу, що досліджується, розкрито при дослідженнях 1994 р, на глибині 41.0 м. Максимально розкрита потужність скельних порід 2.0 м [13, 14].

4.2.3. Гідрогеологічні умови

Ділянка досліджень відноситься до правобережної частини м. Дніпра, що належить до ділянки розвитку тріщинних вод Українського кристалічного щита. Ця область характеризується розвитком підземних вод переважно в тріщинуватих кристалічних породах і корі їх вивітрування і, меншою мірою, осадових відкладеннях.

Зважаючи на відсутність між різновіковими відкладеннями витриманого водостійкого шару, підземний водний потік розглядається як єдиний водоносний комплекс, за характером безнапірний і має єдиний рівень і режим.

На досліджуваному майданчику підземні води станом на листопад 2021 року залягають на глибині 31.4–32.0 м (абс.відм. 64.40–65.50 м) від денної поверхні. Віднесені до нижньочетвертинних алювіальних піщаних відкладень (шар 10) і тріщинуватій зоні кристалічних порід (шар 11).

Грунти неоднорідні за фільтраційними показниками, коефіцієнти фільтрації отримані лабораторними методами і в результаті дослідно-фільтраційних робіт на суміжних майданчиках такі: для супісків шару 3 – 0.8 м/добу, для суглинків шару 4 – 0.1 м/добу, для супісків шару 5 – 0.3 м/добу, для суглинків шару 6 – 0.1 м/добу, для супісків шарів 7,8 – 0.4 м/добу, пісків шару 10 – 2.0 м/добу.

Регіональним водоупором є нетріщинуваті різниці скельних порід, що залягають на глибинах близько 60-80 м від денної поверхні.

Максимально розкрита потужність водоносного комплексу в межах досліджуваного майданчика 10.1 м.

Водоносний комплекс поповнює свої запаси за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, витоків з водонесучих комунікацій, припливу з боку вище забудованих територій. Розвантаження здійснюється у річку Дніпро (НПГ = 51.40м).

Вода – прозора, безбарвна, без запаху, за вмістом сульфатів ($SO_4 = 18.0–195.9$ мг/л; $HCO_3 = 2.0–9.2$ мг–екв/л) неагресивна до бетонів марок W_4, W_6, W_8 за водонепроникністю.

За вмістом хлоридів ($Cl = 27.6–142.0$ мг/л) неагресивна до арматури залізобетонних конструкцій при постійному зануренні та періодичному змочуванні.

За водневим показником ($pH = 7.3–7.6$), сума сульфатів і хлоридів середньоагресивна до металевих конструкцій при вільному доступі кисню. Тривалий та аварійний витік із підземних водонесучих комунікацій

сприяли утворенню техногенного водоносного горизонту, що має локальне поширення.

Техногенний горизонт має тимчасовий характер, зафіксований при бурінні свердловини №2 на глибині 5.1 м (абс.відм. 92.40 м) від існуючої денної поверхні.

Хімічний склад води, відібраної зі свердловини №2, свідчить про те, що це водопровідна вода із забрудненням, у воді присутні аніони CO_{2-3} у кількості 30 мг/л, водневий показник становив 10.73 (сильно лужне середовище) [13, 14].

4.2.4. Геоморфологія, рельєф

У геоморфологічному відношенні досліджуваний майданчик відноситься до правобережного терасованого схилу долини річки Дніпро, що протікає приблизно в 1 км на південний схід.

Природний рельєф змінено у процесі будівництва комплексу.

Загальний ухил поверхні у південно-східному напрямку у бік річки. Абсолютні позначки денної поверхні змінюються від 94.00 до 102.00 м (у Балтійській системі висот).

У ході раніше виконаних досліджень було встановлено, що в контурі житлового комплексу простежувалися вершини двох ярів (див. графічні додатки), які засипалися в 30-ті роки минулого століття будівельним і побутовим сміттям потужністю 4.5-8.0 м, в ярах робилося захоронення у війну (1918-1920р.р.). На ділянці комплексу також знаходилися підвали, вигрібні ями, туалети приватного сектора, якими був зайнятий майданчик до будівництва.

З несприятливих фізико-геологічних процесів і явищ слід відзначити наявність у геологічному розрізі товщі льосових ґрунтів, здатних при замочуванні виявляти просадні властивості (які більш детально розглянуті у попередніх розділах), а також інженерна діяльність людини, результатом якої є значні постійні та аварійні витoki води з підземних водонесучих комунікацій [13, 14].

4.2.5. Інженерно-геологічна та геотехнічна характеристика ґрунтів

Досліджувана товща ґрунтів за номенклатурною ознакою та властивостями розділена на 19 інженерно-геологічних елементів (ІГЕ), у межах яких товща є статистично однорідною за складом та властивостями. Нумерація ІГЕ відповідає нумерації 12-ти виділених шарів.

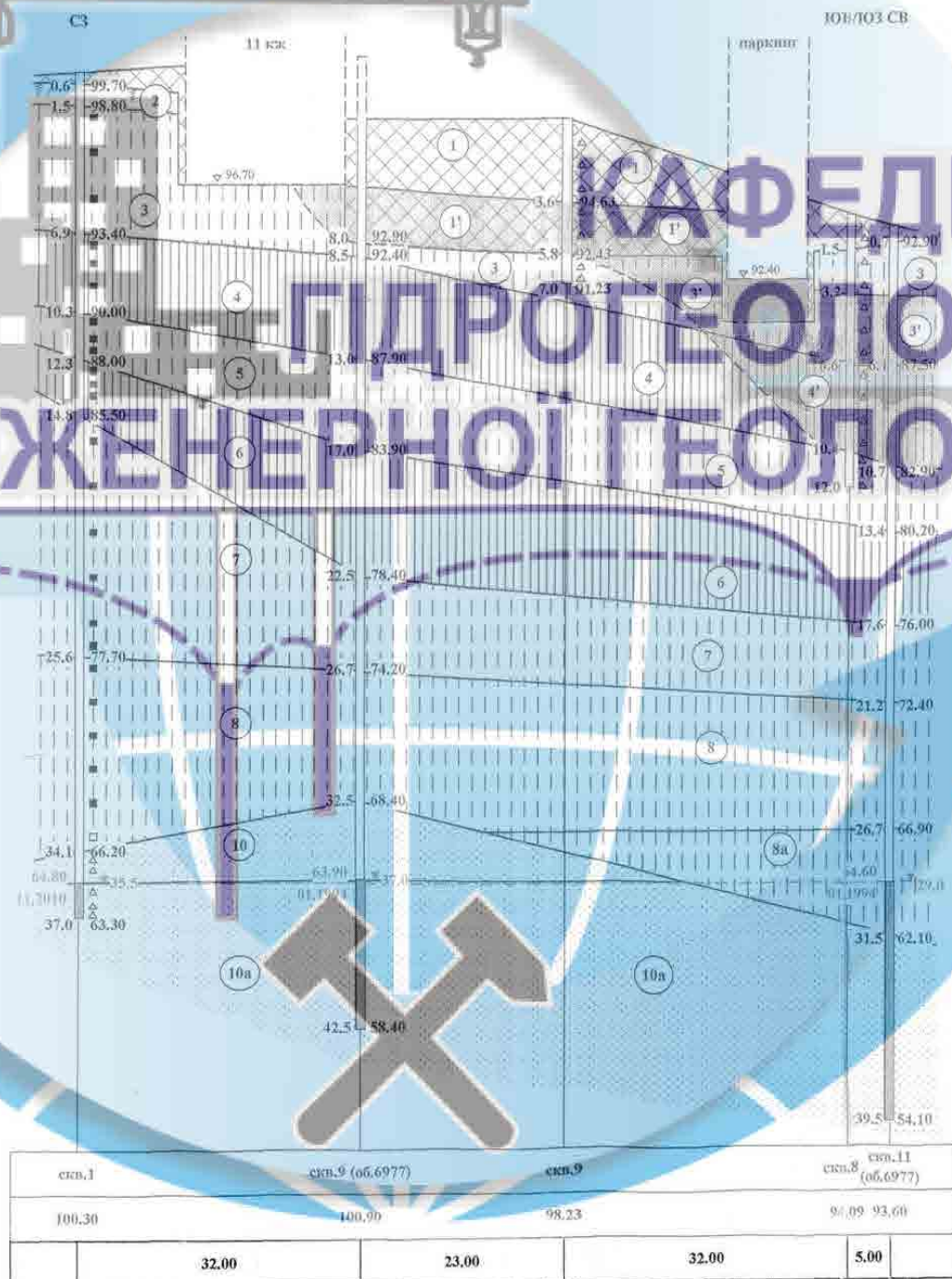


Рисунок 4.1 – Інженерно-геологічний розріз ділянки досліджень (масштаби: вертикальний 1:200; горизонтальний 1:500)

Через наявність зони замочування насипні ґрунти шару 1 та льосові ґрунти шарів 3–7 розділені кожен на два інженерно–геологічні елементи: ґрунти твердої консистенції, що залягають поза зоною замочування (ІГЕ–1,3–7) та ґрунти напівтвердої, тугопластичної, м'якопластичної, текучепластичної, пластичної та текучої консистенції (ІГЕ-1', 3',4',5',6', 7'), що знаходяться в замоченій зоні.

