

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський)

на тему: «Технологія влаштування ін'єкційної гідроізоляції з мінеральних компонентів для будівель, що експлуатуються»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1922-пцб-1
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна
інженерія»

освітньої програми «Промислове і цивільне
будівництво»

Павлов О.В.

Керівник доц., к.т.н. Самченко Р.В.

Рецензент проф., д.т.н. Банах В.А.

Запоріжжя
2023 рік

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра Промислового та цивільного будівництва
Рівень вищої освіти другий магістерський рівень
Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
(шифр та назва)
Освітньо-професійна програма «Промислове і цивільне будівництво»
(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ПЦБ
проф. Арутюнян І.А.
« » 20 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Павлову Владиславу Вадимовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Технологія влаштування ін'єкційної гідроізоляції з мінеральних компонентів для будівель, що експлуатуються

Керівник роботи Самченко Роман Васильович, к.т.н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «01» травня 2023 року №637-с

2 Строк подання студентом роботи 30.11.2023 р.







3 Вихідні дані до роботи Актуальність обраного напрямку досліджень, значимість у сучасному житті, можливості розв'язання проблематики, перспективи впровадження майбутніх досягнень, мета роботи, завдання до виконання обраних досліджень, об'єкт досліджень, предмет досліджень

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Провести аналіз нормативних документів, вітчизняного та зарубіжного досвіду в галузі технології влаштування гідроізоляції підземної частини будівель. Виконати дослідження технологічних параметрів виконання робіт з влаштування ін'єкційної гідроізоляції підземних частин будівель у стиснених умовах при усуненні тріщин ненаскрізного характеру методом хронометражних вимірювань.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Від восьми графічних аркушів із результатами аналітичних

обґрунтувань наукового напрямку досліджень, результатів експериментальних досліджень, доказами оптимальності запропонованих методик, результатами чисельних розрахунків із застосуванням сучасних інформаційних методів досліджень

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Самченко Р.В., доц.		
Розділ 2	Самченко Р.В., доц.		
Розділ 3	Самченко Р.В., доц.		

7 Дата видачі завдання 19.05.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Розділ 1 Аналіз нормативно-правової, нормативно технічної бази та наукових досліджень в галузі способів влаштування гідроізоляції підземної частини будівель, що експлуатуються	22 вересня	
2	Розділ 2 Експериментальне дослідження технологічних параметрів пристрої ін'єкційної гідроізоляції на основі бентонітових глин	20 жовтня	
3	Розділ 3 Удосконалення технології влаштування підземної гідроізоляції ін'єкційним складом на основі бентонітових глин	30 листопада	

Студент



(підпис)

О.В.Павлов

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи

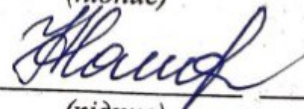


(підпис)

Р.В. Самченко

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено



(підпис)

Н.О. Данкевич

(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Павлов О.В. Технологія влаштування ін'єкційної гідроізоляції з мінеральних компонентів для будівель, що експлуатуються.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник Р.В. Самченко. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні, кафедра промислового та цивільного будівництва, 2023.

Формалізовані основні структурні елементи технологічних процесів при влаштуванні ін'єкційної гідроізоляції підземної частини будівлі у обмежених умовах. Встановлені параметри технологічних процесів при влаштуванні ін'єкційної гідроізоляції, регламентовані результатами експериментальних та чисельних досліджень. Розроблено технологічну послідовність та схеми виконання робіт з влаштування комплексної підземної гідроізоляції ін'єкційним складом на основі бентонітових глин зі створенням притискної стінки. Визначено чисельний та кваліфікаційний склад робітників під час виконання робіт з влаштування підземної гідроізоляції ін'єкційним складом на основі бентонітових глин.

Ключові слова: ін'єкційна гідроізоляція, технологічний процес, хронометражні дослідження, обмежені умови.

Список публікацій магістранта:

Павлов О.В., Самченко Р.В. Технологія влаштування ін'єкційної гідроізоляції з мінеральних компонентів для будівель, що експлуатуються. Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» (17-20 жовтня 2023 р., м. Запоріжжя). Запоріжжя: ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ, 2023.

ABSTRAKT

Pavlov O.V. Technology of installation of injection waterproofing from mineral components for buildings in use.

Qualifying thesis for obtaining a master's degree of higher education in specialty 192 - Construction and civil engineering, supervisor R.V. Samchenko. Zaporizhzhia National University. Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebny, Department of Industrial and Civil Engineering, 2023.

Formalized the main structural elements of technological processes during the arrangement of injection waterproofing of the underground part of the building in limited conditions. The established parameters of technological processes during the installation of injection waterproofing, regulated by the results of experimental and numerical studies. The technological sequence and schemes for the installation of complex underground waterproofing with an injection composition based on bentonite clay with the creation of a pressure wall have been developed. The numerical and qualified composition of workers during the execution of works on the installation of underground waterproofing with an injection composition based on bentonite clay was determined.

Key words: injection waterproofing, technological process, timing studies, limited conditions.

List of publications of the master's student:

Pavlov O.V., Samchenko R.V. Technology of installation of injection waterproofing from mineral components for buildings in use. Materials of the III All-Ukrainian scientific and practical conference with the participation of young scientists "Current issues of sustainable scientific, technical and socio-economic development of the regions of Ukraine" (October 17-20, 2023, Zaporizhzhia). Zaporizhzhia: INNI named after Yu.M. Potebni ZNU, 2023.

ЗМІСТ:

ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЇ, НОРМАТИВНО ТЕХНІЧНОЇ БАЗИ ТА НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В ГАЛУЗІ СПОСОБІВ ВЛАШТУВАННЯ ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ ПІДЗЕМНОЇ ЧАСТИНИ БУДІВЕЛЬ, ЩО ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ	11
1.1 Нормативна база, досвід та перспективи розвитку влаштування гідроізоляції підземної частини будівель у стиснених умовах	11
1.2 Закордонний досвід влаштування гідроізоляції підземної частини будівель та нормативна база	21
1.3 Створення основних стратегій для вдосконалення технологій гідроізоляції підземних частин будівель у складних умовах	25
2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИСТРОЇ ІН'ЄКЦІЙНОЇ ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ НА ОСНОВІ БЕНТОНІТОВИХ ГЛИН	28
2.1 Технологічні особливості влаштування вуальної ін'єкційної гідроізоляції	28
2.2 Загальна інформація щодо будови та характеристик глин бентонітового походження	33
2.3 Оцінка впливу кількості бентонітової глини на технічні властивості гідроізоляційного складу	36
2.4 Розрахунок параметрів ін'єктування гідроізоляційних складів на основі бентонітових глин	48
3 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВЛАШТУВАННЯ ПІДЗЕМНОЇ ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ ІН'ЄКЦІЙНИМ СКЛАДОМ НА ОСНОВІ БЕНТОНІТОВИХ ГЛИН	55
3.1 Технологічна послідовність виконання робіт при влаштуванні ін'єкційної гідроізоляції	55

3.2 Технологічна послідовність виконання робіт при влаштуванні комплексної ін'єкційної гідроізоляції з притискною стінкою	63
3.3 Дослідження технологічних процесів влаштування ін'єкційної гідроізоляції методом хронометражних вимірювань	72
3.4 Визначення чисельного та кваліфікаційного складу робітника при влаштуванні ін'єкційної гідроізоляції	85
ВИСНОВКИ	94
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	95

ВСТУП

Актуальність теми. В межах високопріоритетних національних ініціатив, програм державного розвитку та ухвалених урядом України рішень успішно втілюються проекти реструктуризації та повноцінного відновлення об'єктів будівництва.

Окрім стратегій державної політики, що спрямовані на покращення якості обраного середовища для громадян України, важливим фактором для збільшення обсягів ремонтних робіт, зокрема гідроізоляційних, стає значна кількість будівель, споруджених до 2006 року, з використанням гідроізоляційних матеріалів на основі бітуму та бітумно-полімерних сумішей, які мають обмежений термін служби всього 15-25 років.

В даний момент відзначається зростання темпів проведення робіт, спрямованих на ремонт та відновлення гідроізоляції підземних конструкцій існуючих будівель. Це призводить до очікуваного зростання загальної кількості гідроізоляційних ремонтів приблизно на 50% до 2025 року.

Важливим є відзначити, що зростання конкуренції спонукає внутрішніх виробників до створення власних гідроізоляційних матеріалів, а також до розробки та впровадження нових технологій для гідроізоляції. З урахуванням цих аспектів, пошук найбільш ефективного технологічного рішення для гідроізоляції підземних конструкцій експлуатованих будівель, особливо в умовах щільної міської забудови, стає надзвичайно необхідним.

Метою **магістерської роботи** є удосконалення технології ін'єкційної гідроізоляції підземних частин експлуатованих будівель за умов обмежених ресурсів.

Для досягнення визначеної мети у цьому магістерському дослідженні розглядаються такі **основні завдання**:

- аналіз нормативних актів, вітчизняного та міжнародного досвіду у сфері технології гідроізоляції підземної частини будівель;
- формування структури та послідовності технологічних процесів та операцій з влаштування ін'єкційної гідроізоляції підземних частин будівель в умовах обмежених ресурсів;
- дослідження технологічних параметрів виконання робіт з влаштування ін'єкційної гідроізоляції підземних частин будівель в умовах обмежених ресурсів при усуненні тріщин ненаскрізного характеру методом хронометражних вимірювань;
- визначення раціональних конфігурацій технологічних процесів для влаштування ін'єкційної гідроізоляції підземних частин будівель в умовах обмежених ресурсів.

Об'єкт дослідження — є технологічний процес впровадження ін'єкційної гідроізоляції підземної частини будівлі в умовах з обмеженими ресурсами.

Предмет дослідження — Основні параметри технологічних процесів для влаштування ін'єкційної гідроізоляції підземних частин будівлі в обмежених умовах.

Методи досліджень включали вивчення та аналіз міжнародного досвіду та узагальнення технологічних рішень, що використовуються в галузі будівельного виробництва.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

- формалізовані основні структурні елементи технологічних процесів при влаштуванні ін'єкційної гідроізоляції підземної частини будівлі у обмежених умовах;
- встановлені параметри технологічних процесів при влаштуванні ін'єкційної гідроізоляції, регламентовані результатами експериментальних та чисельних досліджень;
- сформовано склад та послідовність технологічних процесів та

операцій з влаштування ін'єкційної гідроізоляції підземної частини будівлі в обмежених умовах;

Апробація роботи. Основні положення роботи опубліковані на III Всеукраїнській науково-практичній конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» у секції «Промислове та цивільне будівництво» (2023, м. Запоріжжя).

Структура роботи. Структурно робота складається з вступу, трьох розділів, висновків. Загальний обсяг 96 сторінок. Включає 29 рисунків, 12 таблиць, список використаних джерел з 19 пунктів.

1 АНАЛІЗ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЇ, НОРМАТИВНО ТЕХНІЧНОЇ БАЗИ ТА НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В ГАЛУЗІ СПОСОБІВ ВЛАШТУВАННЯ ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ ПІДЗЕМНОЇ ЧАСТИНИ БУДІВЕЛЬ, ЩО ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ

1.1 Нормативна база, досвід та перспективи розвитку гідроізоляції підземної частини будівель у стиснених умовах

У сучасній практиці будівництва, реконструкції та капітального ремонту в Україні надзвичайно актуальним стає застосування технологій влаштування чи відновлення гідроізоляції підземної частини експлуатованих будівель у складних умовах міської забудови. За останнє десятиліття відсоток впровадження гідроізоляції в таких умовах зросло більше ніж у чотири рази. Цей ріст пов'язаний із стабільною тенденцією збільшення обсягів реконструкційних та капітальних ремонтів будівель відповідно до державних програм.

Відновлення водонепроникності підземних конструкцій є значущим та витратним заходом, вартість якого може перевищити первісну вартість гідроізоляції вдесятеро. Тому важливо обрати надійні та довговічні матеріали, які не вимагають частого обслуговування, та вибрати оптимальну технологію гідроізоляції підземної частини будівель з урахуванням різних умов ще на етапі проектування.

З початку ХХ століття в Україні проводяться численні наукові дослідження та роботи, спрямовані на вирішення завдань, пов'язаних із застосуванням гідроізоляційних матеріалів та технологій влаштування гідроізоляції підземних частин будівель. Відсутність надійної гідроізоляції ще

20 років тому призвела до того, що наразі потребує відновлення значна кількість підземних конструкцій будівель.

Питання вдосконалення технологічних процесів в галузі будівництва, реконструкції та капітального ремонту активно досліджували вчені, чії наукові праці стали фундаментом для теоретичної та методологічної основи даного дослідження. Серед них - Афанасьєв А.А., Волосюк Д.В., Грабовий П.Г., Король Є.А., Лапідус А.А., Ляпідевський Б.В., Ляпідевська О.Б., Олійник П.П., Сокова С.Д., Шрейбер К.А. та інші.

Важливо відзначити, що більшість досліджень у галузі розробки технологій гідроізоляції для підземних частин будівель фокусується переважно на удосконаленні матеріалів, і в меншій мірі - на технологіях влаштування гідроізоляції, які включають в себе нові або удосконалені матеріали.

Багато науково-дослідних інститутів України активно займаються питаннями удосконалення технології влаштування та експлуатаційної стійкості гідроізоляційних матеріалів. Це відображається в практиці сучасного будівництва, де під час проектування гідроізоляційних систем все частіше використовують сучасні гідроізоляційні матеріали та відповідні технології.

Також слід відзначити роль держави у розвитку наявної нормативно-технічної бази організаційно-технологічного проектування. В Україні влаштування гідроізоляції будівель має чітке визначення в ряді нормативних правових актів та державних програм.

Зокрема, Закон від 30.12.2009 № 384-ФЗ "Технічний регламент про безпеку будівель та споруд" встановлює загальні вимоги до безпечного перебування людей під час експлуатації будівель та споруд, зокрема, регулює вологості на поверхні і всередині будівельних конструкцій. Для забезпечення надійної функціональності будівель та споруд важливо підтримувати проектні рішення не лише для несучих конструкцій, але й для їх захисних покриттів, які запобігають аварійному стану об'єкта. Технічним регламентом також передбачено необхідність спостережень за деформаціями, тріщинами та

вигинами несучих конструкцій, оскільки їх руйнування може призвести до порушення традиційних гідроізоляційних заходів. Таким чином, вибір гідроізоляції спрямовується в бік еластичних або самозаліковних композицій.

Технологічний регламент виконання будівельно-монтажних робіт при зведенні будівель та споруд від 30.05.2001 № 95.15-01, під назвою "Технологічний регламент влаштування гідроізоляції підземних споруд," встановлює відповідальний порядок проведення будівельно-монтажних операцій з гідроізоляції підземних споруд. Цей регламент призначений для гарантування дотримання нормативних вимог до надійності та якості будівельної продукції [6]. Він визначає порядок використання методів обклеювальної та фарбувальної гідроізоляції.

Ключовим документом на етапі проектування, що впливає на вибір типу гідроізоляції, є "Рекомендації щодо проектування гідроізоляції підземних частин будівель та споруд. Конструктивні деталі гідроізоляції (3-тє видання, доповнене та перероблене)" [8]. Ці рекомендації стосуються захисту підземної частини будівель та споруд, а також заглиблених приміщень та фундаментів колон, стін та обладнання від підземних вод.

У сфері пристосування гідроізоляції до підземних конструкцій будівель важливими стандартами є нормативи, які визначають вимоги до захисту конструктивних елементів від агресивних середовищ, температурних змін та інших чинників [2, 3, 7-9].

Відповідно до цих стандартів, ефективним заходом для захисту будівель від впливу води є створення якісного первинного та вторинного захисту конструкцій. Перший рівень захисту для бетонних конструкцій включає в себе оптимізацію бетонного складу та впровадження відповідних конструктивних рішень, що враховують умови експлуатації. Другий рівень захисту полягає у створенні надійного гідроізоляційного покриття на поверхні конструкцій.