Супіски льосові шару 8 розділені на три інженерно-геологічні елементи: ІГЕ-8 - ґрунти твердої консистенції, що залягають поза зоною замочування, ІГЕ-8а - ґрунти пластичної консистенції, що залягають в зоні капілярного зволоження рівня підземних вод (при даних дослідженнях не були зустрінуті) та ІГЕ-8', що залягають у зоні замочування.

На два інженерно-геологічні елементи розділені піски шару 10: ІГЕ-10 піски маловологі, що залягають вище за рівень підземних вод і ІГЕ-10а - піски насичені водою.

Приватні значення та статистичні параметри характеристик фізико-механічних властивостей ґрунтів, що залягають поза зоною замочування та ґрунтів, що залягають у зоні замочування – наведені у додатках, а нормативні та розрахункові значення відповідно до табличних додатків 1–8, 9 –14 й у таблиці 1 графічних додатків.

Деформаційні характеристики ґрунтів, що залягають у замоченій зоні, прийняті за компресійними випробуваннями ґрунтів при їх водонасиченні. Характеристики міцності визначені методом одноплосинного зрізу за схемою повільного консолидовано-дренованого зрізу при природній вологості ґрунтів та при повному водонасиченні ґрунтів при дослідженнях по об'єкту виконаного в контурі житлового комплексу.

У додатку 4 описано найбільш характерні особливості фізико-механічних властивостей виділених інженерно-геологічних елементів.

Як видно з наведеного опису, ґрунти, що складають геологічний розріз досліджуваного майданчика, сильно відрізняються за своїми геотехнічними характеристиками [13, 14, 31, 32].

5. ВИБІР І ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРАХУНКОВИХ СХЕМ І ЗАХОДІВ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ СПОРУД ПО ВУЛ. СІМФЕРОПОЛЬСЬКІЙ

5.1. Розрахунок просідання льосового масиву в природних умовах під впливом техногенного навантаження

Просадність ґрунтів S_{sl} основи при збільшенні їх вологості внаслідок замочування зверху великих площ, а також замочування знизу під час підйому рівня підземних вод визначається за формулою

$$S_{sl} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{sl,i} h_i k_{sl,i} \quad (5.1)$$

де: $\varepsilon_{sl,i}$ – відносна просадність i -го шару ґрунта, що визначається відповідно до формули 2; h_i – товщина i -го шару; $k_{sl,i}$ – коефіцієнт, що визначається відповідно до ширини фундаменту

$$\varepsilon_{sl} = \frac{e_{n,p} - e_{sa,p}}{e_{n,g}} \quad (5.2)$$

де: $e_{n,p}$ и $e_{sa,p}$ – коефіцієнт пористості ґрунту відповідно до природної вологості та після його повного водонасичення при тиску p [33].

Після підстановки значень формули, були проведені розрахунки просідання льосового масиву при природному тиску. Результати розрахунків наведено у таблиці 5.1.

З отриманих даних, можна побачити, що величина розрахункового просідання при природному тиску за чотирма ІГЕ становить 32,78 см, у той час як сумарне просідання при природному тиску дорівнює 54,73 см. Найбільша величина просідання відзначається в 4,7 і 8 ІГЕ, що обумовлено нерівномірним замочуванням льосового масиву (додаток 1).

Таблиця 5.1 – Результати розрахункових та натурних просідань льосового масиву по вул. Сімферопольській, 11

Номер ІГЕ	Розрахункове просідання при природному тиску $S_{sl}, \text{см}$	Сумарне просідання на об'єкті при природному тиску $S_{sl}, \text{см}$
4	4,5	8,99
5	3,8	5,34
6	3,1	4,24
7	14,7	25,68
8	6,68	10,48
Загальне	32,78	54,73

5.2. Розрахунок осідання будівлі

Сутність методу полягає у визначенні осадки елементарних шарів основи в межах товщини, що стискається, від додаткових вертикальних напруг. σ_{zp} , що виникають від навантажень, переданих спорудам.

Оскільки в основу цього методу покладено розрахункову модель основи у вигляді лінійно-деформованої суцільного середовища, то необхідно обмежити середній тиск на основу такою межею, при якій області пластичних деформацій, що виникають, лише незначно порушують лінійну деформованість основи.

Для розрахунків осідання фундаменту методом пошарового підсумовування шарів застосовуємо формулу (5.3). Результати розрахунку осідання наведені в таблиці 5.2.

$$S = \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zp} \cdot h_i}{E_i} \quad (5.3)$$

де h – товщина шару, м.; H – відстань від рівня планування до низу елементарного шару, м.; z – відстань від підшови фундаменту до низу елементарного шару, м.; m – коефіцієнт, що дорівнює $2 \cdot z/b$, де b – ширина фундаменту; a – коефіцієнт, що приймається за табл.55; σ_{zg} – природний тиск, т/м²; σ_{zp} – додатковий тиск, т/м²; S – осідання шару, мм.

Таблиця 5.2 – Результати розрахунків осідання шаруваті основи методом пошарового підсумовування

№	ПЕ	h, м	H, м	z, м	m	a	$\sigma_{zg}, \text{т/м}^2$	$\sigma_{zp}, \text{т/м}^2$	S, мм
0	–	–	1	0	–	–	1,30	7,27	–
1	3	2,9	3,9	2,9	0,331	0,981	5,90	7,13	15,2
2	4	3,4	7,3	6,3	0,720	0,900	11,65	6,55	13,3
3	5	2	9,3	8,3	0,949	0,834	15,05	6,07	5,0
4	6	2,5	11,8	10,8	1,234	0,745	19,42	5,42	9,6
5	7	10,8	22,6	21,6	2,469	0,467	38,76	3,40	14,6
6	8	8,5	31,1	30,1	3,440	0,352	54,57	2,56	9,2

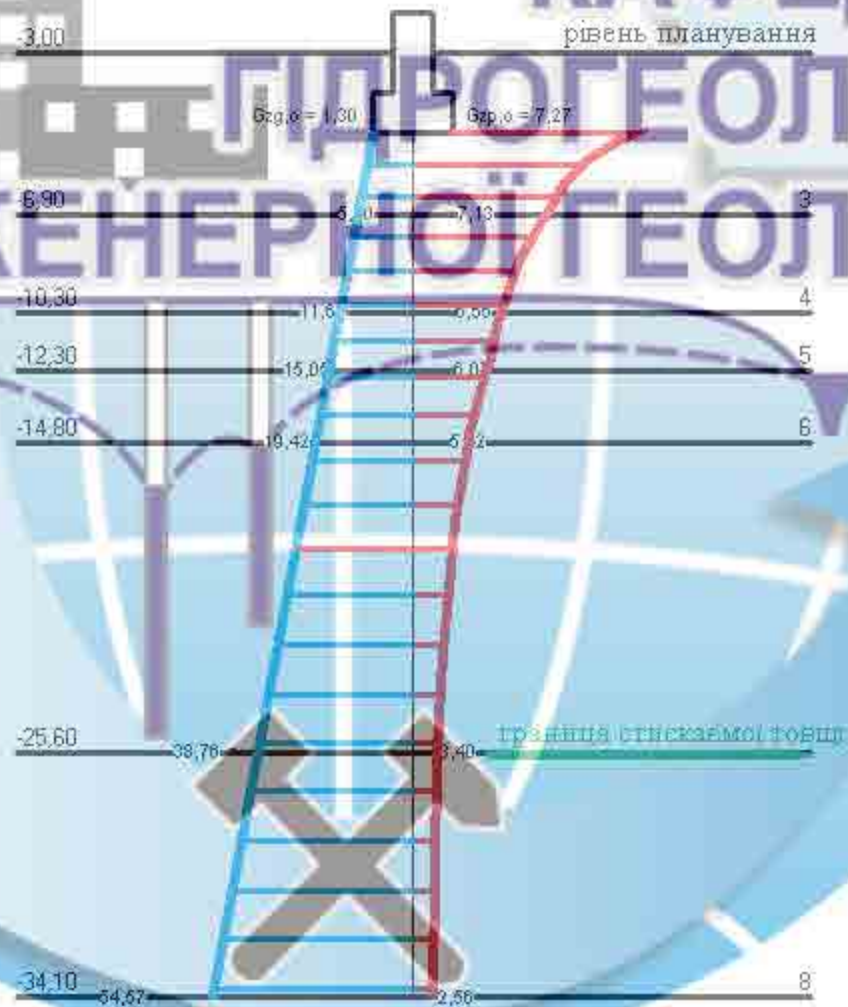


Рисунок 5.1 – Розрахункова схема визначення осідань методом пошарового підсумовування

Після проведення розрахунків осідання шляхом пошарового підсумовування було отримано розрахункове значення осідань, яке становить $S = 57,7$ мм, слід зазначити, що межа товщини, що стискається, становить – 25,60 м (шар №5). Розрахункова схема визначення осідання методом пошарового підсумовування наведено рис. 5.1.

5.3. Аналіз отриманих результатів та порівняння з натурними спостереженнями

Для порівняння отриманих даних із натурними спостереженнями використовувався «Звіт про інженерно-геодезичні дослідження по об'єкту: ОСББ «ЖК Славний». Геодезичні спостереження за житловим будинком по вул. Сімферопольська, 11» [14, 31].

Відповідно до укладеної додаткової угоди № 11 до договору 1570/1, сектор інженерно-геодезичних вишукувань Державного підприємства «Дніпровський проектний інститут» проводив спостереження за осіданнями житлової будівлі на вул. Сімферопольська, 11 у період починаючи з 2010 року до теперішнього часу. Періодичність спостережень за осіданнями становить 1 раз на місяць. Розташування місць осідань, за якими проводився моніторинг зображений на рис. 5.2 [14].

Станом на 18.03.16 р. величини осідань ж/к Славний на вулиці Сімферопольська, 11 мали такий вигляд (рис. 5.3-5.4).

Внаслідок утворення зони замочування антропогенного походження простежується нерівномірне переміщення вузлових точок, а саме у джерела живлення воно максимальне і зменшується по мірі віддалення від нього.

Для підтвердження адекватного відображення чисельною моделлю характеру деформування навантаженого ґрунтового масиву в зоні впливу житлового комплексу, були складені графіки (5.5-5.6), які відображають

динаміку зміни осідання споруд, отриману в результаті моделювання та зафіксованих даних настінних марок і реперів [14, 31].