На сьогоднішній день широкого застосування набула технологія обмазування, яка базується на мінеральних складах та легко застосовується на

горизонтальних та вертикальних поверхнях. Ця технологія, яка використовується як при будівництві нових, так і при реконструкції старих будівель, забезпечує створення безшовного гідроізоляційного покриття, яке ефективно взаємодіє з конструкцією та є паропроникливим.

Розкриття вимог та розробка методологічних підходів для підвищення ефективності технології гідроізоляційних систем в галузі будівельного виробництва, з урахуванням чинного законодавства, різноманітно представлені у методичних документах, що мають обов'язковий або рекомендаційний статус.

Наприклад, МДС 12-34.2007 «Гідроізоляційні роботи» конкретизує ключові поняття та принципи застосування гідроізоляційних систем, містить будівельні норми, спрямовані на досягнення високої якості гідроізоляції, що відповідає сучасним вимогам [5]. Документ носить рекомендаційний характер і може бути використаний будівельними організаціями та фахівцями-будівельниками, які займаються виконанням гідроізоляційних робіт. У методичному документі звертається увага на ін'єкційну гідроізоляцію, яка доповнює традиційний підхід, визначений у інших нормативних документах.

Згідно з цим методичним посібником, гідроізоляція - це комплекс заходів, спрямованих на захист кам'яних та залізобетонних будівельних конструкцій від впливу води, яка може бути природного або штучного походження. Цей комплекс гідроізоляційних робіт включає в себе підготовку основи, створення гідроізоляційного шару та захисного огороження, ущільнення деформаційних швів та місць з'єднання гідроізоляції.

Згідно з нормативною документацією, гідроізоляцію поділяють на різні види залежно від напору води:

- Протикапілярна (антифільтраційна), що захищає від проникнення води через напірний тиск, обтікання та капілярний ефект.
- Антикоровійна, призначена для захисту від хімічно агресивних рідин і вод, атмосферного впливу та корозії.

- Протинапірна, яка встановлюється на зовнішній або внутрішній поверхні стін залежно від призначення будівлі.

Класифікація гідроізоляції подається за призначенням, складом матеріалів, технологією укладання та принципом дії на відповідних рисунках 1.1-1.3.

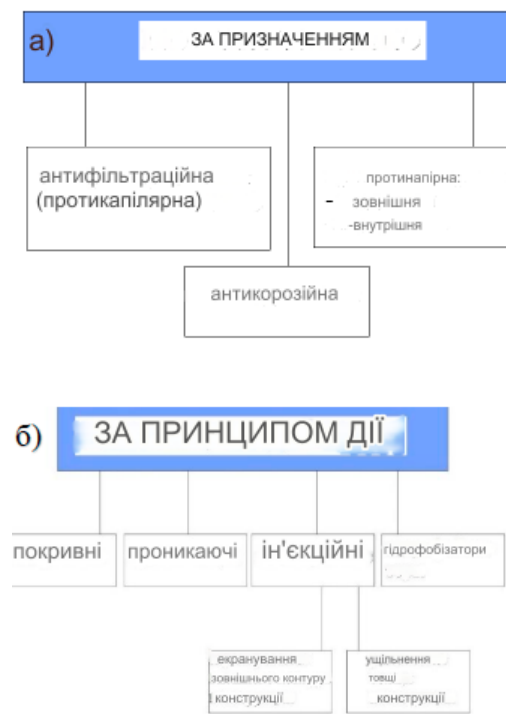


Рисунок 1.1 – Організація класифікації гідроізоляції:

а) за призначенням; б) за методом впливу.

Довгострокові дослідження підземних частин будівель вказують, що відмови гідроізоляційних систем у 90% випадків відбуваються на ранній етап експлуатації [6,9]. Важливою характеристикою гідроізоляції є її водонепроникність, визначена випробуванням протягом 2 годин за тиску 0,2 МПа.



Рисунок 1.2 – Конфігурація класифікації гідроізоляції за складом вихідних матеріалів

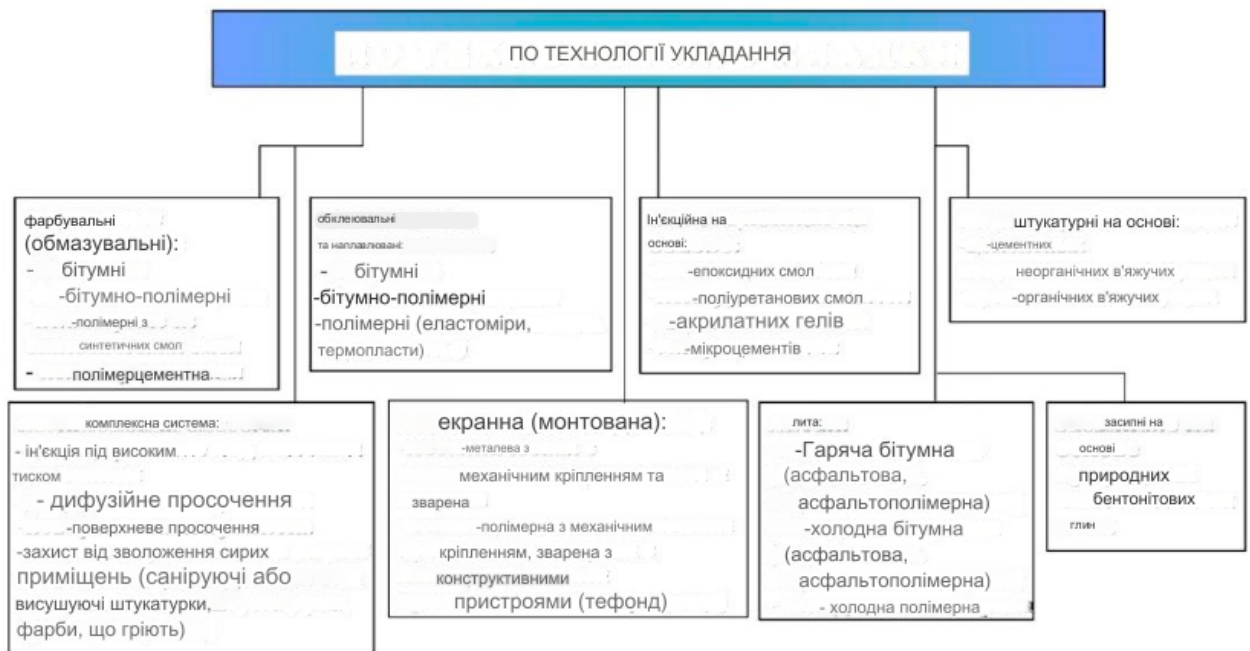


Рисунок 1.3 – Конфігурація класифікації гідроізоляції за технологією укладання

Проектний термін служби гідроізоляції підземної частини будівель, зазвичай, коротший за термін служби підземних конструкцій. Це означає, що протягом експлуатації будівель I та II груп капітальності, які мають термін служби понад 150 років, гідроізоляція із терміном служби 10-35 років потребує кількох робочих та витратних капітальних ремонтів.

Орієнтуючись на попередній досвід, проектувальники старанно враховують технологічні аспекти використання конкретного типу гідроізоляції та методів достовірної оцінки її експлуатаційного ресурсу. Мета полягає в тому, щоб середній термін служби матеріалів, які використовуються під час ремонтно-будівельних робіт, становив 40-50 років.

Слід відзначити, що ненадійна або відсутня гідроізоляція підземної частини експлуатованих будівель скорочує термін служби самого будівництва. Більше того, непередбачені деформації підземних конструкцій негативно впливають на функціонування гідроізоляції, знищуючи її.

Причинами порушень гідроізоляції підземної частини будівель є як недостатнє увага до питань вдосконалення технологій улаштування гідроізоляції в залежності від різних умов, так і низька якість ремонтно-будівельних робіт. Це може бути викликано економією коштів, виділених на виробництво робіт, а також наявністю на ринку значної кількості неперевіраних та низькоякісних матеріалів. Передчасне зношування конструкцій також пов'язане із "розладом" швів, під час якого герметичність гідроізоляції порушується, і вода просочується в підземну частину будівель.

Отже, для ефективної експлуатації підземної частини будівель будівельникам слід враховувати кілька ключових аспектів. Це включає негативний вплив атмосферних опадів, поверхневих стоків, ґрунтових вод, а також техногенних факторів, таких як витіки з резервуарів, очисних споруд, відстійників, водоканалів. Всі ці фактори можуть спричинити постійне намочання підвальних приміщень, руйнування підземних конструкцій та

корозію арматури. Також важливо дотримуватись проектних рішень, своєчасно здійснювати ремонт як несучих конструкцій, так і гідроізоляції.

При виборі типу гідроізоляції слід враховувати надійність, тобто збереження в часі встановлених параметрів, які характеризують здатність виконувати необхідні функції в умовах застосування (збереження водозахисних властивостей гідроізоляції).

Вказані заходи допоможуть скоротити витрати на ремонтно-відновлювальні роботи при влаштуванні гідроізоляції підземної частини будівель в обмежених умовах.

Однак важливо зауважити, що на етапі проектування, ремонтних робіт та експлуатації будівель не завжди можна передбачити всі негативні впливи на підземні конструкції. Наприклад, після реконструкції фундаментів театру у Києві стали помітні деформації будівлі та додаткові тріщини у стінах. Фахівці припустили, що це пов'язано зі зростанням рівня ґрунтових вод. Зміст води в підвальному приміщенні мав високий рівень рН=12 через розчинення $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Таким чином, вода в підвальному приміщенні, з вищою корозійною активністю, сильно вплинула на руйнування конструкцій.

Інший приклад негативного впливу на підземну частину будівель - це капілярне підсмоктування, або підняття рівня рідини в трубках, вузьких каналах та пористих тілах через капілярний тиск. Чим менший діаметр капілярів, тим більше капілярний тиск і вищий капілярний підйом. Наприклад, капіляр діаметром 1 мкм теоретично може створити тиск всмоктування до 1,5 бар, що відповідає підняттю вологи на 15 метрів. Рух вологи вздовж внутрішніх капілярів призводить до утворення нерозчинних висолів на поверхні цегляної кладки через розчинення ґрунтових солей, антиобмерзаючих речовин тощо. З часом тиск кристалізації в порах кладки зростає, спричиняючи не лише неестетичний зовнішній вигляд, але й структурне руйнування матеріалу.

Отже, вкрай важливо не лише спиратися на традиційні методи гідроізоляції, але й проводити детальне вивчення геологічних особливостей

будівельної ділянки. Також необхідно враховувати вплив техногенних факторів, хімічний склад ґрунтових вод та їх агресивність до матеріалів, таких як цегла, вапняні розчини, бетон та метали. При виборі технології та матеріалів гідроізоляції слід керуватися також корозійними аспектами, оскільки поєднання агресивних ґрунтових вод та біокорозії може негативно впливати на тривалість служби підземних конструкцій та гідроізоляції.

За даними маркетингового агентства DISCOVERY Research Group (DRG), останніми роками спостерігається зниження темпів будівництва, проте зростає відсоток ремонтно-відновлювальних робіт, пов'язаних із споживанням вологозахисних матеріалів. За цим аналізом, рулонна бітумна гідроізоляція складає 85-90% продажів, в той час як полімерні мембрани та геомембрани займають лише 10-15%.

Технологія використання рулонних матеріалів, навіть якісних та довговічних полімерних термопластів, має свої недоліки. При ремонтних роботах, пов'язаних із відновленням гідроізоляції підземної частини будівель у складних умовах, не завжди можливо виконати необхідні земельні роботи. Також при влаштуванні вертикальної гідроізоляції зовнішньою стіною підземної частини будівлі не завжди гарантовано якісне з'єднання з існуючою горизонтальною гідроізоляцією. Відновлення нової горизонтальної гідроізоляції практично неможливе або дуже трудомістке та витратне.

Компанія "БУДПРОФІ", яка є постачальником будівельних та оздоблювальних матеріалів, визначається не лише як постачальник бітумної та полімерної гідроізоляції, але також виявляє попит на сухі гідроізоляційні суміші та проникну гідроізоляцію. Згідно з проведеними дослідженнями компанії, на сьогоднішній день на українському ринку представлено понад 60 виробників гідроізоляційних сумішей. З них половина спеціалізується тільки на сумішах, 20 компаній додатково випускають готові склади, просочення або ін'єкційні рідини, і лише 12 компаній пропонують повний спектр продукції, включаючи

суміші, готові склади для гідроізоляції, рідкі поверхневі та об'ємні гідрофобізатори, ремонтні матеріали тощо.

За аналізом компанії "Пенетрон" у 2014 році спостерігалось збільшення постачання проникаючої гідроізоляції на 40%. Досвід минулих економічних криз свідчить, що в умовах складної економічної ситуації споживачі віддають перевагу вищій якості гідроізоляційним системам, незважаючи на вартість матеріалів та технологічні особливості. Компанія наголосила на необхідності розвитку технологій проникаючої гідроізоляції та відмітила низький відсоток цього виду матеріалів на ринку гідрозахисту.

На даний момент у напрямку пристрою проникаючої гідроізоляції діють приблизно 15 компаній (зокрема "ЛАХТА", "Гідротекс", "Стромікс", "Кальматрон", "Пенетрон", "Ксайпекс" та інші), які мають однаковий продукт "Private Label" під різними торговими марками з однаковим складом.

Низький рівень розвитку технологій проникаючої гідроізоляції визначається переважно низькою вартістю традиційних матеріалів (оклейкова бітумна та руберойдна гідроізоляція), вироблених компанією "ТехноНІКОЛЬ". Багато споживачів не враховують високі витрати, загальну вартість та обмежений термін служби традиційних матеріалів через їх механічний знос. Незважаючи на більш високу вартість проникаючої гідроізоляції, витрати її менше (менше 1 кг на 1 кв. м), і термін служби не обмежений.

При відновленні гідроізоляції на залізобетонних конструкціях, де відбулася корозія 1-го виду (корозія вилуговування), не рекомендується використовувати проникаючу гідроізоляцію, оскільки відсутні відповідні складові для реакції з утворенням щільної речовини в порах та капілярах, яка створює гідроізоляцію.

З аналізу вище вказаного видно, що стрімкий розвиток українського ринку гідроізоляції ставить все більш високі стандарти щодо матеріалів і технологій ізоляційних робіт для забезпечення більшої довговічності та надійності конструктивних елементів під час експлуатації.

Наголошується на тому, що останніми роками в Україні спостерігається активний тренд заміщення імпорتنих товарів та послуг вітчизняними продуктами. За підсумками 2017 року імпорт рулонних гідроізоляційних бітумних матеріалів зменшився на 70%, бітумно-полімерних матеріалів – на 80%.

Прогрес в українських водозахисних матеріалах і технологіях є актуальним об'єктом наукових вивчень для фахівців у сфері гідроізоляції, де застосовуються передові технології. Наявний іноземний досвід аналізується фахівцями до. Події останнього часу та орієнтації вітчизняної промисловості на заміщення закордонних поставок продукцією власного виробництва вкотре свідчать про своєчасність поставлених у цій роботі питань.

1.2 Закордонний досвід влаштування гідроізоляції підземної частини будівель та нормативна база

Зарубіжні дослідження та практика робіт із ремонту та відновлення в галузі гідроізоляції підземних частин будівель схожі на українські розробки. Останнім часом за межами України використовують ін'єкційні технології полімерних складів у конструкціях та на її межах, базуючись на мікроцементях, акрилатних гелях, епоксидних смолах, поліуретанах, а також на комбінаціях матеріалів та мінерально-органічних, які створюють захисний екран або вуаль навколо конструкції, а також комплексний захист з використанням 2-3 методів.