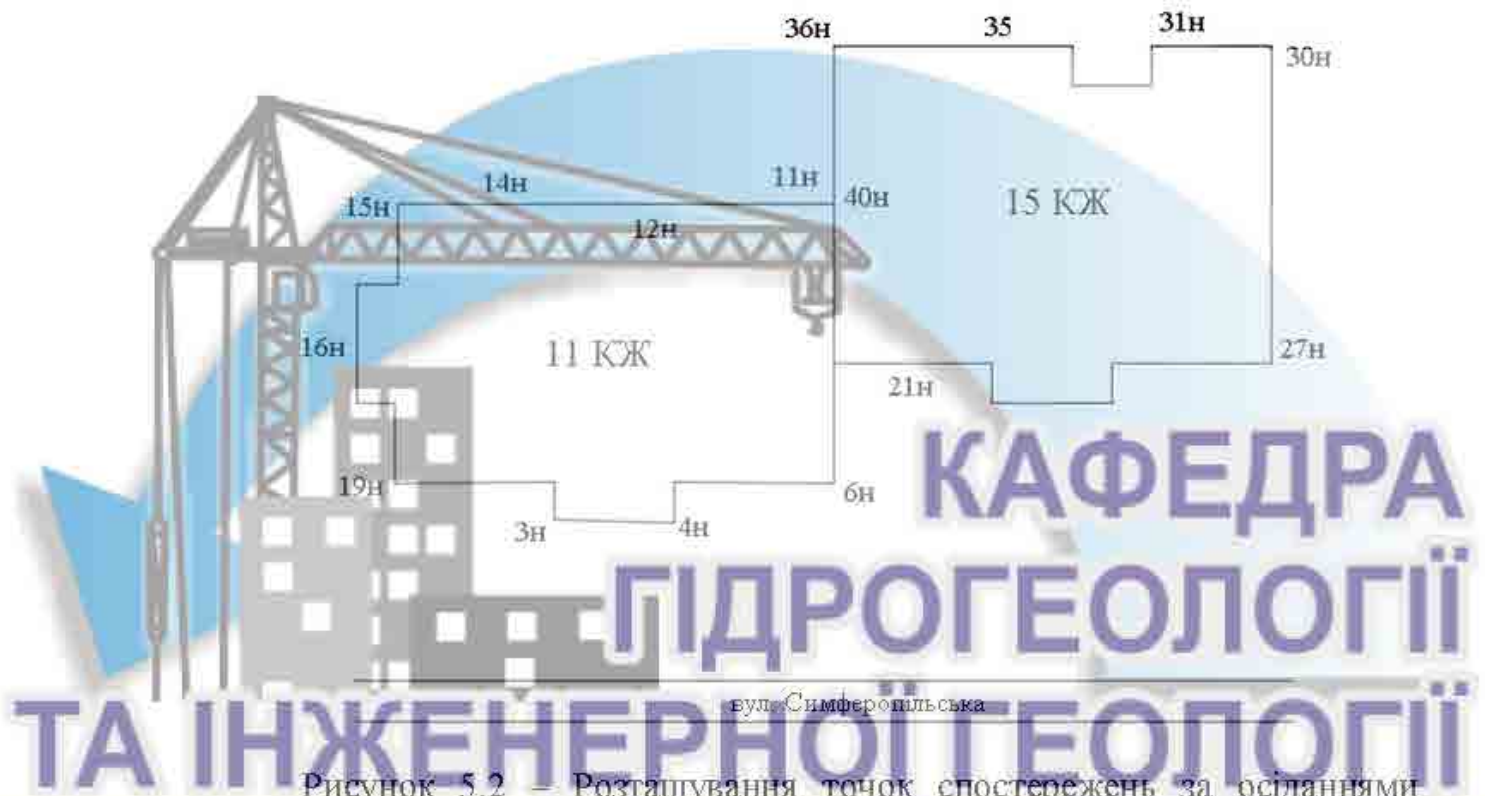


Рисунок 5.2 – Розташування точок спостережень за осіданнями

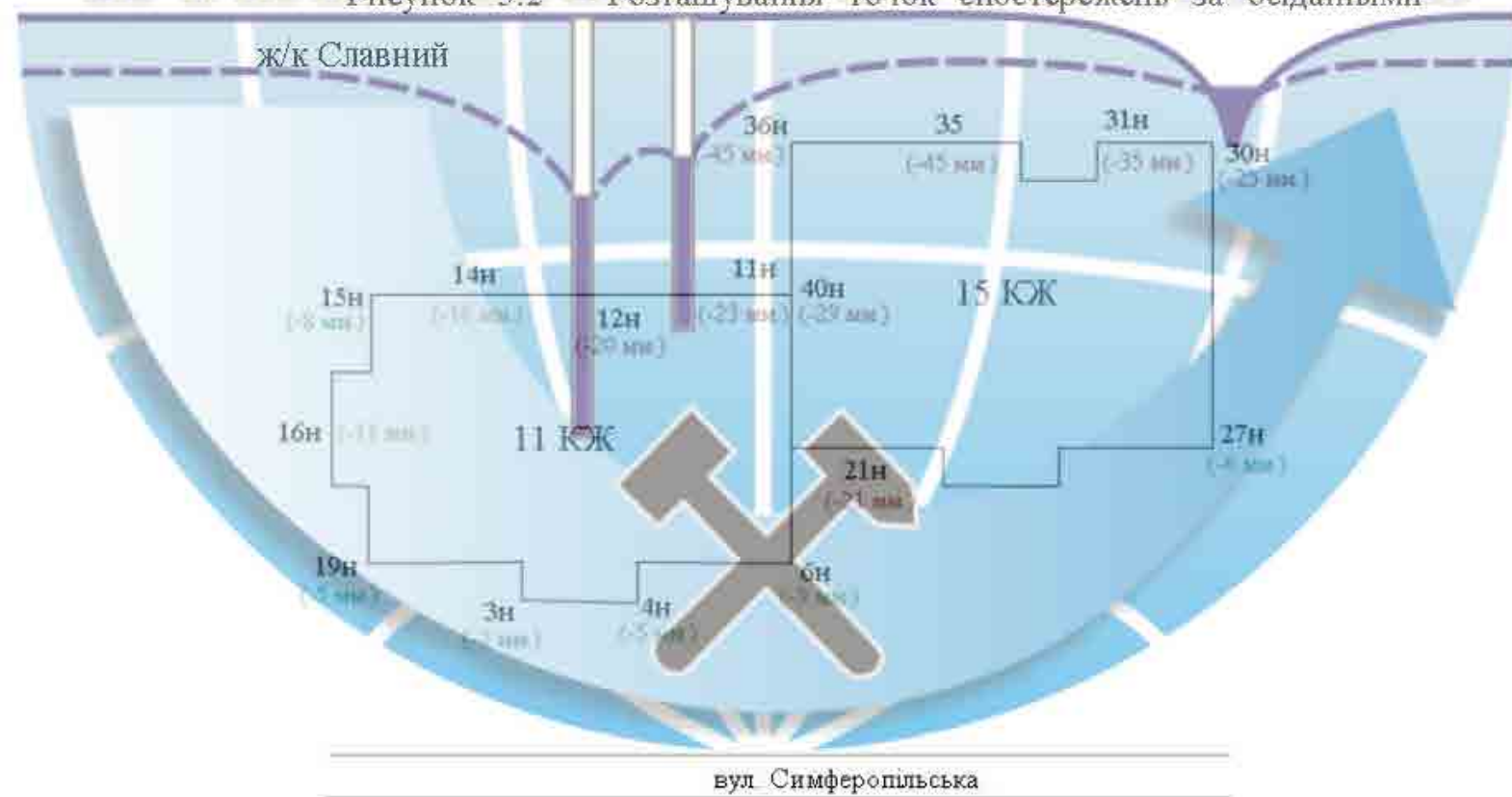


Рисунок 5.3 – Величини осідання станом на 17.05.16

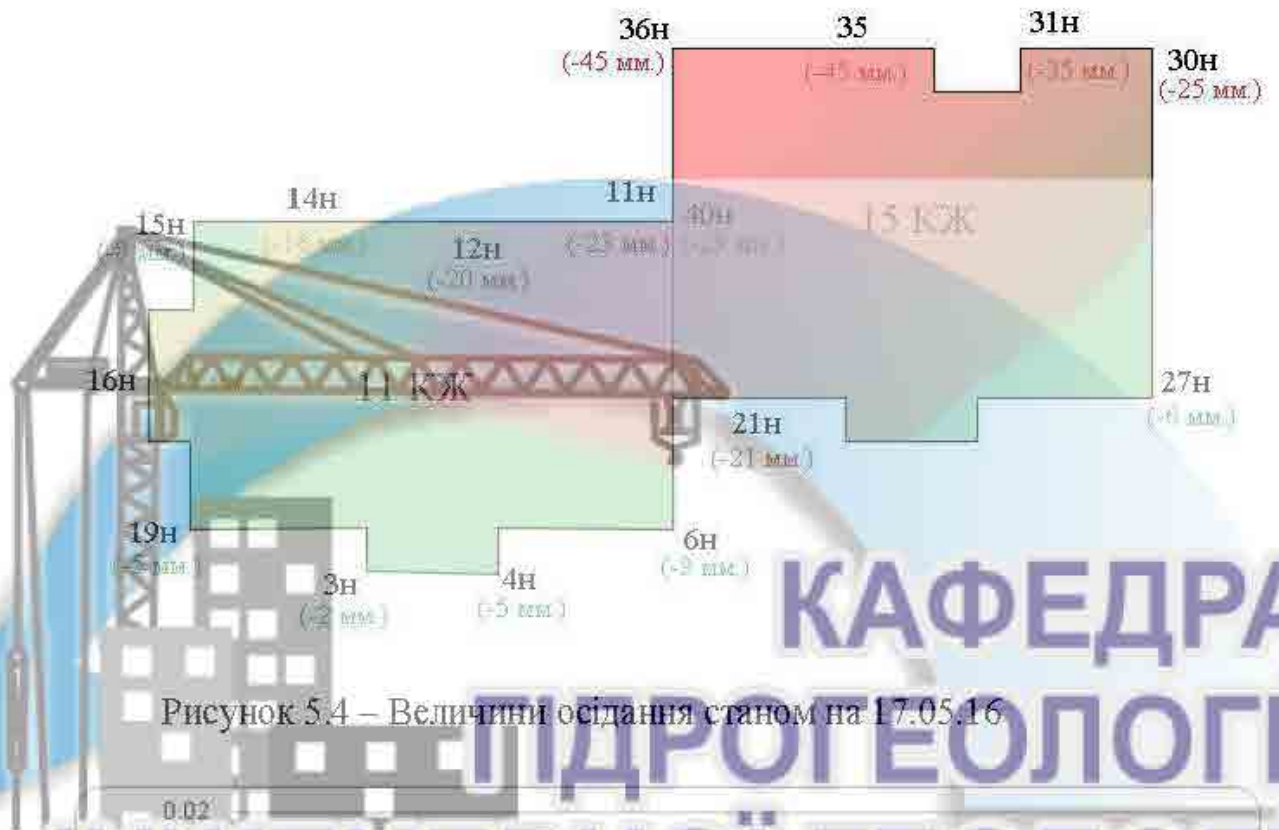


Рисунок 5.4 – Величини осідання станом на 17.05.16

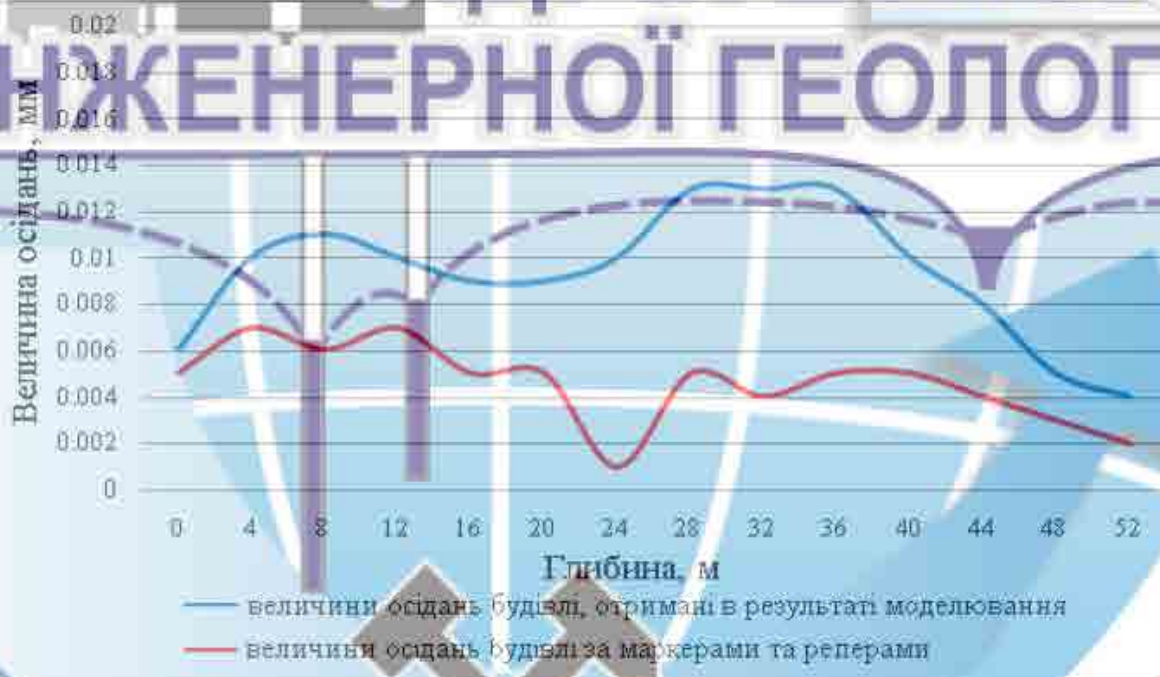


Рисунок 5.5 – Динаміка зміни осідань споруди по лінії розрізу IV-IV' до виникнення зони техногенного замочування

Як видно з графіків, що різниця між отриманими даними в результаті чисельного моделювання і значеннями величини просідань, що зафіксовані

за показниками реперів, не значна, це дає можливість стверджувати, що побудована модель відповідає реальним умовам ділянки дослідження.

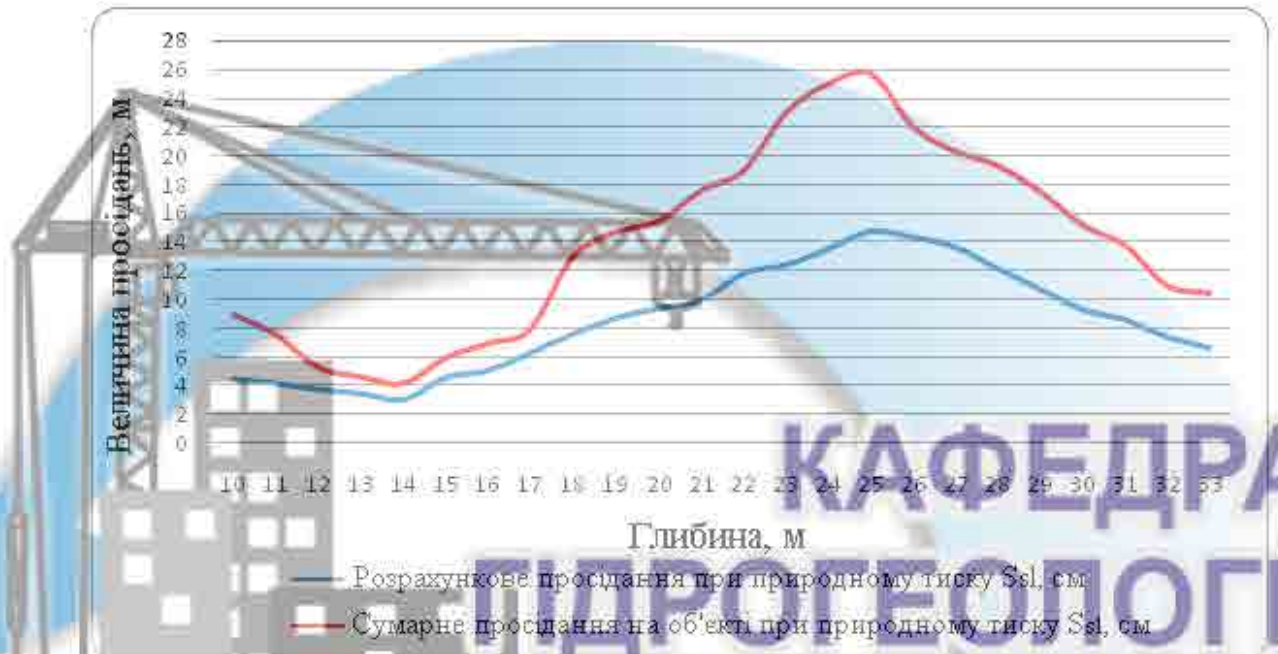


Рисунок 5.6 – Порівняння розрахункового та сумарного просідання при природному тиску