Аналіз компанії "Global Market Insights" за період з 2013 по 2017 роки та прогноз на 2018-2024 роки стосовно використання гідроізоляції на основі бентонітових глин охоплює ключові сегменти застосування та географію країн, таких як США, Канада, Мексика, Німеччина, Франція, Італія, Іспанія, Польща,

Греція, Китай, Індія, Японія, Південна Корея, Таїланд, Індонезія, Австралія, Бразилія, Саудівська Аравія, ОАЕ та Південна Африка. Прогнозується, що зростання інфраструктурних робіт в Китаї, Індії, Японії та Малайзії, внаслідок збільшення державних витрат, сприятиме росту будівельної галузі та, отже, розширенню ринку бентоніту. Вигода використання бентоніту полягає у його екологічній безпечності порівняно з іншими видами гідроізоляції. Технологія використання його дозволяє виконувати роботи з влаштування бентоніту в тунелях, будівельній гідрозахисті, греблях, гідроелектростанціях, ставках, фундаментах та підвалах промислових та житлових будівель.

Таким чином, унікальність застосування, низька вартість бентоніту і технології його використання, включаючи ускладнені умови, може стимулювати ріст ринку цього продукту. Пластифікаційні властивості роблять бентоніт ідеальним для приготування розчинів та ін'єкцій для заповнення порожнеч та заповнення тріщин. До 2024 року в Північній Америці (Канаді, Мексиці) очікується збільшення попиту на бентоніт більше 5%. В Азіатсько-Тихоокеанському регіоні (Індія, Японія, Південна Корея та Китай) спостерігається важливий ріст будівельної діяльності та автомобілебудування через урбанізацію та зростання населення, що може призвести до понад 520 мільйонів доларів США до 2024 року. Обсяг європейського ринку бентоніту, зокрема у Великій Британії, Німеччині, Франції та Іспанії, може зрости на 4,5% протягом передбаченого періоду. Щодо застосування гідроізоляції, зарубіжні країни мають визначену нормативну базу, яка визначає технології її влаштування.

Національні стандарти Німеччини у галузі підземної гідроізоляції представлені стандартами DIN 18195, розділені на кілька частин:

DIN 18195-1: 2000-08 "Гідроізоляція будівельних споруд. Частина 1: Основні положення, визначення. Призначення різних видів гідроізоляційних матеріалів;

DIN 18195-2: 2000-08 "Гідроізоляція будівельних споруд. Частина 2: Матеріали";

DIN 18195-6: 2000-08 "Гідроізоляція будівельних споруд. Частина 6. Захист від зовнішнього гідростатичного тиску і води, що просочується: визначення параметрів і виконання робіт".

Норма DIN 18195-1 визначає процедури гідроізоляції будівельних елементів, що мають контакт із ґрунтом, щодо нового будівництва та реконструкції. Однак ці стандарти не надають достатньої інформації для розробки конкретного алгоритму на етапі проектування.

Додатковим регулятивним актом на етапі проектування є "Директива з планування та виконання гідроізоляції будівельних елементів, що мають контакт із ґрунтом, з використанням товстошарових бітумних покриттів на основі модифікованих полімерів" (Директива КМВ). Ця директива доповнює DIN 18195, надаючи детальну інформацію про роботу з товстошаровою бітумно-полімерною гідроізоляцією проектувальникам та підрядникам.

Асоціація WTA, що спеціалізується на збереженні будівельних споруд та захисті пам'яток архітектури в Німеччині, випустила робочу інструкцію WTA 4-6 "Ремонт гідроізоляції будівельних елементів, що мають контакт із ґрунтом". Цей документ описує всі етапи процесу санації, включаючи аналіз стану об'єкта, планування та виконання робіт із нанесення будівельної гідроізоляції. Для гідрозахисту старих будівель представлена інструкція WTA 4-4 "Захист кладки від капілярної вологи методом ін'єктування".

У Німеччині, для отримання загального свідоцтва про відповідність вимогам Стройнадзора (AbP*), використовуються мінімальні стандарти якості та властивостей продукту. Однією з провідних німецьких торгових марок у галузі гідроізоляції є Remmers Fachplanung. Спільно з університетами, випробувальними інститутами та науковими установами компанія розробила гідроізоляцію, відзначається унікальною довговічністю та відповідає

європейським стандартам. Продукція Remmers застосовується на спорудах з великими навантаженнями, перевищуючи нормативні вимоги.

З початку 20 століття виробником матеріалів для гідроізоляції бетонних конструкцій I та II груп тріщиностійкості від води і агресивних середовищ є американська компанія ICS.Penetron International Ltd (далі – Пенетрон). Продукція Пенетрон використовується у більше, ніж 60 країнах для об'єктів промислового, житлового та спеціального будівництва. Гідроізоляція Пенетрон пройшла експертизу в провідних інститутах України, має всі необхідні сертифікати, включаючи систему якості ISO 9002.

У США, з кінця 19 століття, міжнародна організація ASTM International (American Society for Testing and Materials) розробляє та видає стандарти у галузі гідроізоляції. Понад 5 000 стандартів ASTM визнані за межами США як національні, і понад 60 країн використовують їх як основу при розробці своїх нормативних баз.

В даний момент найбільш доступним та інформативним джерелом інформації є американський довідник будівельника "Гідроізоляція будівель та споруд", написаний Майклом Т. Кубалом. Зміст складається із 16 розділів, які детально описують основні принципи технології гідроізоляції на етапах проектування, будівництва та експлуатації.

Узагальнений аналіз джерел показує, що країни Європи, США, Канада та Китай накопичили значний досвід у сфері технології влаштування підземної гідроізоляції. Ці технології активно адаптуються до місцевих умов природно-кліматичних умов, будівельних матеріалів, демографічних тенденцій та екологічних вимог з метою забезпечення потреб населення в високоякісних будівельних матеріалах.

На сучасному етапі розробляються спеціальні програми, обладнання та ініціативи, які об'єднують вчених вітчизняних та іноземних науковців, представників промисловості, молодих дослідників, аспірантів та інших учасників для системного обміну досвідом та співпраці в розробці, аналізі та

вдосконаленні найкращих технологічних рішень для гідроізоляції підземних частин будівель.

1.3 Створення основних стратегій для вдосконалення технологій гідроізоляції підземних частин будівель у складних умовах

На підставі існуючого досвіду влаштування гідроізоляції підземних частин будівель, основним завданням даного дослідження було оптимізувати технологію гідроізоляції експлуатованих будівель з урахуванням їх конструктивних особливостей та ускладнених умов прилеглої забудови.

Для удосконалення технологічних рішень влаштування гідроізоляції підземних частин експлуатованих будівель важливий компонент - це комплексний підхід та урахування численних параметрів, які відповідають базовим нормативним вимогам [17]. Оскільки відновлення підземної гідроізоляції експлуатованих будівель є складним завданням, вибір гідрозахисту має враховувати найвимогливіші умови. Таким чином, визначення гідроізоляції та технологій її влаштування під час ремонтно-відновлювальних робіт у підземних частинах будівель повинно враховувати специфіку та стан кожного конкретного об'єкта, кліматичні та гідрогеологічні умови будівельного майданчика, максимальну довговічність та стійкість до агресивних середовищ, ремонтпридатність, близькість до розташування комунікацій будівель, типу основи, глибини закладення підземних частин будівель, діючих навантажень, якість будівельно-монтажних робіт і т. д.

Аналіз вітчизняного досвіду влаштування гідроізоляції підземних частин експлуатованих будівель виявив основні фактори, які впливають на порушення цілісності гідроізоляції (див. рис. 1.4).

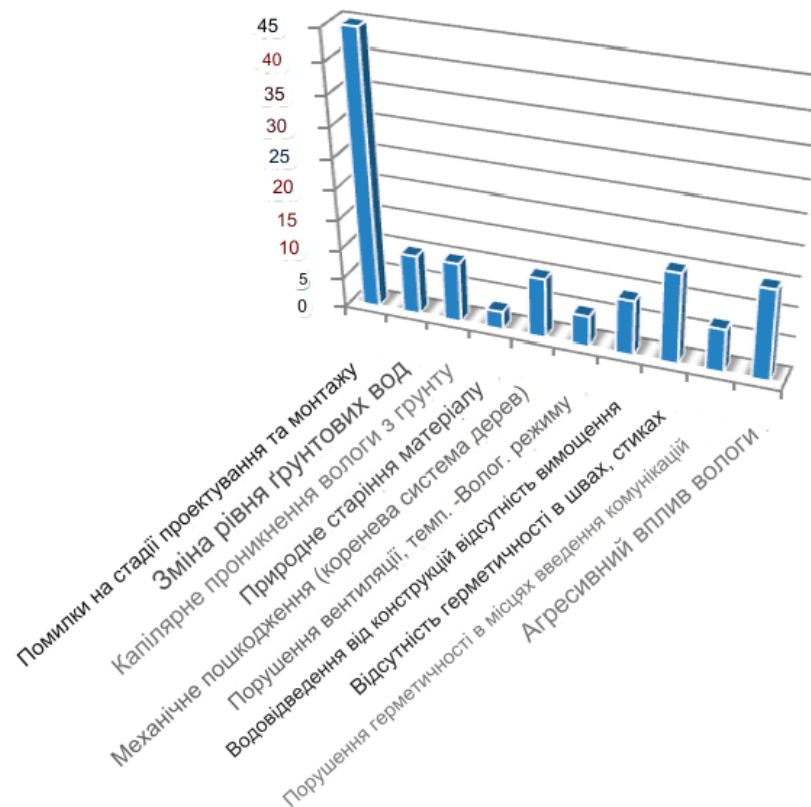


Рисунок 1.4 – Діаграма ключових факторів, що призводять до ушкодження цілісності гідроізоляції підземних частин будівель

Вибір виду гідроізоляції та методу її влаштування, як правило, є індивідуальним рішенням і ґрунтується на особистому досвіді фахівця, що часто може призвести до прискореного зношування та виходу з ладу як самої гідроізоляції, так і підземних несучих конструкцій.

Також часто вибирають застарілі типи гідроізоляції та застарілі технології, які не відповідають сучасним вимогам будівельної галузі з питань надійності та технологічності. Ці рішення можуть призвести до необхідності проведення ремонтних робіт під час експлуатації будівель, що значно підвищує вартість робіт.

Наприклад, традиційні технології, такі як бітумно-резинова гідроізоляція (обмашувальна, обклеювальна), розроблені ще в минулому столітті, і досі широко використовуються на будівельних майданчиках. Однак їх низька вартість матеріалів, яка часто вважається визначальним фактором, не компенсує короткий термін служби гідроізоляції. На практиці вони виходять з ладу вже через 3-4 зимових цикли при високому рівні ґрунтових вод та недостатньому дренажі, що може призвести до підтоплення підвальних приміщень. При цьому вартість ремонту такої гідроізоляції значно перевищує вартість її влаштування.

Ін'єкційна гідроізоляція, на перший погляд, може здатися витратною, що турбує багатьох замовників. Однак вона ефективно окупує себе протягом експлуатаційного періоду завдяки високій довговічності та ремонтоздатності. До переваг ін'єкційного методу також входить можливість виконання робіт ускладнених умовах, зокрема на проблемних ділянках, таких як рухливі та нерухливі стики, місця з'єднання конструкційних елементів, а також тріщини, які перетинають та не перетинаються.

У цьому дослідженні покращенням ін'єкційної технології є використання вуальної (безшовної) гідроізоляційної мембрани, створеної шляхом нагнітання ін'єкційного розчину "на обробку" підземної частини будівлі. Ця технологія може забезпечити довговічний захист підземних конструкцій будівлі, а у разі виникнення проблеми дозволяє проводити локальний ремонт.

2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИСТРОЇ ІН'ЄКЦІЙНОЇ ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ НА ОСНОВІ БЕНТОНІТОВИХ ГЛИН

2.1 Технологічні особливості влаштування вуальної ін'єкційної гідроізоляції

Основа технології вуальної ін'єкційної гідроізоляції полягає в подачі робочого складу через свердловини, попередньо пробурені в ізольованій конструкції. Цей склад, після завершення хімічної реакції, перетворюється на щільний і водонепроникний бар'єр, який ефективно заповнює всі пори та порожнечі в ґрунтовому масиві, що примикає до конструкцій. Такий підхід дозволяє одночасно усунути дефекти в самій конструкції, роблячи її не тільки водонепроникною, але й відновлюючи її цілісність.

Серед існуючих методів влаштування вуальної ін'єкційної гідроізоляції розрізняють два основних типи:

1. Пряме ін'єкування: Використовується при ремонтно-відновлювальних роботах існуючих конструкцій. Робочий склад нагнітається після буріння свердловин і встановлення ін'єкційних трубок безпосередньо в тіло конструкції (рисунок 2.1).

2. Відкладене ін'єкування: Застосовується під час нового будівництва після завершення бетонних робіт та демонтажу опалубки, коли заздалегідь встановлені ін'єкційні трубки (рисунок 2.2).

Нагнітання робочого складу тіло конструкції може здійснюватися як затискним (рисунок 2.3), так і циркуляційним (рисунок 2.4) способами.

При використанні циркуляційного методу застосовуються ін'єктори із зворотною циркуляцією робочого складу, що забезпечують нагнітання складу

під певним тиском. Присутність зворотного трубопроводу в ін'єкційному пристрої дозволяє частково повертати робочий склад, нагнітається в тіло конструкції, у розчинозмішувачі, що підтримує постійний рівень тиску.

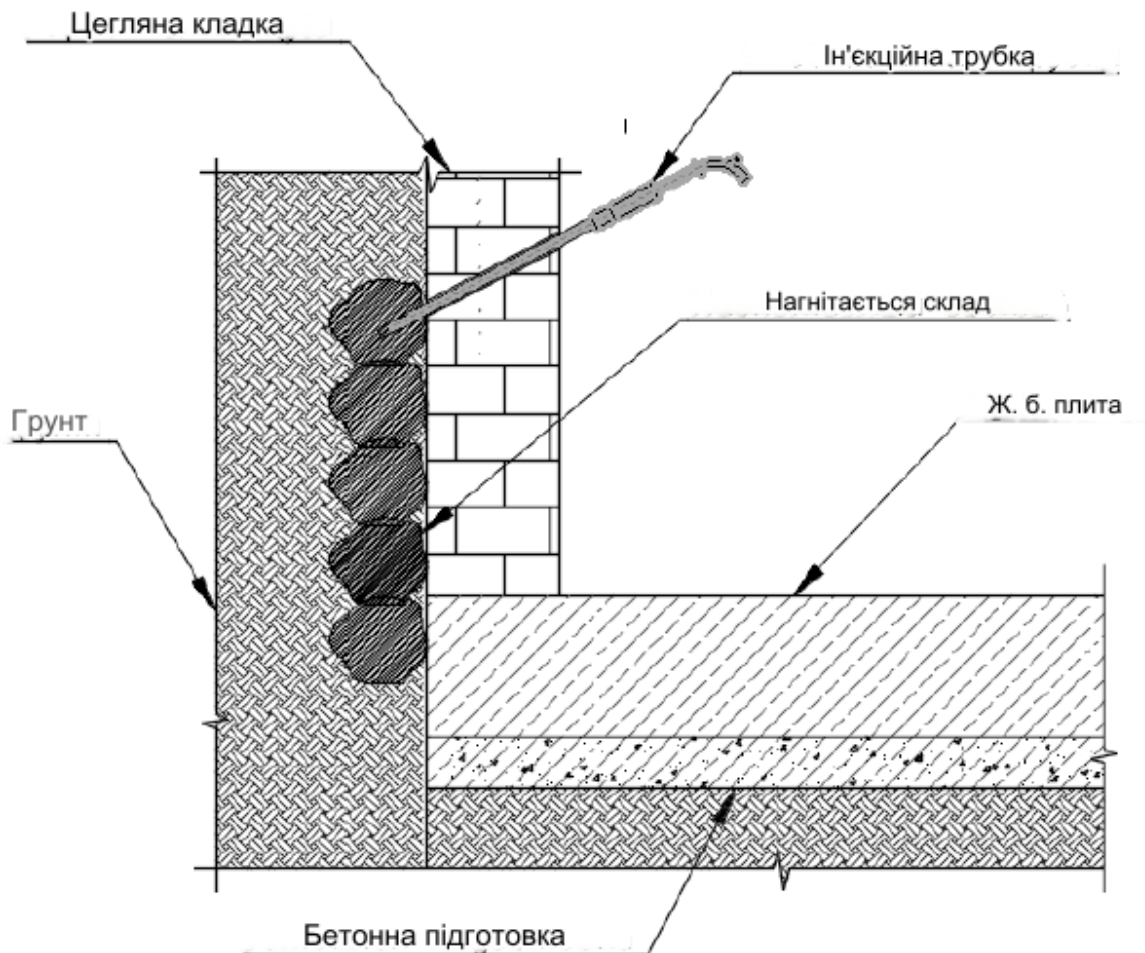


Рисунок 2.1 – Процес прямого ін'єкування цегляної кладки

У разі відсутності обмежень щодо рівня тиску вдаються до затискного способу, що забезпечує пряму подачу робочого складу через розтискні ін'єктори. Робочий склад подається в пробурену свердловину з постійною продуктивністю доти, поки величина тиску не досягне граничного значення.