Тут варто відзначити, що через різну глибину залягання обводнених ґрунтів і площі їх поширення в даний час в контурі будівлі ґрунти дуже відрізняються за вологістю і параметрами, що власне і відображається на отриманих розрахунках просадки. Зволоження ґрунтового масиву відбувалося нерівномірно, що і спричинило нерівномірне поширення просадок ж/к «Славний» по вул. Сімферопольська, 11.

5.4. Вибір та обґрунтування найбільш ефективної технології зміцнення масиву

Для запобігання прояву деформацій у подальшому та нормальній експлуатації будівель необхідно виконати:

водозахисні заходи:

- упорядкувати поверхневий стік шляхом влаштування водовідвідних заасфальтованих каналів; зробити ревізію водонесучих комунікацій, ліквідувати існуючі витоки та, за необхідності, зробити заміну всієї мережі водонесучих комунікацій;

- суворо дотримуватися норм та правил експлуатації водонесучих комунікацій, відремонтувати навколо будівлі вимощення, ширина яких повинна бути не менше 2.0 м.

конструктивні заходи:

- посилення конструкцій та фундаментів будівель;
- постійний контроль за станом водонесучих комунікацій, наземних будівельних конструкцій, вимощення, організація контролю за водоспоживанням та водовідведенням;

- продовжити тривалі геодезичні спостереження за осіданнями будівель до повної стабілізації.

З раніше розглянутих методів, найбільш перспективним методом зміцнення масиву є ін'єкційна цементация ґрунтів низхідним способом з подачею цементацийної суміші під тиском, саме цим способом було рекомендовано зміцнити ґрунти основи об'єкту на вул. Сімферопольська, 11 [13].

Метод високонапірної цементация ґрунтів. Цей метод застосовують для закріплення ґрунтових основ як нижче, так і вище за рівнем підземних вод. На відміну від класичного методу цементация, в даному випадку при нагнітанні водно-цементної або водно-цементно-силікатної суміші створюється такий тиск, при якому відбувається руйнування ґрунту в деякій зоні з утворенням гідророзривів та тріщин.

У ці тріщини відбувається проникнення водно-силікатно-цементної суміші, яка згодом твердне. При цьому під впливом тиску в суміші, що нагнітається, відбувається додаткове ущільнення основи. Крім того, заповнені бетоном тріщини та свердловини утворюють просторову структуру підвищеної міцності. Таким чином, метод, що розглядається,

має ознаки конструктивних методів (оскільки при його використанні відбувається армування основи), методів ущільнення (оскільки при його використанні відбувається ущільнення ґрунту) і методів закріплення (оскільки в даному випадку, за рахунок фізико-хімічних процесів, утворюються додаткові міцні міжчасткові зв'язки). Тому цей метод слід класифікувати як комбінований.

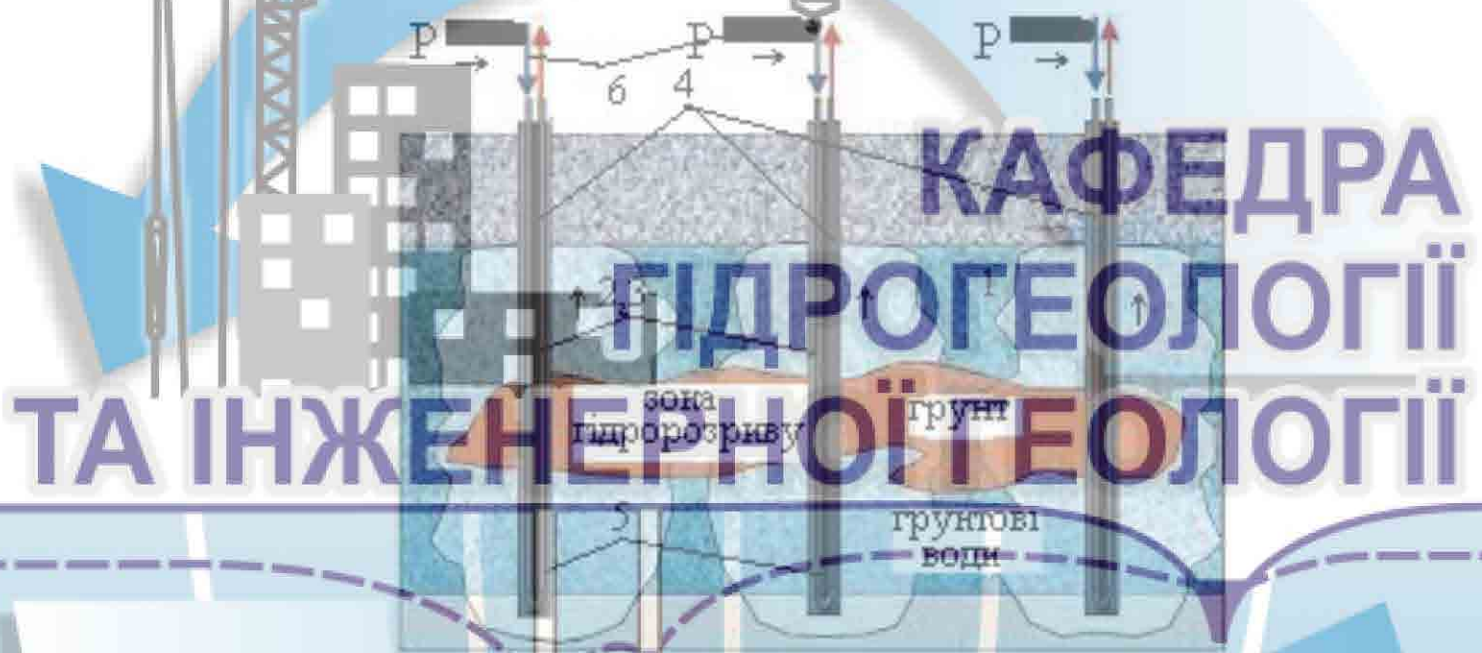


Рисунок 5.7 – Схема процесу високонапірної цементації «знизу-вгору»: 1 – основа природної структури, 2 – свердловина, 3 – зона ін'єктування, 4 – обсадна труба, 5 – цементно – силікатна пробка, 6 – трубопровід для подачі суміші, P – тиск у суміші, що нагнітається

До переваг методу високонапірної цементації відносяться:

1. Повна відсутність динамічних впливів на ґрунт і у зв'язку з цим - можливість використання даного методу при реконструкції будівель та споруд, а також можливість проведення робіт в умовах тісної міської забудови

2. Комбінований вплив на ґрунт, який включає:

- утворення нових та зміцнення старих міжчасткових зв'язків;

- ущільнення основ під впливом підвищеного надлишкового тиску в розчині, що нагнітається;

- створення просторової структури, яка включає регулярно розташовані вертикальні армуючі елементи підвищеної міцності з цементно-піщаної суміші і хаотично розташовані горизонтальні прошарки.

3. Відносно висока міцність закріпленої таким способом основи.

4. Можливість усунення даним методом просадних властивостей ґрунту.

5. Можливість "консервації" відвалів високотоксичних, радіоактивних та інших відходів без їх розробки (тобто при мінімальному контакті робітників, які виконують роботи із захоронення відходів, що підлягають утилізації).

6. Можливість виправлення даним методом кренів висотних споруд.

7. Можливість проведення робіт вище та нижче рівня підземних вод.

Основними недоліками методу закріплення основ з використанням методу високонапірної цементації є:

1. Практично повна відсутність рекомендацій щодо вибору технологічних параметрів процесу.

2. Уявлення, що склалося в даний час про те, що метод цементації має місце застосування тільки в ґрунтах з високим коефіцієнтом фільтрації [13].

При нагнітанні цементного розчину конструкція свердловин має бути обрана з урахуванням конкретних геологічних умов, прийнятої технологічної схеми та відповідати вимогам щодо забезпечення якісної цементації ґрунтового масиву. Так само слід врахувати, що при виконанні геологічних вишукувань на дослідній ділянці в ґрунті були виявлені вертикальні, пронизливі тріщини, промоїни, порожнини та порожнечі, що виникли в процесі замочування та проявів ґрунтом просадних властивостей. Тільки після заповнення перерахованих вище порушень, слід приступити до цементації ґрунтового масиву.

ВИСНОВОК

Диплом є закінченою кваліфікаційною роботою, у якій обґрунтовано параметри стійкості льосових масивів надзаплавних терас м.Дніпра при виборі методів їх зміцнення.

Варто зазначити, що в процесі написання роботи були розглянуті процеси, що визначають зміну властивостей масивів льосових порід при їх інженерній меліорації. А також значимість і критерії застосування кожного з методів по зміцненню схилів, які зазнали деформацій. На прикладі розрахункових характеристик та інженерно-геологічних умов були подані рекомендації щодо відповідного зміцнення масиву льосових порід.

Показано, що при практичному впровадженні методів зміцнення ґрунтів потрібно не тільки правильно і всебічно враховувати властивості та генезис оброблюваних ґрунтів, але й правильно використовувати всі фактори, що визначають природничо-історичну обстановку, в якій надалі будуть експлуатуватися будівлі та споруди. Слід виділити, що головне завдання різних методів зміцнення ґрунтів — створення нових матеріалів, які відповідали б усім технічним вимогам, що впливають з умов роботи тієї інженерної споруди, для якої вони створюються. При цьому має максимально враховуватися та використовуватися вплив навколишніх природних умов (геології, гідрогеології, клімату, рослинності). Знайти правильне рішення у виборі застосовуваних методів і речовин, що перетворюють первісні властивості ґрунту, можна лише при комплексному обліку природно - історичних умов, а, отже, на основі пізнання властивостей та складу ґрунтів, що вивчаються методами, що встановилися і в інженерній геології та ґрунтознавстві.

Також необхідно вказати, що у технічній меліорації ґрунтів винайдено багато небезпечного з екологічного погляду. Наприклад, бітумізація або припинення розчинення карбонатних порід щавлевою

кислотою (утворюється аксалат кальцію, який у воді не розчинний). Оскільки це небезпечно, то ці методи заборонені в Європі і частково у нас.

На закінчення слід зазначити, що у майбутньому слід очікувати подальшого розвитку методів поліпшення властивостей ґрунтів.

Кожного року обсяг будівельних робіт зростає. Будівельникам доведеться освоювати райони з несприятливими для будівництва ґрунтами. Зростатиме капітальність споруд, що підвищить вимоги до міцнісних та деформаційних характеристик ґрунтів. Для вирішення всіх цих завдань необхідно глибше розуміння природи ґрунтів, подальший розвиток технічної меліорації.

Всі заплановані у роботі завдання виконано у повному обсязі. Здійснено опис загальних, гідрогеологічних, морфологічних, особливостей району досліджень, а також, надано характеристику товщі масиву льосових порід. Виконано розрахунок просідання, порівняння розрахункових даних, розробка рекомендацій для стабілізації деформацій досліджуваного об'єкта.



СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абелев Ю.М., Абелев М.Ю. Основи проектування та будівництва на просадних макропористих ґрунтах. М.: Будвидав, 1968. 432 с.
2. Ананьєв В.П. Мінералогічний склад та властивості льосових порід. Вид-во Ростовського університету, 1964. 143 с.
3. Ананьєв В.П. Технічна меліорація льосових ґрунтів. Вид-во Ростовського університету, 1976. 120 з.
4. Бондарік Г.К., Горальчук М.І., Сироткін В.Г., Закономірності просторової мінливості льосових порід. - М.: Надра, 1976. - 234 с.
5. Власов С.Ф., Максимова Н.А. Підвищення стійкості зсувнонебезпечних схилів за допомогою струминної технології закріплення ґрунтів. - Д., Національний гірничий університет, 2010. - 143 с.
6. Воронкевич С.Д. Основи технічної меліорації ґрунтів. М.: Науковий світ, 2005. 504 с.
7. Гольдштейн М.М. Механічні властивості ґрунтів. - М.: Будвидав, 1973. - 375 с.
8. Горькова І.М., Коробанова І.Г., Окніна Н.А., Реутова Н.С., Сафокіна І.А., Чепік В.Ф. Природа міцності та деформаційні особливості глинистих порід залежно від умов формування та зволоження. - М.: Видавництво АН СРСР, 1961. - 156 с.
9. Далматов Б.І. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти. Ленінград, Будвидав, 1988 - 416 с.
10. Денисов Н.Я. Будівельні властивості льосу та льосовидних суглинків. М.: Держбудвидав, 1953. 154с.
11. Електронний ресурс
<http://www.alcomp.ru/proectirovanie/inzhenernaya-zashchita-opolzni>
12. Електронний ресурс <https://uccr.su/news/articles/365/>

13. Висновок за результатами проведення робіт на дослідній ділянці посилення основ фундаментів житлового комплексу «Славний» по вул. Сімферопольській, 11 у м. Дніпропетровську. 2011. 44 с.

14. Звіт з надання науково-дослідних послуг з обґрунтування умов формування підземних вод на території ж/м «Тополя-2», м.Дніпропетровськ. 2012. 95 с.

15. Крутов В.І. Основи та фундаменти на просадних ґрунтах. Київ: Будівельник, 1982. 224 с.

16. Ларіонов А.К., Приклонський В.А., Ананьєв В.П. Льосові породи СРСР та його будівельні властивості. - М.: Держгеолтехвидав, 1959. - 367 с.

17. Лебедев В.І. Основи енергетичного аналізу геохімічних процесів - Л.: Видавництво Ленінградського університету, 1957. - 342с.

18. Льосові породи СРСР. Том 1. Інженерно-геологічні особливості та проблеми раціонального використання. За ред. Є.М. Сергєєва, А.К. Ларіонова, Н.М. Комісарової. - М.: Надра, 1986. - 232 с.

19. Льосові породи СРСР. 2. Регіональні особливості. За ред. Є.М. Сергєєва, А.К. Ларіонова, Н.М. Комісарової. - М.: Надра, 1986. - 276 с.

20. Льосові породи України. За ред. Бондарчука В.Г. - К.: Видавництво АН Української РСР, 1957. - 186 с.

21. Літвінов І.М. Зміцнення та ущільнення просадних ґрунтів у житловому та промисловому будівництві. Київ: Будівельник, 1977. 184 с.

22. Ломізе Г.М. Фільтрування в тріщинуватих породах. - М.-Л.: Державне енергетичне видавництво, 1951. - 127 с.

23. Ликов А.В. Явища переносу у капілярно-пористих тілах. - М.: Державне видавництво техніко-теоретичної літератури, 1954. - 296 с.

24. Малишев М.В. Міцність ґрунтів та стійкість основ споруд. - М.: Будвидав, 1980. - 136 с.

25. Маслов Н.М. Механіка ґрунтів у практиці будівництва (Зсуви та боротьба з ними). М: Вища школа, 1968. 295 с.

26. Маслов Н.М. Основи інженерної геології та механіки ґрунтів. М.: Вища школа, 1982. 511 с.
27. Месчан С.Р. Експериментальна реологія глинистих ґрунтів. - М.: Надра, 1985. - 342 с.
28. Мокрицька Т.П. Закономірності деградації властивостей льосового масиву в умовах техногенезу/Т. П. Мокрицька// Геол. журн. - 2013. - № 1. - С. 73-79.
29. Мустафаєв А.А. Основи механіки просадних ґрунтів. - М.: Будвидав, 1978. - 263 с.
30. Мустафаєв А.А. Фундаменти на просадних і набухаючих ґрунтах. М.: Вища школа, 1989. 578 с.
31. Науково-технічний звіт про інженерно-геологічні роботи для визначення переліку заходів щодо ліквідації деформацій просідання та пошкодження конструкцій будівлі по вул. Сімферопольська 11 у м. Дніпропетровську № 8103/83. - Дніпропетровськ, 2010. Мін. регіон розвитку та будівництва України. ДніпроДІНТР, 114 с.
32. Звіт про інженерно-геодезичні дослідження по об'єкту: «ОСББ «ЖК Славний». Геодезичні спостереження за житловим будинком на вул. Сімферопольська, 11» 15070/1 ДС11-1-ЖДС11-ТІ 1.ТО Дніпропетровськ, 2016. 17с.
33. Посібник з проектування основ будівель та споруд (до БНіП 2.02.01.-83). М.: Будвидав, 1986. 416 с.
34. Рекомендації щодо вибору методів розрахунку коефіцієнта стійкості схилу та зсувного тиску. Укрспецбудпроект. - М.: ЦБНТІ, 1986. - 86 с.
35. Садовенко І.О., Власов С.Ф., Максимова-Гуляєва Н.О. Обґрунтування можливості використання струминної технології закріплення ґрунтових схилів на основі аналізу протизсувних заходів // Науковий вісник НГАУ. - 2002. № 5. - С. 31-33.