Вибір методу нагнітання та максимального допустимого тиску для проведення ін'єкції залежать від міцності матеріалу ізолюваної конструкції,

робочих умов, гідростатичного тиску, який конструкція може витримати, а також ступеня пошкодження самої конструкції.

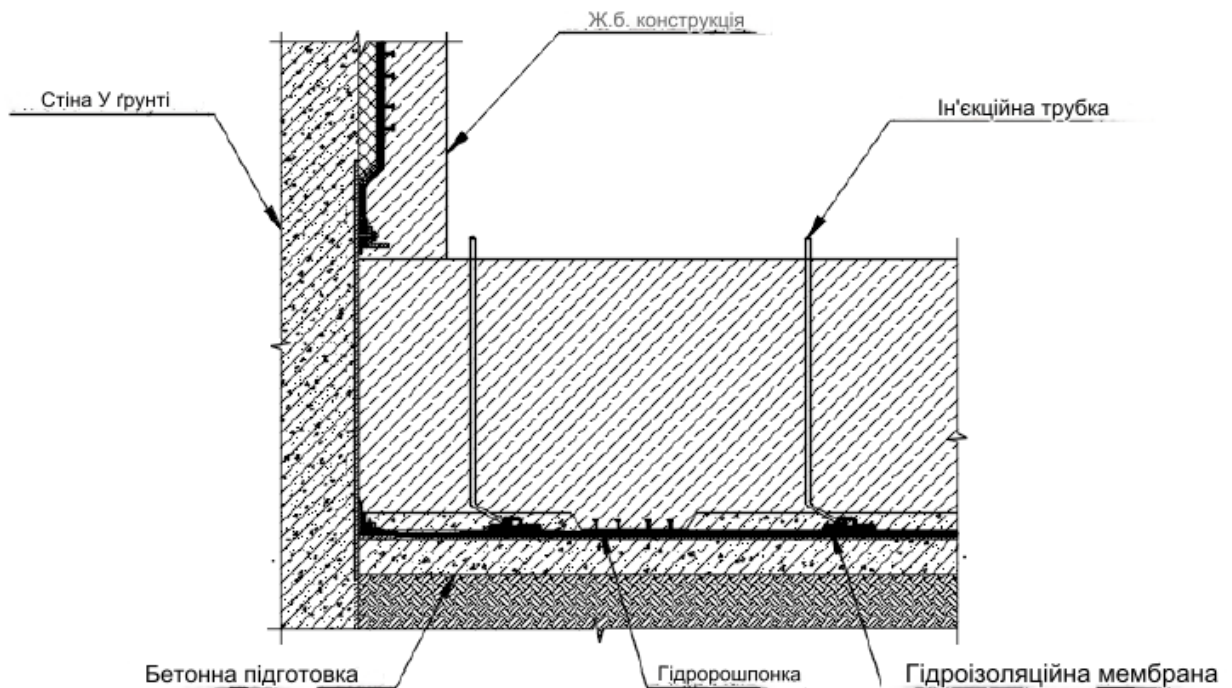


Рисунок 2.2 – Процес відкладеного ін'єктування ж.б. конструкцій

Технологічний процес улаштування вуальної ін'єкційної гідроізоляції розпочинається з підготовки поверхні ізолюваної конструкції. З метою мінімізації втрат робочого складу всі тріщини та порожнини на поверхні конструкції заповнюються ремонтним складом. Далі, на місцях, де передбачається встановлення ін'єкційних пристроїв, пробурюються свердловини, кількість яких визначається відповідно до проекту і залежить від розмірів ізолюваної конструкції. Зазвичай розташування свердловин виконується за шаховим порядком. Глибина свердловин обирається так, щоб ін'єктор проникав через товщу ізолюваної конструкції в прилеглий ґрунт для досягнення оптимального проникнення робочого складу.

Нагнітання робочого складу відбувається через труби, встановлені у пробурені свердловини, розпочинаючи з горизонтального нижнього ряду. Залежно від товщини та міцності матеріалу ізолюваної конструкції

встановлюється відповідний тиск нагнітання, який, поступово насичуючи субстрат складом та збільшуючи гідравлічний опір, піднімається до максимального значення, визначеного проектом.

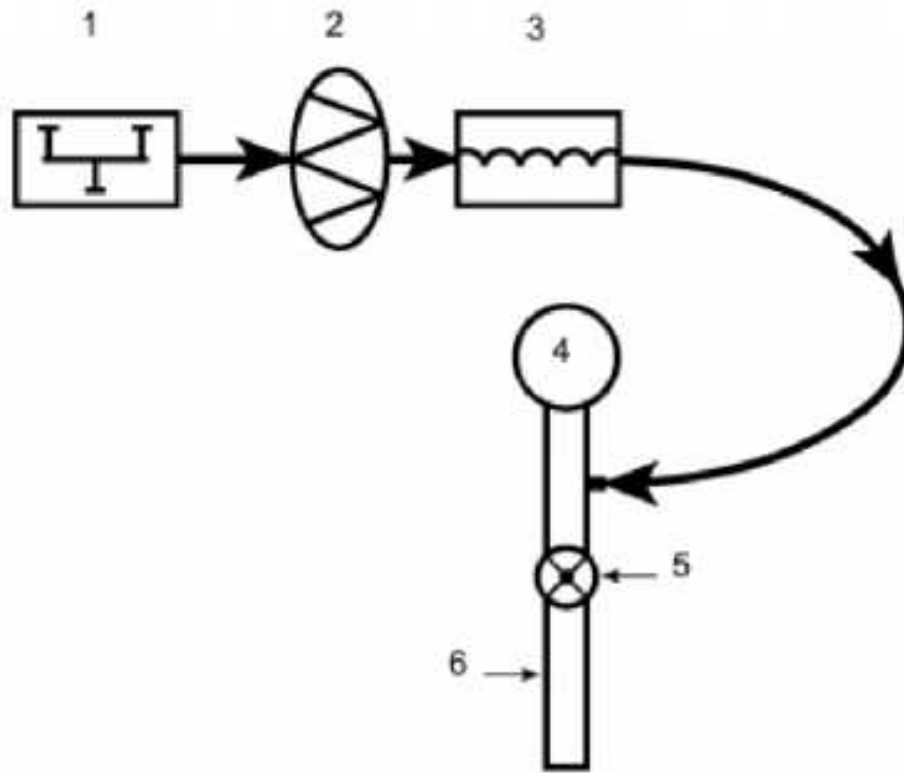


Рисунок 2.3 – Затискний спосіб подачі розчину:

1 – змішувач, 2 активатор, 3 – насос, 4 – манометр, 5 – кран, 6 – колона труб

У разі появи робочого складу у вищерозташованому патрубку або "відмови" конструкції у поглибленні складу, процес нагнітання припиняється, і на нижній патрубку встановлюється заглушка. Після цього переходиться до наступної свердловини, і процес нагнітання відновлюється. Цей алгоритм застосовується для нагнітання робочого складу через всі патрубки. По закінченню ін'єкційних робіт, після певного часу, поверхню конструкції перевіряють на можливість протікання, а при необхідності проводиться контрольне нагнітання робочого складу.

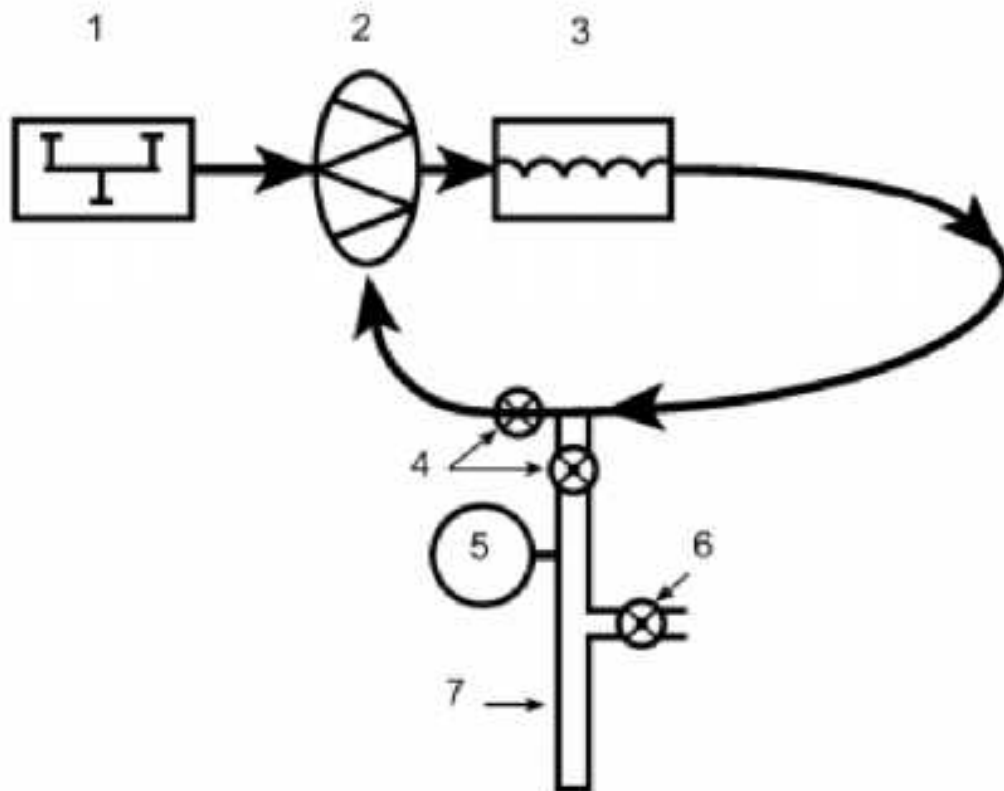


Рисунок 2.4 – Циркуляційний спосіб подачі розчину:

1 – змішувач, 2 активатор, 3 – насос, 4 – крани, 5 – манометр, 6 – зливний кран, 7 – колона труб

На кожному етапі виготовлення ін'єкційних робіт відбувається перевірка якості впровадження робочого розчину в структуру конструкції. За виконання робіт фіксуються відхилення від нормального ходу нагнітання робочого складу, контролюється стан конструкцій.

2.2 Загальна інформація щодо будови та характеристик глин бентонітового походження

Відповідно до [1], глини розглядаються як осадові породи, нецементовані, із мінеральними частинками, розмір яких не перевищує 20 мікрометрів. У бентонітових глинах з високим ступенем набухання (приблизно 15 разів), основним компонентом є глинистий мінерал монтмориллоніт, який становить від 60% до 80% від загальної маси. Також можуть входити вторинні мінерали, такі як каолініт, кварц, слюда, шпат польовий, іліт, карбонати та інші алюмосилікати. Кількість мінералів у бентонітових глинах може різнитися.

Вміст монтмориллоніту є ключовим показником якості бентонітових глин, оскільки фізико-хімічні властивості бентоніту залежать від характеристик цього глинистого мінералу. Бентоніт визнається тільки як глина з вмістом монтмориллоніту не менше 70%. Речовини, у яких міститься менше 70% монтмориллоніту, вважаються бентонітоподібними глинами.

Глинисті мінерали є пластинчастими силікатними частинками з розміром до 20 мікрометрів. Монтмориллоніт відноситься до групи тришарових мінералів, і його кристалічна структура складається з одного шару октаедрів АЮб і двох шарів тетраедрів SiO_4 , які симетрично розташовані відносно шару октаедрів, формуючи кристалічні пакети (рисунок 2.5). Один кристал монтмориллоніту, як правило, складається з 15 до 20 елементарних шарів [6].

У природних умовах катіони натрію (Na^+), кальцію (Ca^{2+}), магнію (Mg^{2+}) розташовані в проміжному шарі між кристалічними пакетами та нейтралізують залишковий негативний заряд на їх поверхні. Залежно від виду катіонів, розташованих у проміжному шарі, розрізняють натрієвий та кальцієвий бентоніт. Молекули води також можуть знаходитися між шарами. Відстань між шарами і, відповідно, сили, які утримують силікатні шари разом,

сильно залежать від наявності та кількості молекул води. Процес поглиблення води призводить до збільшення відстані між шарами.

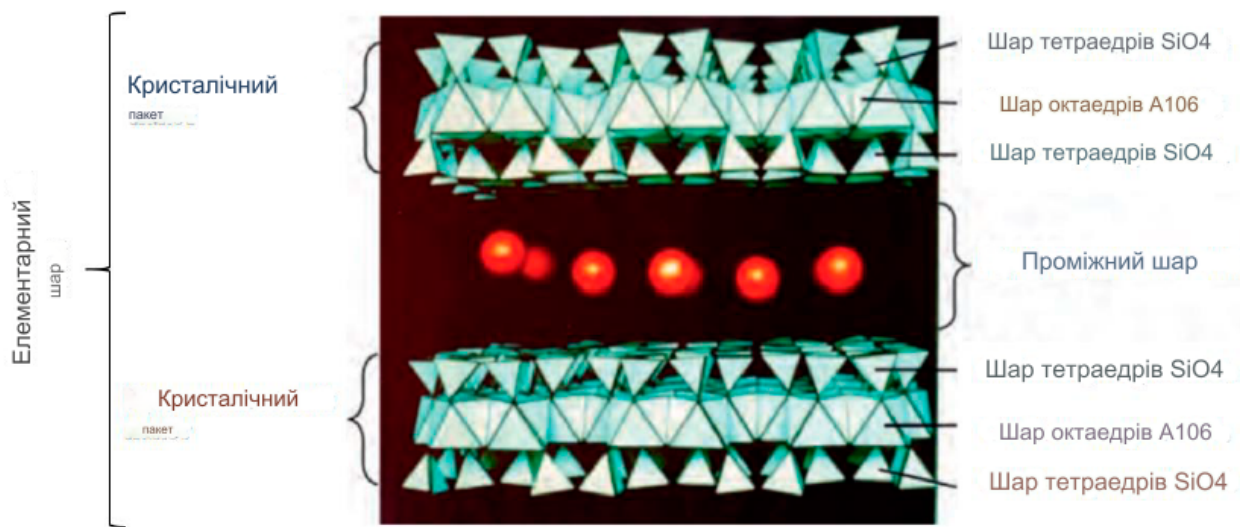


Рисунок 2.5 – Кристалічна структура монтморилоніту

Однією з основних характеристик бентонітових глин є їх здатність до набухання при взаємодії з водою. Перепізнають два механізми водопоглиблення під час гідратації [5, 10]:

- Внутрішньокристалічне набухання відбувається, коли надлишкова вода поглинається міжшаровими катіонами у проміжному шарі та на поверхні глинистих мінералів, що призводить до розширення елементарних шарів (цей механізм є оборотнім);

- Осмотичне набухання виникає через різну концентрацію катіонів на поверхні глинистого мінералу та в поровому розчині, утворюючи дифузні іонні шари, які спричиняють електростатичне відштовхування частинок.

У кристалах монтморилоніту процес гідратації зазвичай відбувається шляхом включення молекул води між елементарними шарами (внутрішньокристалічне набухання). Це може призводити до збільшення відстані між шарами настільки, що при певних умовах з'єднання кристалів може повністю розірватися.

Бентоніти натрію та кальцію відрізняються за ступенем гідратації через відмінність у природі міжшарових катіонів [4, 4]. Іони натрію (Na^+) схильні до гідратації в абсорбованому стані більше, ніж іони кальцію (Ca^{2+}), що призводить до більшого збільшення поглиблення води та ступеня набухання. З цієї причини бентоніт натрію має водопоглинаючу здатність від 600% до 700%, у той час як бентоніт кальцію - лише від 200% до 300% [14]. Крім того, іони натрію більше за розміром, ніж іони кальцію чи магнію (Mg^{2+}), і, отже, мають меншу силу привабливання.

Поглиблення або вивільнення води може змінювати міжшаровий проміжок між кристалами у монтморилонітах, насичених іонами Ca^{2+} або Mg^{2+} , в діапазоні 1-2 нм. У таких умовах окремі силікатні пакети можуть залишатися незмінними, навіть після додавання достатньої кількості води. Навпаки, у монтморилонітах з міжшаровими іонами Na^+ відстань між шарами може збільшуватися до 16 нм через набухання. При подальшому набуханні води зчеплення між пакетами може зникнути, а кристалічний зв'язок повністю розпадеться, що призводить до розпаду кристала монтморилоніту на окремі елементарні шари [9].

Завдячуючи своєму властивості набухання та низької гідравлічної провідності, бентонітова глина може ефективно використовуватися для створення протифільтраційних та гідроізоляційних бар'єрів. Однак висока стисливість та усадка, а також низька міцність на зсув, ускладнюють використання бентонітової глини як самостійного гідроізоляційного матеріалу [113]. З метою покращення фізико-механічних властивостей бентонітових глин, зазвичай застосовують змішування глини з доступним місцевим матеріалом, таким як пісок. Під час змішування бентонітової глини з піском, більш дрібні частинки глини займають простір між окремими частинками піску. При контакті з водою, частинки глини розбухають та заповнюють порожнечі

порового простору, що призводить до зниження проникності піщано-бентонітової суміші [16, 17].

Зі збільшенням вмісту бентонітової глини гідравлічна провідність піщано-бентонітових сумішей зменшується, стаючи особливо низькою при вмісті бентоніту в діапазоні 20-40% масою [17]. Подальше збільшення вмісту бентонітової глини у суміші не призводить до значного зменшення гідравлічної провідності. Більшість порового простору, утвореного частинками піску, практично повністю заповнюється при 40% вмісту бентонітової глини, і подальше незначне зниження проникності суміші відбувається тільки через наявність надлишкового вмісту глини.

2.3 Оцінка впливу кількості бентонітової глини на технічні властивості гідроізоляційного складу

Перегляд результатів наукових вивчень у цьому напрямі підтверджує, що вміст бентонітової глини суттєво впливає на різні технічні характеристики піщано-бентонітових сумішей. Поведінка таких сумішей залежить від ефективності заповнення частинками бентонітової глини порового простору, який утворюється між частинками піску. Отже, у рамках наукових експериментів проведено авторську серію випробувань, що націлені на оцінку впливу вмісту бентонітової глини на характеристики гідравлічної провідності та здатність до набухання піщано-бентонітових сумішей.

Наведена дослідна програма включала в себе стандартні випробування для визначення ступеня набухання та гідравлічної провідності проб піщано-бентонітових сумішей. Крім стандартних випробувань, проведено оцінку впливу температури на здатність до набухання зразків сумішей.

Суміші формувалися із бентонітового глинопорошку (натрієвий бентоніт)

та наповнювача, яким був використаний будівельний пісок з розміром частинок 0 - 0,5 мм (не менше 10%) і 0,5-1,2 мм (не більше 90%) від масової частки. Хімічний склад бентонітового глинопорошку та будівельного піску наведено в таблиці 2.1. Фізичні характеристики підготовлених зразків сумішей представлено в таблиці 2.2.

З метою виявлення найбільш ефективного складу для використання в ін'єкційній гідроізоляції були проведені випробування зразків із різним вмістом бентонітового глинопорошку (БГ) та будівельного піску (СП):

- 95% СП+5% БГ ;
- 85% СП+15% БГ;
- 75% СП+25% БГ;
- 65% СП+35% БГ;
- 55% СП+45% БГ.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад бентонітового глинопорошка та будівельного піску

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	N ₂ O	K ₂ O	CaO	MnO
Бентонітовий глинопорошок, %	57,4	17,9	15,3	3,8	3,7	1,4	0,4	0,1
Будівельний пісок, %	97,3	-	0,7	0,7	0,5	0,4	0,4	-

Оцінка розтягування зразків сумішей виконувалася за допомогою одометра. Розміри зразків склали 50 мм у діаметрі та 20 мм у висоту. Випробування проводилися в умовах природного набухання та набухання під навантаженням. Перед виконанням випробувань зразки сумішей піску та бентонітового глинопорошка піддавалися статичному навантаженню (швидкість 1 мм/хв) для досягнення вмісту води та щільності, що відповідають

Таблиця 2.2 – Фізичні характеристики зразків піщано-бентонітових сумішей

Зразки сумішей	d 1 < 100 мкм, %	d 2 < 4 мкм, %	P _{dmax} , г/см ³	W _{opt} , %	W _L	W _p	I _p
100% СП +0% БГ	2	0	1,93	10	-	-	-
95% СП+5% БГ	9	4	1,87	12,1	21	-	-
85% СП+15% БГ	17	13	1,79	14,3	32	-	-
75% СП+25% БГ	26	18	1,73	16,7	44	21	23
65% СП+35% БГ	35	23	1,64	18,6	58	26	32
55% СП+45% БГ	42	29	1,57	20,9	73	29	44
0% СП+100% БГ	85	60	1,23	32	135	44	91

вологості [19]. Загальний рівень природного набухання зразків G (%) визначався за такою формулою.

Результати вимірювань розширення об'єму зразків подано в таблиці 2.3, а графіки змін величини вільного набухання в залежності від часу представлені на рисунку 2.6.

Величина вільного набухання бентонітового глинопорошку становить приблизно 51,5%, в той час як для зразків піщано-бентонітових сумішей значення коливаються від 0,7% до 23,6% при вмісті бентонітового глинопорошку у суміші від 5 до 45%. Як очікувалося, ступінь набухання зразків сумішей пропорційна відносному вмісту бентонітового глинопорошку в суміші. Результати вимірювань тиску, викликаного набуханням сумішей, представлені в таблиці 2.3.3. Значення тиску, викликаного набуханням сумішей, змінюються в інтервалі від 14 до 375 кПа при вмісті бентонітового глинопорошку у суміші від 5 до 45% відповідно. При вмісті бентонітового глинопорошку більше 25%, величина тиску набухання перевищує 193 кПа.

Таблиця 2.3 – Фізико-механічні характеристики сумішей

Зразки сумішей	Ступінь набухання, G (%)	Тиск набухання, P (кПа)
100% СП +0% БГ	-	-
95% СП+5% БГ	0,7	14
85% СП+15% БГ	6,5	106
75% СП+25% БГ	12,1	193
65% СП+35% БГ	17,8	286
55% СП+45% БГ	23,6	375
0% СП+100% БГ	51,5	834

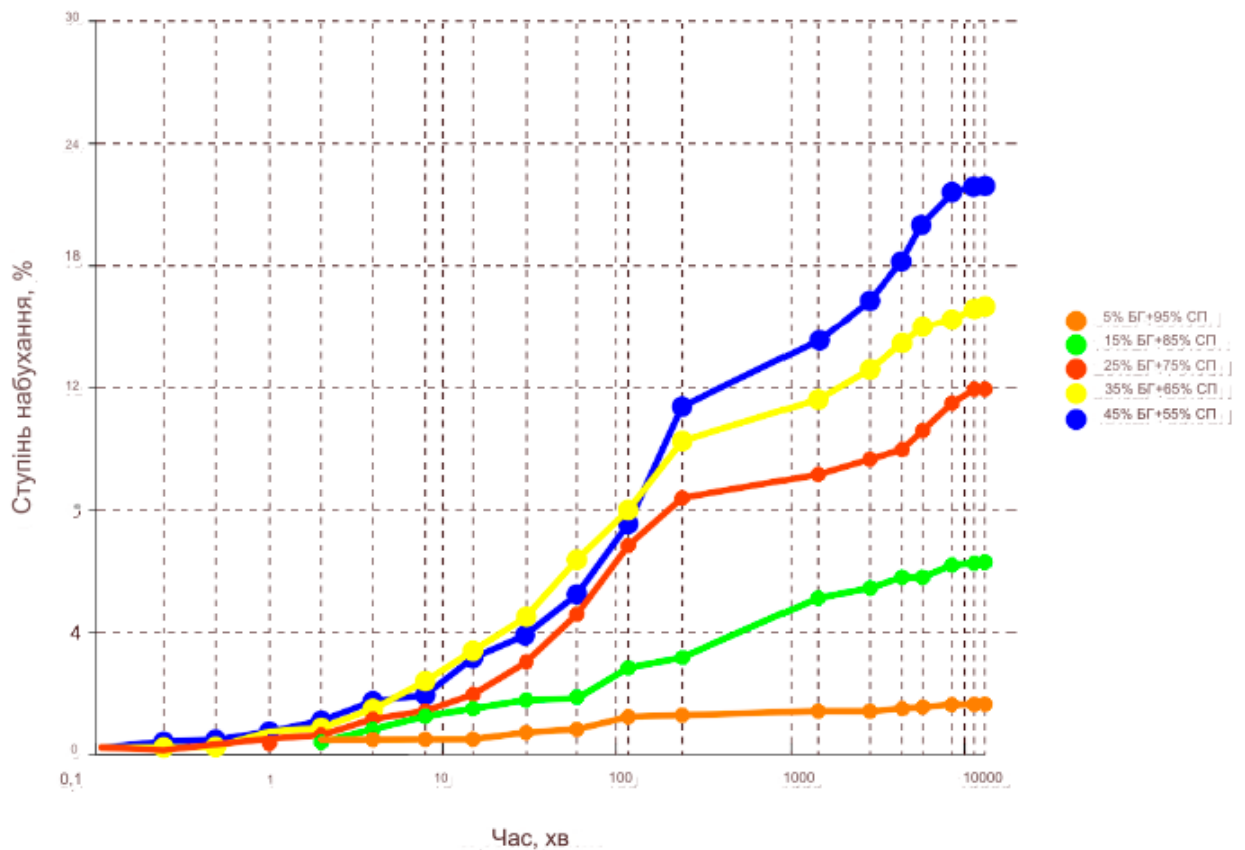


Рисунок 2.6 – Графіки зміни величини вільного набухання зразків у часі

Для попередньої оцінки водопроникності аналізованих зразків сумішей були проведені компресійні випробування зразків відповідно до [18]. За цим підходом коефіцієнти фільтрації зразків сумішей визначалися за допомогою коефіцієнтів стисливості m_v (м²/кН) та консолідації C_v (м²/с), які були отримані з відповідних компресійних та консолідаційних кривих. Зразки з діаметром 50 мм і висотою 20 мм поміщалися в металеве кільце і залишалися в цьому стані протягом 24 годин. Навантаження здійснювалося ступенями відповідно до відношення $i + 1 / o_i = 2$. Криві залежності коефіцієнтів консолідації зразків від нормальних напруг представлені на рисунку 2.7.

Коефіцієнт фільтрації k (см/с) зразків сумішей визначався за наступною формулою:

$$k = C_v \cdot m_v \cdot \gamma_w, \quad (2.1)$$

де γ_w - Питома вага води (9,8 кН/м³).

Криві залежності коефіцієнтів фільтрації зразків сумішей від нормальної напруги наведено на рисунку 2.8.

Для всіх проб сумішей коефіцієнт фільтрації змінюється обернено пропорційно прикладеному тиску. Наприклад, для піску він коливається від $1,3 \times 10^{-3}$ до $1,7 \times 10^{-5}$ см/с, тоді як для сумішей із 45% вмістом бентонітового глинопорошку значення коефіцієнта варіюються від $7,2 \times 10^{-7}$ до $4,4 \times 10^{-10}$ см/с. Вплив прикладеного тиску на водопроникність зразків стає менш помітним при значеннях, які перевищують 500 кПа.

Водопроникність сумішей зменшується зі збільшенням вмісту бентонітового глинопорошку. Коефіцієнт фільтрації при тиску, що дорівнює 45 кПа, знижується приблизно на три порядки при використанні суміші із 35% вмістом бентонітового глинопорошку. При високому вмісті бентонітового глинопорошка (понад 35%) величина коефіцієнта фільтрації стає менше.

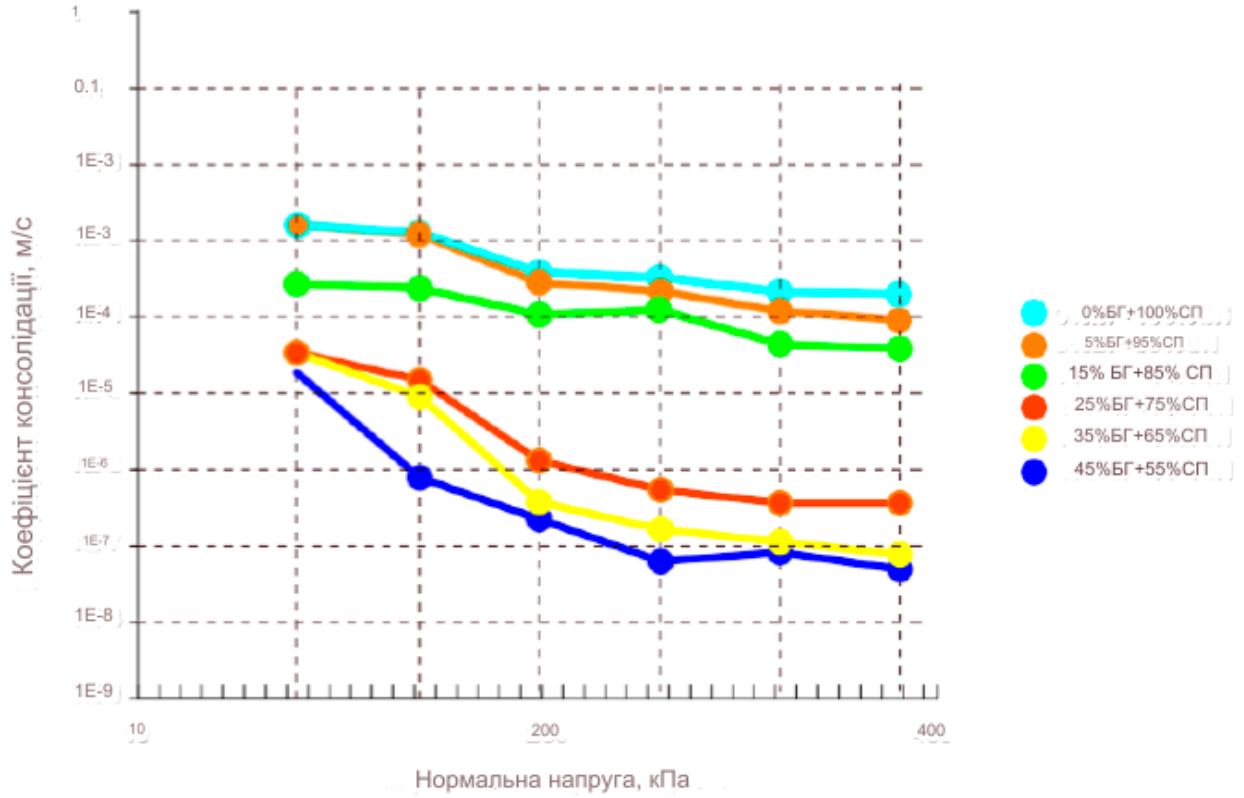


Рисунок 2.7 – Криві залежності коефіцієнта консолидації зразків сумішей від нормальної напруги