36. Садовенко І.О., Деревягіна Н.І. Про потенціал активації зсувного льосового масиву // Науковий вісник НГУ. - 2012. - № 2. - С. 80-84.

37. Садовенко І.О., Деревягіна Н.І. Експериментальні дослідження суффозійних та ерозійних деформацій лісових порід / Вісник Кременчуцького нац. ун-ту імені Михайла Остроградського. - 2013. - № 4 (81). - С. 126-131.

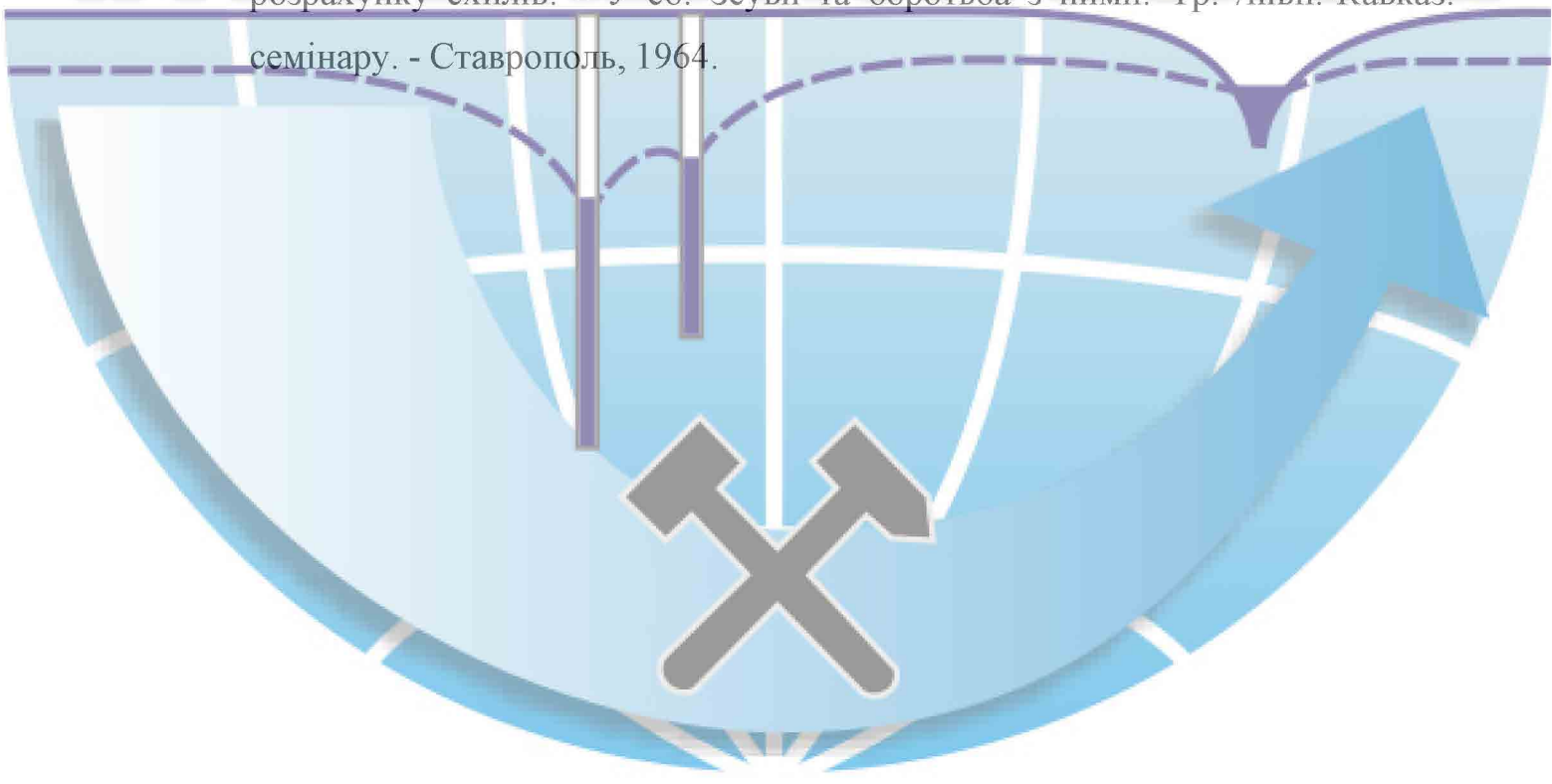
38. Трофімов В.Т. Інженерна геологія масивів льосових порід. М.: Книжковий будинок, 2008. 398 с.

39. Федоров І.В. Методи розрахунку стійкості схилів та укосів. - М.: Держбудвидав, 1962. - 317 с.

40. Ферсман А.С. Геохімія. Том 1. Ленінград.: Держхімтехвидав, 1934. 324 с.

41. Шахуняц Г.М. До питання вибору оптимальних способів розрахунку схилів. - У сб.: Зсуви та боротьба з ними: Тр. /півн.-Кавказ. семінару. - Ставрополь, 1964.

КАФЕДРА
ГІДРОГЕОЛОГІЇ
ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



Додаток 1



Величини просідання за ІГЕ

Фізико – механічні властивості порід досліджувальної ділянки
(відповідно звіту [31], мовою оригіналу)

Насыпные грунты (ИГЭ–1) супесчаный заполнитель характеризуется влажностью 0.05–0.16 д.ед. твердой консистенцией, в зоне замачивания (ИГЭ–1') влажность увеличивается до 0.18–0.21 д.ед. консистенция пластичная у супесчаных разностей и тугопластичная у суглинистых.

Супеси лессовые (ИГЭ–3) вне зоны замачивания имеют влажность 0.05–0.18 д.ед. (нормативное значение 0,11 д.ед.), твердую консистенцию (показатель текучести <0), плотность грунта 1.57–1.60 г/см³ (нормативное значение 1.59 г/см³), плотность сухого грунта 1.43–1.44 г/см³ (нормативное значение 1.43 г/см³). По коэффициенту пористости 0.85 – высокопористые.

Модуль общей деформации для грунтов природной влажности равен 11,0 МПа; при условии их водонасыщения – 3.5 МПа. Снижение значения модуля общей деформации при водонасыщении в 3.27 раза (коэффициент изменчивости сжимаемости). Прочностные характеристики в природном состоянии: угол внутреннего трения 25°, удельное сцепление 22.0 кПа; при полном водонасыщении – угол внутреннего трения 24°, удельное сцепление 7.0 кПа.

Супеси лессовые способны к просадке при водонасыщении только при дополнительном давлении. Нормативное значение начального просадочного давления – 100 кПа.

Супеси лессовые (ИГЭ–3') (грунты в замоченной зоне) характеризуются влажностью 0.18–0.23 д.ед. (нормативное значение 0.20 д.ед.), пластичной консистенцией (показатель текучести 0.28), плотностью грунта – 1.87–1.89 г/см³ (нормативное значение 1.88 г/см³), плотностью сухого грунта 1.53–1.60 г/см³ (нормативное значение 1.57 г/см³). По коэффициенту пористости 0.70 – низкопористые.

Модуль общей деформации грунтов равен 3.5 МПа. Прочностные характеристики: угол внутреннего трения 24°, удельное сцепление 7.0 кПа.

Суглинки лессовые (ИГЭ–4) вне зоны замачивания имеют влажность 0.13–0.15 д.ед. (нормативное значение 0.14 д.ед.), твердую консистенцию (показатель текучести <0), плотность грунта – 1.63–1.72 г/см³ (нормативное значение 1.69 г/см³), плотность сухого грунта – 1.43–1.51 г/см³ (нормативное значение 1.48 г/см³). По коэффициенту пористости 0.80 – высокопористые.

Модуль общей деформации для грунтов природной влажности равен 14.0 МПа; при условии их водонасыщения – 4.0 МПа. Снижение значения модуля общей деформации при водонасыщении в 3.77 раза (коэффициент изменчивости сжимаемости). Прочностные характеристики в природном состоянии: угол внутреннего трения 28°, удельное сцепление 29.0 кПа; при полном водонасыщении грунта – угол внутреннего трения 26°, удельное сцепление 11.0 кПа.

Суглинки лессовые способны к просадке при водонасыщении как при природных нагрузках, так и при дополнительном давлении. Нормативное значение начального просадочного давления – 90 кПа.