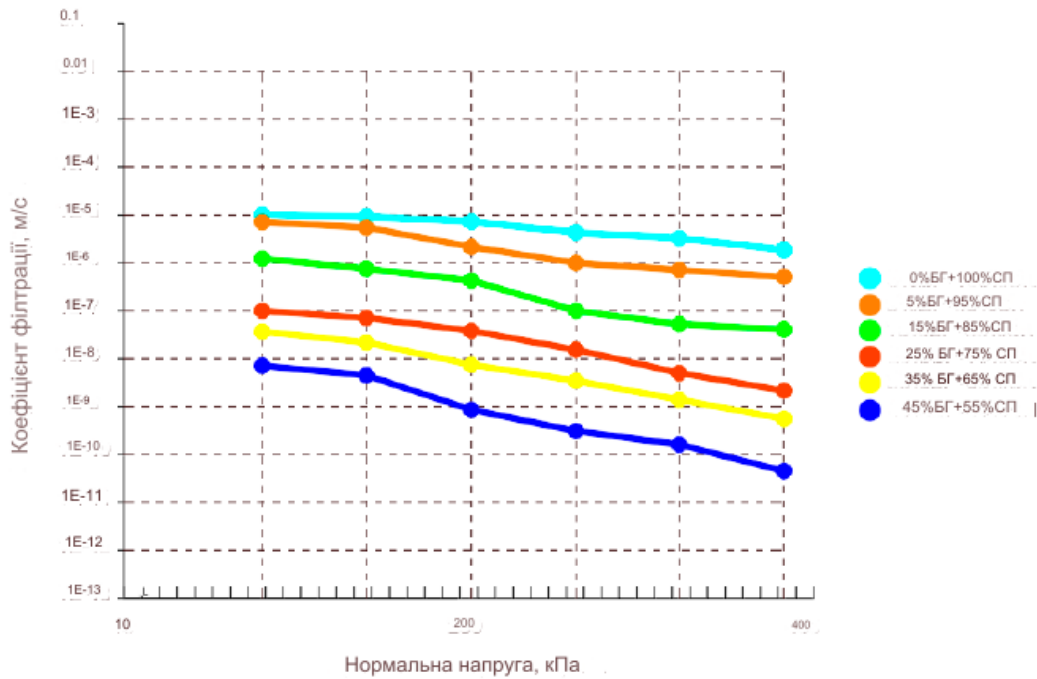


Рисунок 2.8 – Криві залежності коефіцієнтів фільтрації зразків сумішей від нормальних напруг

Для створення ефективного гідроізоляційного екрана необхідно, щоб значення коефіцієнта фільтрації знаходилися у діапазоні від 10^{-6} до 10^{-8} см/с [6, 9]. Це може бути досягнуто за умови, що вміст бентонітового глинопорошка складає 25%, а тиск не менше 280 кПа. У випадку вмісту бентоніту понад 35% при нормальному тиску 210 кПа значення коефіцієнта фільтрації стає менше 10^{-6} см/с.

На основі результатів попередньої оцінки проникності зразків сумішей прийнято рішення продовжити дослідження на зразках із 45% вмістом бентонітового глинопорошка. Оцінка водопроникності зразків суміші проводилася за допомогою компресійно-фільтраційного приладу відповідно до [17]. Експериментальна установка включала камеру тривісного стиснення з трьома регуляторами тиску. Можливість застосування ізотропного обмежуючого тиску до 1700 кПа дозволяла випробовувати зразки діаметром 35 або 50 мм із змінним співвідношенням висоти до діаметра (H/D). Зразки перед випробуванням ущільнювалися в пресі до досягнення максимальної густини при оптимальній вологості ($w_{opt} = 20,9\%$, $\rho_{dmax} = 1,57$ г/см³). Зразки мали діаметр $D = 35$ мм та висоту $H = 70$ мм (рисунок 2.9). Швидкість переміщення преса становила близько 1,1 мм/с.

Після встановлення зразка в камеру, початковий всебічний тиск створювався на рівні 100 кПа. Для видалення бульбашок повітря між камерою і зразком прикладався протитиск, рівний $U_e = 20$ кПа; поровий тиск у верхній частині зразка - $U_s = 0$ кПа. Поступове збільшення всебічного тиску та протитиску дозволило видалити бульбашки повітря, зберігаючи при цьому постійним середнє значення ефективної напруги. Остаточна величина всебічного тиску, прикладеного до зразка під час фази стабілізації, дорівнювала тиску набухання суміші, що становив приблизно 350 кПа. Вертикальна деформація зразків фіксувалася в задані проміжки часу, при цьому зразок вважався таким, що стабілізувався, коли зміщення поршня ставало постійним (менше 0,01 мм за 24 години).



Рисунок 2.9 – Фотографія підготовленого до випробування зразка суміші

Проведена експериментальна програма включала дві послідовні серії випробувань. У першій серії досліджувався вплив середньої ефективної напруги на водопроникність зразків за постійного гідравлічного градієнта ($h = \text{const}$), тоді як у другій серії аналізувався вплив гідравлічного градієнта при постійному середньому значенні ефективної напруги ($\sigma' = \text{const}$).

На представленому на рисунку 2.10 графіку видно, що зміна коефіцієнтів пористості та фільтрації зразка суміші є функцією середньої ефективної напруги. Слід зазначити, що вплив середньої ефективної напруги на

водопроникність зразка стає значущим при значеннях, які перевищують 200 кПа. Поза цим значенням проникність зразка суміші практично залишається незмінною, що відповідає результатам випробувань в одометрі. Аналіз зміни об'єму води протягом усього тесту дозволяє визначити остаточний об'єм порожнечі. З рисунку 2.3.5 видно, що коефіцієнт пористості зменшується зі зростанням середнього ефективного тиску, що призводить до зниження проникності зразка суміші.

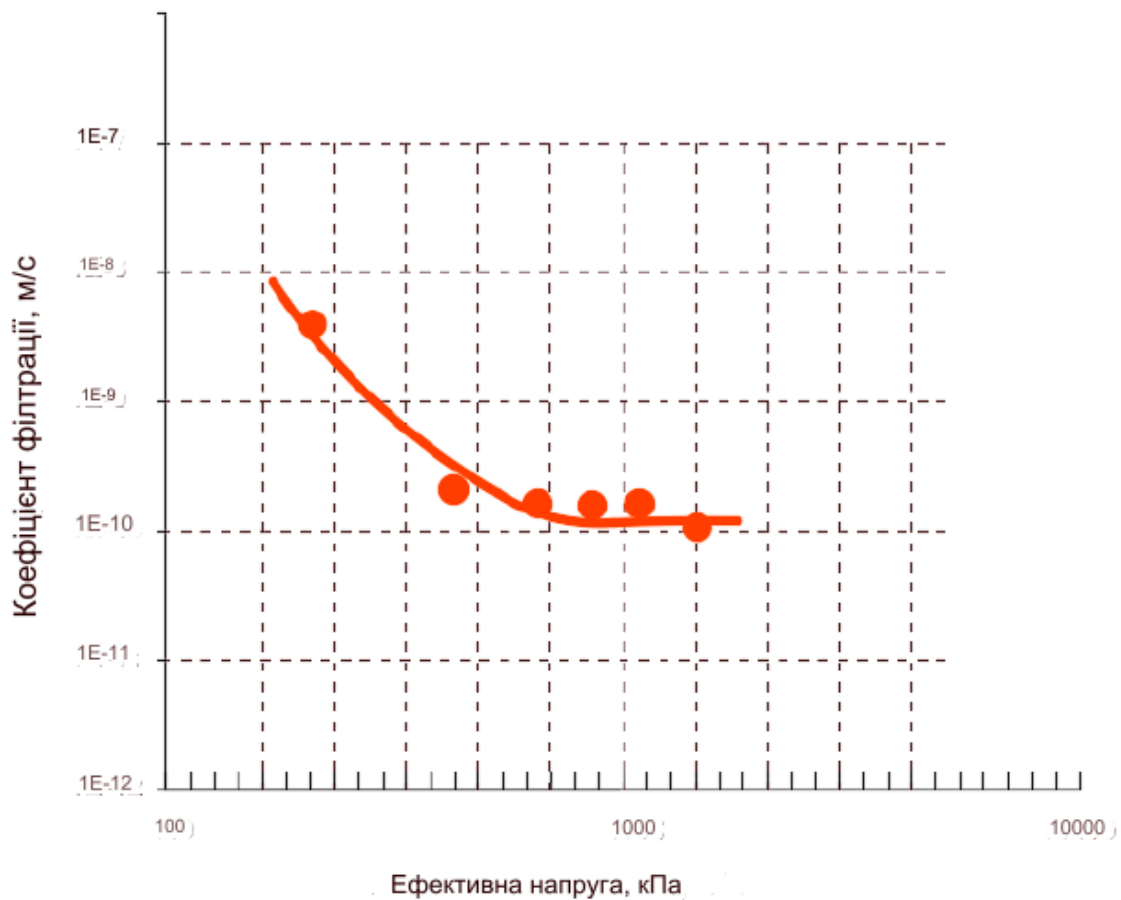


Рисунок 2.10 – Крива залежності коефіцієнта фільтрації від середньої ефективного тиску

У другій послідовній серії випробувань водопроникність зразка суміші оцінювалася при змінному напірному градієнті та сталому значенні середньої ефективного тиску. На представленому на рисунку 2.11 графіку відображено зміну коефіцієнта фільтрації зразка у залежності від напірного градієнта.

Отримані результати можна апроксимувати лінійним виразом.

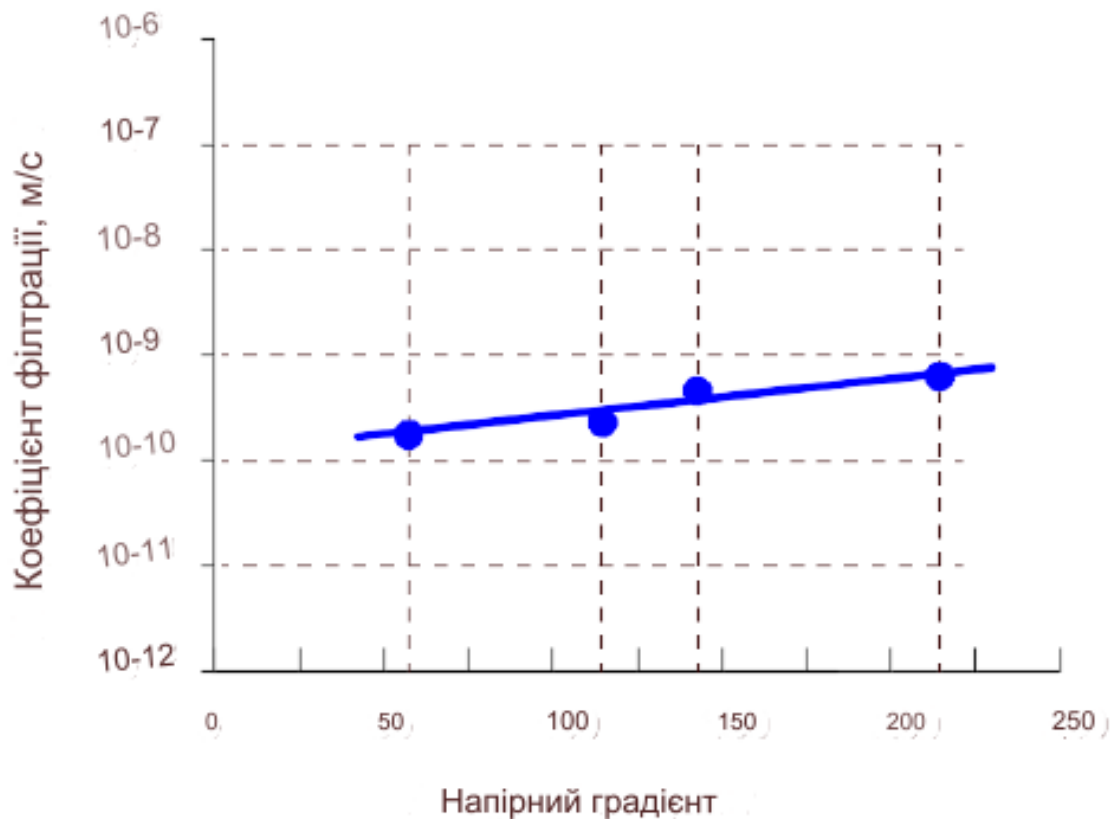


Рисунок 2.11 – Крива залежності коефіцієнта фільтрації від напірного градієнта

Згідно з результатами досліджень, які були представлені у [12], зміна температури піщано-бентонітової суміші суттєво впливає на її динамічну в'язкість. Підняття температури цієї суміші до близько 40°C, як показано у наших вивчених результатах, приводить до зменшення абсолютної динамічної в'язкості на 20%. Навпаки, подальше збільшення температури призводить до поступового зростання в'язкості.

Оскільки в'язкість гідроізоляційного складу безпосередньо впливає на тиск нагнітання і, як наслідок, на зусилля, яке створюється в товщі ізолюваної конструкції, було вирішено ретельно вивчити вплив підвищення температури до 40°C на водопроникність зразка суміші із 45% вмістом бентонітового

глинопорошка. Випробування зразків проводилося за допомогою одометра. Комірка одометра була модифікована шляхом встановлення гнучкого дротяного нагрівача на зовнішню стінку комірки. Для вимірювання температури зразка під час випробувань в осередку було розташовано дві термопари. Тиск набухання зразка суміші вимірювали за допомогою тензодатчика, який був з'єднаний з ручним вольтметром.

Перед використанням установки було проведено оцінку деформацій осередку одометра, викликаних неізотермічними умовами випробувань. Коефіцієнт теплового розширення осередку, використаний у дослідженні, становив $1,57 \cdot 10^{-5} / ^\circ\text{C}$, що було приблизно до коефіцієнта лінійного теплового розширення нержавіючої сталі.

Осередок одометра був наповнений дистильованою водою, а в ньому був встановлений гнучкий дротяний нагрівач для контролю температури води. Підігріта вода використовувалася для підтримки необхідної температури зразка суміші в одометрі.

Початок випробувань передбачав розташування ущільненого зразка суміші в комірці одометра. Далі відбувалося поступове збільшення температури зразка через контрольоване підігрівання осередку одометра з швидкістю $1 ^\circ\text{C}/\text{годину}$. Коли температура комірки та зразка досягала $40 ^\circ\text{C}$, гаряча вода починала циркулювати по верхній та нижній поверхнях зразка. Теплові втрати в циркуляційному контурі компенсувалися підвищенням температури води в ємності.

На представленому на рисунку 2.12 графіку видно, що набухання зразка суміші, який був випробуваний при 40°C , відбувається значно швидше, ніж у випадку зразка, випробуваного при кімнатній температурі (20°C). Згідно з результатами досліджень [12], висока швидкість набухання зразка при 40°C пояснюється зниженням в'язкості води. Це зниження в'язкості води призводить до прискорення швидкості гідратації суміші при вищій температурі, що в свою чергу зменшує загальний тиск набухання зразка.

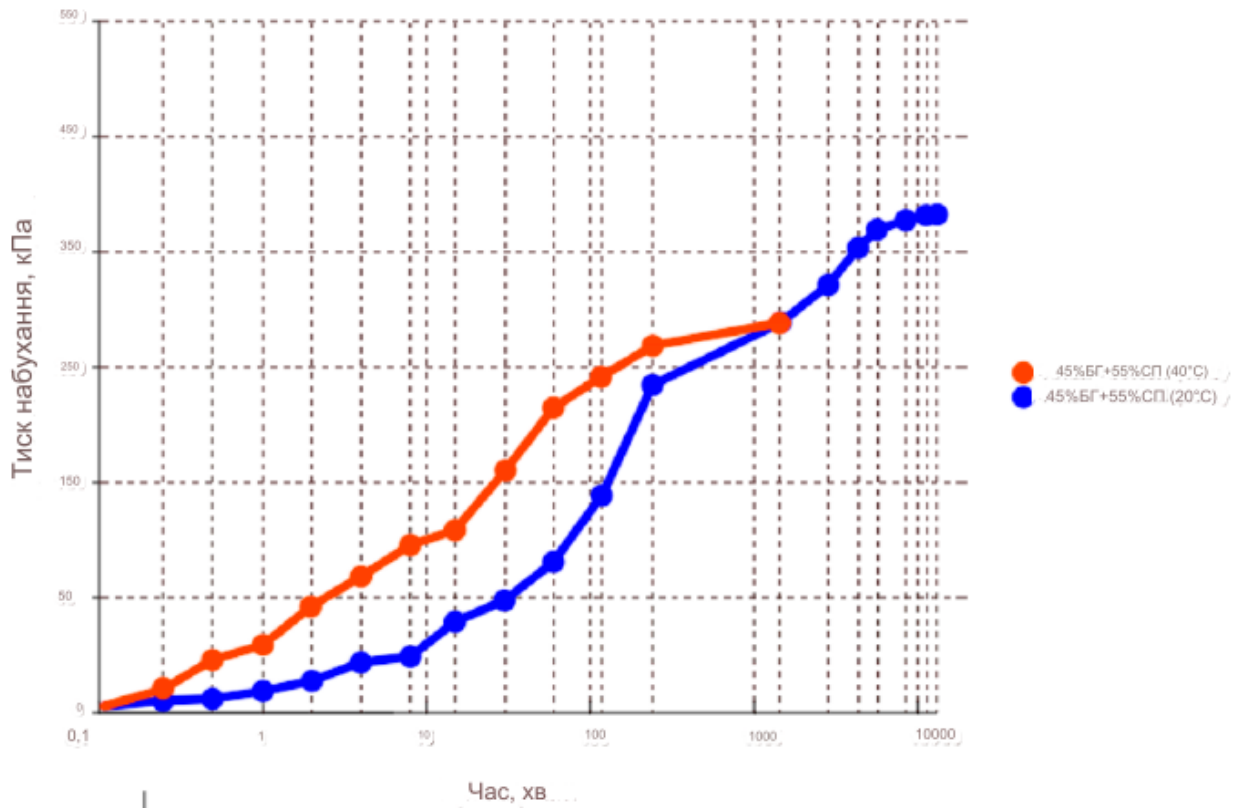


Рисунок 2.12 – Графіки зміни тиску набухання зразків у часі

Осередок одометра був наповнений дистильованою водою, а в ньому був встановлений гнучкий дротяний нагрівач для контролю температури води. Підігріта вода використовувалася для підтримки необхідної температури зразка суміші в одометрі.

На зображенні 2.13 представлено графік зміни тиску набухання нагрітого зразка суміші при подальшому охолодженні до кімнатної температури. Зазначимо, що зниження абсолютного значення тиску набухання зразка внаслідок підвищення температури є оборотнім процесом. Величина тиску набухання нагрітого зразка збільшилася і досягла стану рівноваги, що дуже близький до значення, отриманого для зразка при кімнатній температурі.

З вищевказаного випливає, що надмірне збільшення тиску нагнітання під час ін'єкційних робіт може спричинити утворення нових тріщин у конструкції, що потребує оцінки міцності субстрату та додаткових розрахунків. Також виникає потреба в оцінці величини сил опору, які створюють перешкоди для руху складу в тріщині.

З прийнятною точністю можна вирішити завдання щодо руху гідроізоляційного складу в тріщині, розглядаючи його як в'язку нестисливу рідину. Тріщина розглядається як частина напівпростору між двома паралельними площинами. У процесі пересування складу в тріщині його температура і в'язкість вважаються постійними.

Аналіз цих параметрів підкреслює, що тиск нагнітання гідроізоляційного складу та глибина його проникнення формують силовий вплив на ізольовану конструкцію. Цей тиск і силовий вплив зростають зі зменшенням ширини розкриття тріщини і збільшенням в'язкості складу. Збільшення тиску також пов'язане з глибиною проникнення складу.

Важливо уникати надмірного підвищення тиску нагнітання, оскільки це може призвести до утворення нових тріщин у конструкції. Це вимагає оцінки міцності основи та проведення додаткових розрахунків. Також важливо враховувати сили опору, які можуть ускладнити рух складу в тріщині.

Щоб точно вирішити завдання щодо руху гідроізоляційного складу в тріщині, його можна розглядати як в'язку нестисливу рідину. Тріщина розглядається як частина напівпростору між двома паралельними площинами. Процес руху складу в тріщині моделюється як ламінарний.

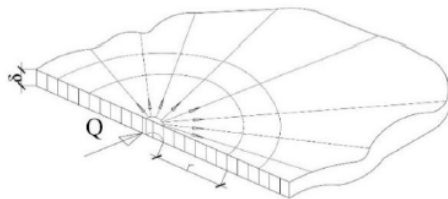


Рисунок 2.14 – Лінії руху складу суміші у тріщині

Швидкість перебігу складу по ширині тріщини приймається розподіленою за законом квадратною параболою і описується рівнянням

$$V = \frac{2}{3} \cdot V_{\text{ср}} \left(1 - \frac{h^2}{H^2} \right), \quad (2.2)$$

де $V_{\text{ср}}$ - середня швидкість перебігу складу в аналізованому перерізі;

H - відстань від серединного шару до площин, що обмежують потік;

h - відстань від серединного шару до шару, що розглядається.

Середня швидкість перебігу визначається за формулою

$$V_{\text{ср}} = \frac{Q}{\pi \cdot r \cdot \delta}, \quad (2.3)$$

де Q - продуктивність насоса;

r - радіус основи циліндра, через бічну поверхню якого відбувається рух складу;

δ - ширина розкриття тріщини.

Дотичні напруження, що виникають при русі складу в тріщині, визначаються за формулою

$$\tau = -\eta \frac{dv}{dh} = 3V_{\text{ср}} \cdot \frac{h^2}{H^2} \cdot \eta. \quad (2.4)$$

Величина тиску нагнітання складу може бути визначена при розгляд рівноваги елементарного об'єму рідини (рисунок 2.15) по формулі

$$P_0 = \frac{12Q \cdot \eta}{\pi \cdot \delta^3} \cdot \frac{R_0 - r_0}{r_0}, \quad (2.5)$$

де R_0 - Глибина проникнення складу або радіус вільної поверхні; r_0 - радіус ін'єкційного отвору.

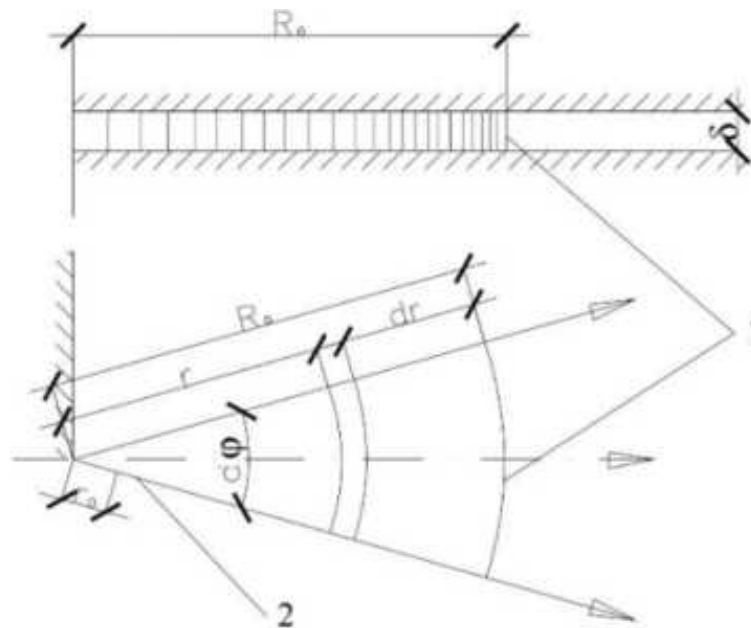


Рисунок 2.15 – До висновку формули (2.5)

Згідно з формулою (2.5), випливає, що величина коефіцієнта динамічної в'язкості гідроізоляційного складу має безпосередній вплив на тиск нагнітання i , відповідно, на зусилля, що виникають в товщі ізолюючої конструкції. З цієї причини для обмеження величини силового впливу на конструкцію під час проведення ін'єкційних робіт необхідно підбирати оптимальну в'язкість гідроізоляційного складу залежно від кожної конкретної ситуації.

На підставі висновків, отриманих у розділах 2.2 та 2.3 з результатів наших експериментів, були розраховані оптимальні параметри нагнітання гідроізоляційних складів, що базуються на бентонітових глинах, для ефективного ущільнення тріщин без проникнення через них. У таблиці 2.3 представлені розрахунки параметрів нагнітання гідроізоляційного складу із 45% вмістом бентонітового глинопорошка, залежно від ширини розкриття тріщини та температури суміші. З отриманих даних видно, що попереднє підігрівання гідроізоляційного складу до 40°C призводить до зменшення динамічної в'язкості суміші, і, таким чином, надає можливість проводити

нагнітання складу при менших значеннях тиску. Різниця в тиску нагнітання при звичайних умовах порівняно із попереднім підігріванням складає у середньому 20%.

Таблиця 2.3 – Параметри нагнітання гідроізоляційного складу залежно від ширини розкриття тріщин та температури суміші

Параметр	Од. змін.	Розмір параметра							
		при температурі складу 20°C				при температурі складу 40°C			
Коефіцієнт динамічної в'язкості гідроізоляційного складу	кПа·с	0,25				0,2			
		0,4				0,4			
Продуктивність насосу	м ³ /год	100				100			
Глибина проникнення складу	мм	12				12			
Радіус ін'єкційного отвору	мм	4	6	8	10	4	6	8	10
Ширина розкриття тріщини	мм	4	6	8	10	4	6	8	10
Тиск нагнітання гідроізоляційного складу	МПа	11,6	3,4	1,5	0,7	9,3	2,8	1,2	0,6

Під час введення гідроізоляційного розчину в обробний простір підземної споруди, ідеальні налаштування нагнітання можна визначити, розв'язуючи задачу щодо руху рідини в фільтруючому каналі.

Відповідно до рівняння Пуазейля обсяг води, що надходить прямо пропорційний четвертого ступеня діаметра і різниці тисків по довжині фільтраційного каналу

$$N = \frac{(P_1 - P_2) \cdot \pi \cdot D^4}{128\eta \cdot l}, \quad (2.6)$$

де D - Діаметр фільтраційного каналу;

l – довжина фільтраційного каналу;

P_1 – тиск води на вході каналу;

P_2 - Тиск води на виході каналу.

З виразу (2.6) слід, що тиск гідроізоляційного складу, що нагнітається, проти потоку надходить води буде тим менше, чим більше площа фільтраційного каналу. Знаючи обсяг води, що надходить і площа перерізу каналу, можна також визначити середню швидкість потоку води

$$V = \frac{N}{S}. \quad (2.7)$$

Для успішного усунення протікання швидкість подачі нагнітається складу повинна бути достатньою, щоб повністю заповнити порожнину, що фільтрує. При цьому швидкість подачі складу впливає його динамічна в'язкість. Враховуючи, що гідроізоляційні склади на основі бентонітових глин мають в'язкість більшу ніж у води, необхідно мати можливість проводити нагнітання під значним тиском.

У вирішенні завдання щодо руху гідроізоляційного складу в тріщині можна використовувати наступний підхід. Гідроізоляційний склад, який вводиться в тріщину, розглядається як в'язка нестислива рідина. Тріщина уявляється як частина напівпростору, обмежена двома паралельними площинами, відстань між якими вважається постійною величиною. У процесі переміщення складу в тріщині його температура і в'язкість вважаються постійними.

В таблиці 2.4 представлені розрахунки параметрів нагнітання гідроізоляційного складу з 45% вмістом бентонітового глинопорошка в залежності від діаметра каналу фільтрації та температури суміші. За результатами, вказаними в таблиці 2.4, можна зазначити, що нагрівання гідроізоляційного складу до 40°C призводить до зменшення динамічної в'язкості суміші, що дозволяє здійснювати нагнітання складу у фільтруючий канал при менших значеннях тиску. Зниження тиску нагнітання становить у середньому 20%.

Таблиця 2.4 – Параметри нагнітання піщано-бентонітових складів залежно від діаметра каналу фільтрації та температури суміші

Параметр	Од. змін.	Розмір параметра							
Висота стовпа води	м	3				3			
Гідростатичний тиск стовпа води	МПа	2,9				2,9			
Коефіцієнт динамічної в'язкості гідроізоляційного складу	кПа·с	при температурі складу 20°C				при температурі складу 40°C			
		0,25				0,2			
Довжина каналу фільтрації	м	0,64				0,64			
Діаметр каналу фільтрації	мм	15	20	25	30	15	20	25	30
Витрата гідроізоляційного	м ³ /е-10 ⁻⁷	4,2	5,6	6,9	8,4	4,2	5,6	6,9	8,4
Різниця тисків	МПа	5,4	2,3	1,2	0,7	4,3	1,8	0,9	0,5
Тиск нагнітання гідроізоляційного складу	МПа	8,3	5,2	4,1	3,6	7,2	4,7	3,8	3,4

3 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВЛАШТУВАННЯ ПІДЗЕМНОЇ ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ ІН'ЄКЦІЙНИМ СКЛАДОМ НА ОСНОВІ БЕНТОНІТОВИХ ГЛИН

3.1 Технологічна послідовність виконання робіт при влаштуванні ін'єкційної гідроізоляції

Як експериментальний майданчик для проведення дослідних робіт з влаштування ін'єкційної гідроізоляції було обрано підвальне приміщення павільйону № 12 «Механізація, електрифікація та меліорація», розташованого у м. Дніпро (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Фотографії будівлі павільйону №12

Розглянута частина павільйону представляє собою одноповерхову, прямокутну будівлю за планом, здійснену за конструктивною схемою зі стінами, де використані вбудовані дерев'яні перекриття на металевих балках і

стійках. Фундаменти споруди виконані у вигляді стрічкових, виготовлених із тесаного бута-вапняку та глиняної цеглини на вапняному розчині. Глибина закладення стрічкового фундаменту становить 2500 мм від планувальної позначки землі.

Результати інженерно-геологічних досліджень вказують на те, що вище за рівень подошви фундаменту розташовані техногенні ґрунти, що складаються з тугопластичного суглинку із прошарками піску середньої крупності та додатками будівельного сміття. Відповідно до [9], зазначена територія прилегла до будівлі та підтоплювана в природних умовах. Коефіцієнт фільтрації ґрунту, визначений на основі випробувань відібраних зразків, склав 10-3 см/с.