Суглинки лессовые (ИГЭ–4') (в замоченной зоне). Влажность изменяется от 0.16 до 0.25 д.ед. (нормативное значение 0.19 д.ед.), консистенция тугопластичная (показатель текучести 0.32) (в отдельных интервалах полутвердая, мягкопластичная), плотность грунта 1.80–1.87 г/см³ (нормативное значение 1.84 г/см³), плотность сухого грунта 1.47–1.53 г/см³ (нормативное значение 1.54 г/см³). По коэффициенту пористости 0.73 – низкопористые. Модуль общей деформации грунтов равен 4.0 МПа. Прочностные характеристики грунта – угол внутреннего трения 26°, удельное сцепление 11.0 кПа.

Супеси лессовые (ИГЭ–5) вне зоны замачивания имеют влажность 0.09–0.14 д.ед. (нормативное значение 0.12 д.ед.), твердую консистенцию (показатель текучести <0), плотность грунта – 1.69–1.71 г/см³ (нормативное значение 1.70 г/см³), плотность сухого грунта 1.54–1.57 г/см³ (нормативное значение 1.53 г/см³). По коэффициенту пористости 0.75 – низкопористые.

Модуль общей деформации для грунтов природной влажности равен 20.0МПа; при условии их водонасыщения – 6.5МПа. Снижение значения модуля общей деформации при водонасыщении в 3.22 раза (коэффициент изменчивости сжимаемости). Прочностные характеристики в природном состоянии: угол внутреннего трения 26° , удельное сцепление 39.0кПа; при полном водонасыщении грунта – угол внутреннего трения 26° , удельное сцепление 9.0кПа.

Супеси лессовые способны к просадке при водонасыщении как при природных нагрузках, так и при дополнительном давлении. Нормативное значение начального просадочного давления – 140кПа.

Супеси лессовые (ИГЭ-5') (в замоченной зоне). Влажность изменяется от 0.16 до 0.24д.ед. (нормативное значение 0.19д.ед.), консистенция пластичная (показатель текучести 0.61), плотность грунта 1.82–1.90г/см³ (нормативное значение 1.86г/см³), плотность сухого грунта 1.53–1.55г/см³ (нормативное значение 1.56г/см³). По коэффициенту пористости 0.76 – низкопористые. Модуль общей деформации равен 6.5МПа. Прочностные характеристики – угол внутреннего трения 26° , удельное сцепление 9.0кПа.

Суглинки лессовые (ИГЭ-6) вне зоны замачивания имеют влажность 0.14– 0.15д.ед. (нормативное значение 0.14д.ед.), твердую консистенцию (показатель текучести <0), плотность грунта 1.73 –1.76г/см³ (нормативное значение 1.75г/см³), плотность сухого грунта 1.52–1.54г/см³ (нормативное значение¹ 1.53г/см³). По коэффициенту пористости 0.75 – низкопористые.

Модуль общей деформации для грунтов природной влажности равен 12.0МПа; при условии их водонасыщения – 7.5МПа. Снижение значения модуля общей деформации при водонасыщении в 1.68 раза (коэффициент изменчивости сжимаемости). Прочностные характеристики в природном состоянии: угол внутреннего трения 28° , удельное сцепление 32.0кПа; при полном водонасыщении грунта– угол внутреннего трения 24° , удельное сцепление 14.0кПа.

Суглинки лессовые способны к просадке при водонасыщении как при природных нагрузках, так и при дополнительном давлении. Нормативное значение начального просадочного давления – 180кПа.

Суглинки лессовые (ИГЭ–6') (в зоне замачивания). Влажность изменяется от 0.19 до 0.22д.ед. (нормативное значение 0.20д.ед.), консистенция тугопластичная (показатель текучести 0.49) (в отдельных интервалах полутвердая, мягкопластичная)0, плотность грунта 1.85–1.88г/см³ (нормативное значение 1.87г/см³), плотность сухого грунта 1.53–1.57г/см³ (нормативное значение 1.55г/см³).

Модуль общей деформации для грунтов равен 7.5МПа. Прочностные характеристики – угол внутреннего трения 24°, удельное сцепление 14.0кПа.

Супеси лессовые (ИГЭ–7) вне зоны замачивания имеют влажность 0.12–0.16д.ед. (нормативное значение 0.14 д.ед.), твердую консистенцию (показатель текучести <0), плотность грунта– 1.75 –1.81 г/см³ (нормативное значение 1.79г/см³), плотность сухого грунта154–1.61 г/см³ (нормативное значение 1.58г/см³). По коэффициенту пористости 0.69 – низкопористые.

Модуль общей деформации для грунтов природной влажности равен 26.0МПа при нагрузках 0.1–0.2МПа возрастая до 35.0МПа при нагрузке 0.5–0.6МПа; при условии их водонасыщения – 9.0МПа при нагрузке 0.1–0.2МПа и возрастает до 13.0МПа при нагрузках 0.5–0.6МПа. Снижение значения модуля общей деформации при водонасыщении в 2.60–2.81 раза (коэффициент изменчивости сжимаемости). Прочностные характеристики в природном состоянии: угол внутреннего трения 28°, удельное сцепление 26.0кПа; при полном водонасыщении грунта – угол внутреннего трения 27°, удельное сцепление 6,0кПа.

Супеси лессовые способны к просадке при водонасыщении как при природных нагрузках, так и при дополнительном давлении. Нормативное значение начального просадочного давления – 200кПа.

Супеси лессовые (ИГЭ–7') (в замоченной зоне). Влажность изменяется от 0.17 до 0.25д.ед. (нормативное значение 0.20д.ед.),

консистенция пластичная (показатель текучести 0.48), плотность грунта 1.84–1.93г/см³ (нормативное значение 1.88г/см³), плотность сухого грунта 1.54–1.57г/см³ (нормативное значение 1.56г/см³). По коэффициенту пористости 0.71 – низкопористые. Модуль общей деформации равен 13.0МПа. Прочностные характеристики: угол внутреннего трения 27°, удельное сцепление 6.0кПа.

Супеси лессовые (ИГЭ–8) вне зоны замачивания имеют влажность 0.11–0.17д.ед. (нормативное значение 0.14 д.ед.), твердую консистенцию (показатель текучести <0), плотность грунта– 1.80 –1.92г/см³ (нормативное значение 1.86г/см³), плотность сухого грунта 1.59–1.68г/см³ (нормативное значение 1,63г/см³). По коэффициенту пористости 0.64 – низкопористые.

Модуль общей деформации для грунтов природной влажности равен 22.0МПа при нагрузках 0.1–0.2МПа возрастая до 40.0МПа при нагрузке 0.5–0.6МПа; при условии их водонасыщения – 14.0МПа при нагрузке 0.1–0.2МПа и возрастает до 24.0МПа при нагрузках 0.5–0.6МПа. Снижение значения модуля общей деформации при водонасыщении в 1.48–1.75 раза (коэффициент изменчивости сжимаемости). Прочностные характеристики в природном состоянии: угол внутреннего трения 28°, удельное сцепление 26.0 кПа; при полном водонасыщении грунта – угол внутреннего трения 27°, удельное сцепление 8.0кПа.

Супеси лессовые способны к просадке при водонасыщении как при природных нагрузках, так и при дополнительном давлении. Нормативное значение начального просадочного давления – 510 кПа.

Супеси лессовые (ИГЭ–8') (в замоченной зоне). Влажность изменяется от 0.17 до 0.20д.ед. (нормативное значение 0.18д.ед.), консистенция пластичная (показатель текучести 0.30), плотность грунта 1.91–1.96г/см³ (нормативное значение 1.93г/см³), плотность сухого грунта 1.63–1.66г/см³ (нормативное значение 1.64г/см³). По коэффициенту пористости 0.63 – низкопористые.

Модуль общей деформации равен 24.0МПа. Прочностные характеристики: угол внутреннего трения 27°, удельное сцепление 8.0кПа.

Пески кварцевые (ИГЭ–10) мелкие, неоднородные, плотные, маловлажные. Природная влажность составляет 0.05–0.11 д.ед. (нормативное значение 0,10 д.ед.). Плотность грунта 1.85г/см^3 , плотность сухого грунта 1.69г/см^3 . В гранулометрическом составе преобладает песчаная фракция размером 0.10–0.25 мм содержанием 14.00–67.49% (нормативное значение 54.58%).

Нормативное значение модуля общей деформации песков равно 35,0 МПа, угла внутреннего трения 35° , удельного сцепления 3.5 кПа.

Пески кварцевые (ИГЭ–10а) мелкие, однородные, плотные, насыщенные водой. Природная влажность составляет 0.18 д.ед. Плотность грунта 2.00г/см^3 , плотность сухого грунта 1.69г/см^3 .

В гранулометрическом составе преобладает песчаная фракция размером 0.10–0.25 мм содержанием 58.03–71.20% (нормативное значение 66.20%). Нормативное значение модуля общей деформации песков равно 36,0 МПа, угла внутреннего трения 35° , удельного сцепления 3.5 кПа.

КАФЕДРА
ГІДРОГЕОЛОГІЇ
ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