Перед розпочатком виконання робіт з ін'єкційної гідроізоляції було проведено комплекс заходів організаційного та підготовчого характеру відповідно до [8]. Цей комплекс включав в себе такі види робіт:

- інспекцію конструкцій, які підлягають ізоляції;
- передачу ділянки для проведення гідроізоляційних робіт з оформленням акта здачі-приймання;
- підготовку до використання необхідних машин, обладнання, інвентарю та пристроїв;
- доставку необхідних матеріалів та організацію місця для їхнього зберігання;
- встановлення засобів підмашування;
- узгодження місць для миття контейнерів, інструментів та підключення до електрики та водопостачання;
- організацію освітлення робочих місць;
- проведення інструктажу робітників з безпечного виконання робіт та дотримання норм охорони праці.

Після завершення організаційних заходів виконувалася підготовка робочої поверхні на експериментальній ділянці конструкції. Роботи

проводилися як вручну за допомогою металевих щіток, так і з використанням механізованого інструменту (перфоратора з різними насадками). Під час робіт на робочій поверхні конструкції усувалися тріщини, сколи, раковини та ділянки з пухкими елементами, які легко відокремлюються. Також видалялися всі елементи, які вирізнялися на поверхні конструкції, і які важко виконували роботи. Підготовлена поверхня відповідала вимогам [7, 8].

Після підготовки робочої поверхні конструкції в місцях течій намічались і просвердлювалися наскрізні отвори, що виходять за обробний простір підвального приміщення (рисунок 3.2). Виготовлення отворів для ін'єкцій виконувалося за допомогою перфоратора. Кількість отворів становила 9 одиниць на кожний квадратний метр поверхні, яка підлягала ізоляції. Свердління отворів проводилося за шахматною схемою з інтервалом 400 мм по горизонталі та 500 мм по вертикалі, при зануренні в ґрунт на глибину 100-150 мм. Діаметр отворів був обраний на 1-2 мм більше, ніж діаметр нагнітального патрубку і становив 25 мм. Після завершення бурових робіт отвори очищувались стисненим повітрям від залишків буріння та встановлювалися нагнітальні патрубки. Зовнішній діаметр патрубків, рівний 22 мм, був визначений відповідно до внутрішнього діаметра використаного шланга для розчинонасосу.

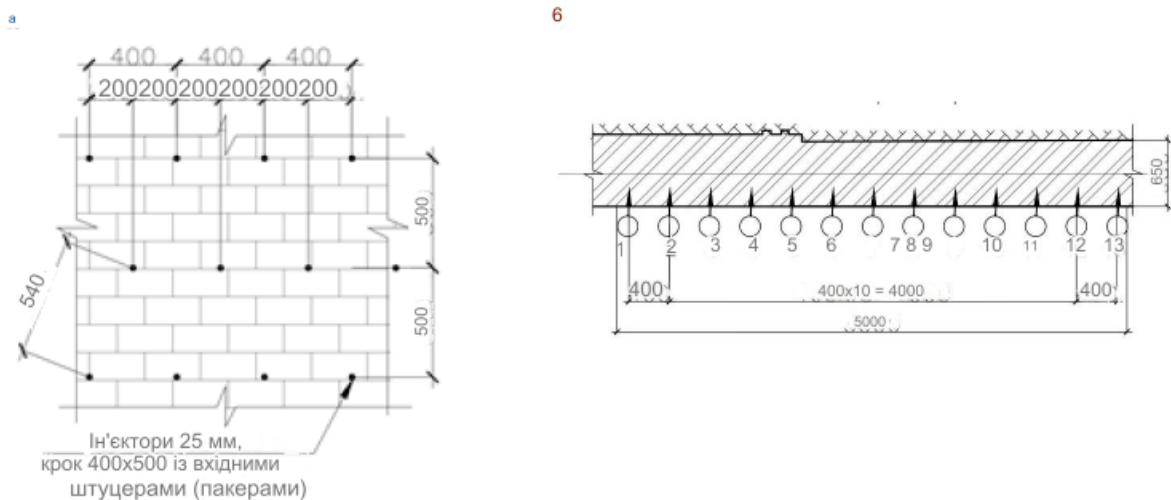


Рисунок 3.2 – Схема розташування ін'єкційних отворів у конструкції:

а – вид збоку; б - вид зверху

Готування ін'єкційного розчину для гідроізоляції відбувалося безпосередньо на будівельному майданчику за допомогою електродрилі з насадкою-міксером. Суха суміш, яка включала бентонітовий глино порошок та будівельний пісок, додавалася до змішувальної ємності, наповненої попередньо підігрітою до 45 °С водою, і перемішувалася протягом 5 хвилин. Доля сухої суміші становила 25% від загальної маси розчину. Перед приготуванням повного об'єму розчину проводився пробний заміс для оцінки його життєздатності на будівельному майданчику. Середній час життєздатності ін'єкційного розчину складав 20 хвилин.

Після приготування робочого розчину починалася процедура ін'єкції. Заповнення ін'єкційного складу на території дослідної ділянки конструкції здійснювалося знизу вгору вздовж периметру конструкції методом затиску (див. рисунок 3.3).

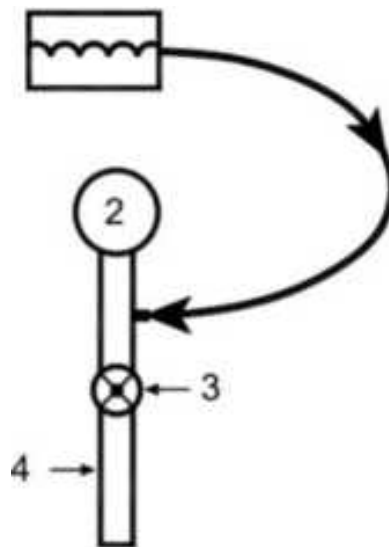


Рисунок 3.3 – Затискний спосіб нагнітання розчину: 1 – розчинонасос;
2 – манометр; 3 – кран; 4 - ін'єктор

Приготований розчин нагнітається через ін'єкційні патрубки в обробний простір споруди з постійною продуктивністю до моменту, коли тиск у системі досягає максимального значення або коли розчин починає витікати із сусідніх

патрубок. У випадку витікання розчину з іншого патрубка, нагнітання через поточний патрубок автоматично припиняється, патрубок герметизується, і шланг розчинонасоса переноситься на сусідній патрубок. Процес вважається завершеним, коли розчин з'являється із сусідніх патрубків. Весь цей процес прокачування повторюється для всіх патрубків відповідно до зазначеної схеми (див. рисунок 3.4).

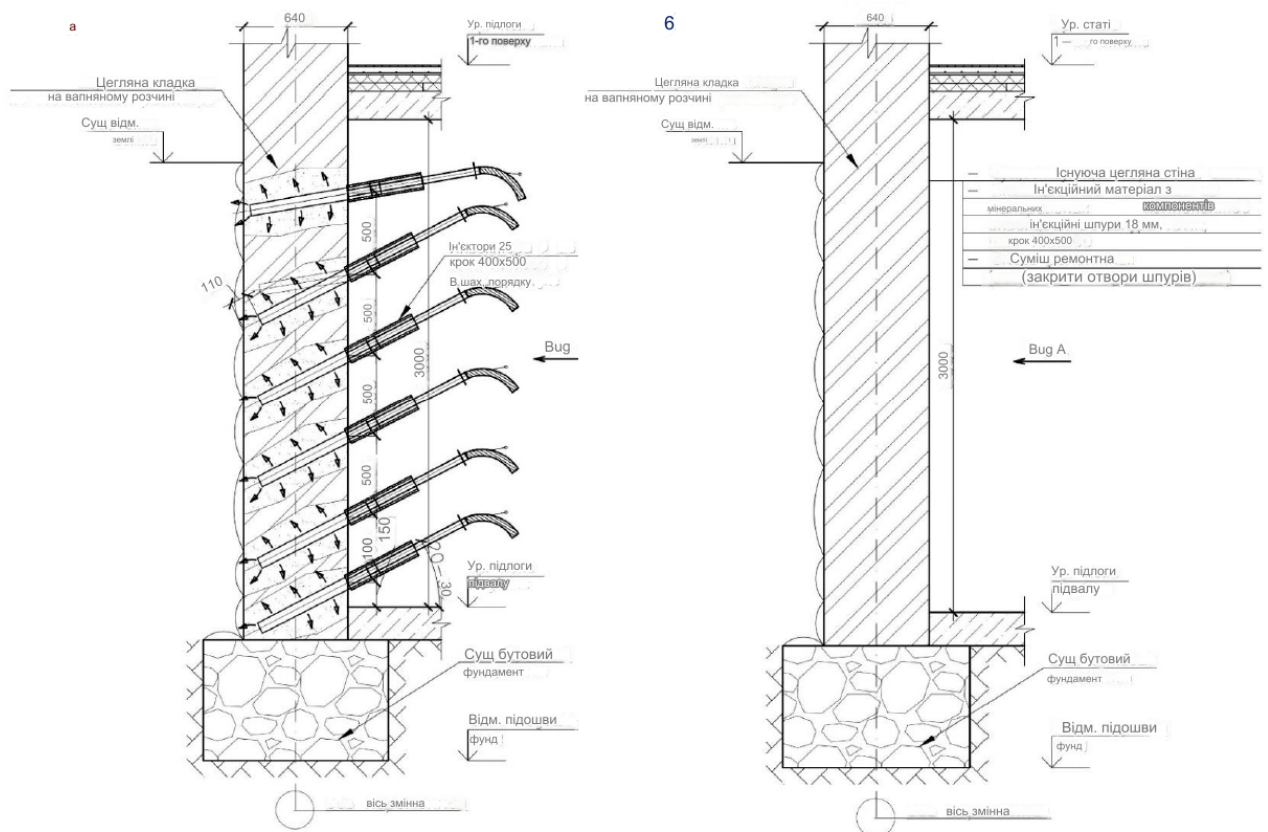


Рисунок 3.4 – Схема нагнітання ін'єкційного складу за обробний простір:

а – перший етап; б - другий етап

Нагнітання розчину здійснювалося за допомогою патрубків, обладнаних корковими кранами, що дозволяло проводити герметизацію свердловин під час процесу нагнітання. Робочий тиск нагнітання розчину встановлювався відповідно до інженерно-геологічних умов майданчика та технічного стану ізолюваної конструкції і становив не менше 0,4 МПа. Регулювання тиску нагнітання відбувалося під час виконання робіт за допомогою манометра,

розміщеного на замонтованому нагнітальному патрубку, і обмежувалося максимальною величиною 1,2 МПа. Після завершення розподілу розчину по всій поверхні дослідної ділянки конструкції передбачалася технологічна перерва тривалістю 16 годин для вбирання зайвої води.

Контроль якості виконання ін'єкційної гідроізоляції на дослідній ділянці конструкції здійснювався згідно з вимогами [4, 5]. Цей контроль охоплював усі етапи технологічного процесу, розпочинаючи з організаційних заходів і закінчуючи завершенням гідроізоляційних робіт.

Вартість матеріалів, потрібних для виконання гідроізоляційних робіт на дослідній ділянці виробництва, представлена в таблиці 3.1. Перелік використаного обладнання, машин, інвентарю та пристроїв, що використовувались під час виконання робіт, подається у таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 – Відомість потреби у матеріалах на 1 м² (за відсутності порожнеч)

№ п/п	найменування матеріалу	Одиниці виміру	Кількість
1	Піщано-бентонітова суміш	кг	35
2	Вода	л	105

Після завершення робіт з гідроізоляції на дослідній ділянці було впроваджено експериментальний підхід для контролю та забезпечення якості піщано-бентонітової мембрани. Цей підхід включав випробування проін'єктованого ґрунту статичним зондуванням. Опір вдавлюванню конуса в проін'єктованому ґрунті варіювався в залежності від вмісту піщано-бентонітової суміші, що дозволяло використовувати метод статичного зондування для оцінки однорідності та герметичності. У випадку виявлення від'ємного значення

Таблиця 3.2 – машини, обладнання, інвентарю та пристроїв, використаних на дослідній ділянці

№ п/п	Найменування	Призначення	Основні технічні Характеристики	Кількість
1	Розчинонасос гвинтовий СО-150	Нагнітання гідроізоляційного складу	Напруга - 380 В Потужність - 2200 Вт	1
2	Перфоратор із насадками	Свердління ін'єкційних отворів	Напруга - 220 В Потужність – 1000 Вт Частота - 4000 уд/хв	1
3	Трійник із манометром для вимірювання тиску	Вимірювання тиску подачі розчину за обробний простір		1
4	Міксер-дріль для перемішування розчину	Приготування гідроізоляційного складу	Напруга - 220 В Потужність -100 Вт Частота - 600 об/хв	1
5	Пакери	Ін'єктування гідроізоляційного складу	Діаметр - 22 мм Тиск - 4 МПа	135
6	Шланги ін'єкційні	Ін'єктування гідроізоляційного складу	Діаметр – 20 мм	5
7	Ємності робітники пластикові	Приготування та тимчасове зберігання гідроізоляційного складу	Об'єм - 50 л	2
8	Термометр	Вимірювання температури води		1
9	Молоток-кирка	Підготовка поверхні		2

Продовження таблиці 3.2

10	Щітка сталева	Очищення поверхні		2
11	Шпатель сталевий	Нанесення ремонтних складів		2
12	Лінійка металева	Виконання лінійних вимірів	Шкала виміру - 150 мм	1
13	Рулетка металева	Виконання лінійних вимірювань	Шкала виміру - 200 мм	1
14	Засоби підмашування	Обробка ділянок поверхні вище за зростання людини		1 комплект
15	Огородження запобіжник ні	Огородження робочої ділянки		1 комплект

контролю однорідності та гідравлічної провідності піщано- бентонітової мембрани після її влаштування.

Для оцінки зазначених характеристик введено поняття «коефіцієнта заміщення», що визначається за формулою

$$K_z = \ln \frac{0,4}{q}, \quad (3.1)$$

де 0,4 - граничне значення питомого опору ґрунту під наконечником конуса, визначене за результатами занурення конуса піщано - бентонітову суміш, МПа;

q - середнє значення питомого опору проін'єктованого ґрунту по глибині під наконечником конуса, МПа.

Позитивне значення коефіцієнта заміщення свідчить про відповідність виконаної піщано-бентонітової мембрани встановленим вимогам щодо коефіцієнта, необхідно повторно провести нагнітання піщано-бентонітового складу на будівельній конструкції і провести повторні випробування.

У випадку виявлення від'ємного значення коефіцієнта, необхідно повторно провести нагнітання піщано-бентонітового складу на будівельній конструкції і провести повторні випробування. Графіки зміни питомого опору ґрунту під час поглиблення конуса до та після ін'єктування подано на рисунках 3.5 та 3.6. Одержані значення q для проін'єктованого ґрунту виявилися низькими (менше 0,5 МПа), що зумовлено високою пластичністю піщано-бентонітової суміші. Невеликі викиди на деяких графіках пов'язані з наявністю тонких піщаних лінз і глинистих грудок під конусом.

Проте ці викиди не мають впливу на загальну водонепроникність піщано-бентонітової мембрани, оскільки коефіцієнт заміщення для наведених графіків має позитивні значення. Результати лабораторних випробувань взятих зразків проін'єктованого ґрунту свідчать про значуще зниження коефіцієнта фільтрації на три порядки - з $1,110^{-3}$ до $1,4 \cdot 10^{-6}$ см/с.

3.2 Технологічна послідовність виконання робіт при влаштуванні комплексної ін'єкційної гідроізоляції з притискною стінкою

Застосована методика дозволяє здійснювати зручне створення гідроізоляційних бар'єрів у вже існуючих конструкціях, захищаючи їх від активного впливу води, і це відбувається без необхідності викопування ґрунту навколо споруди. Піщано-бентонітовий розчин, який подається в обробний простір споруди, заповнює усі тріщини і порожнини в ізольованій конструкції, а також порожнечі в навколишньому ґрунті. Під час гідрації розчину утворюється щільна та непроникна мембрана, яка надійно захищає конструкції від контакту з водою.

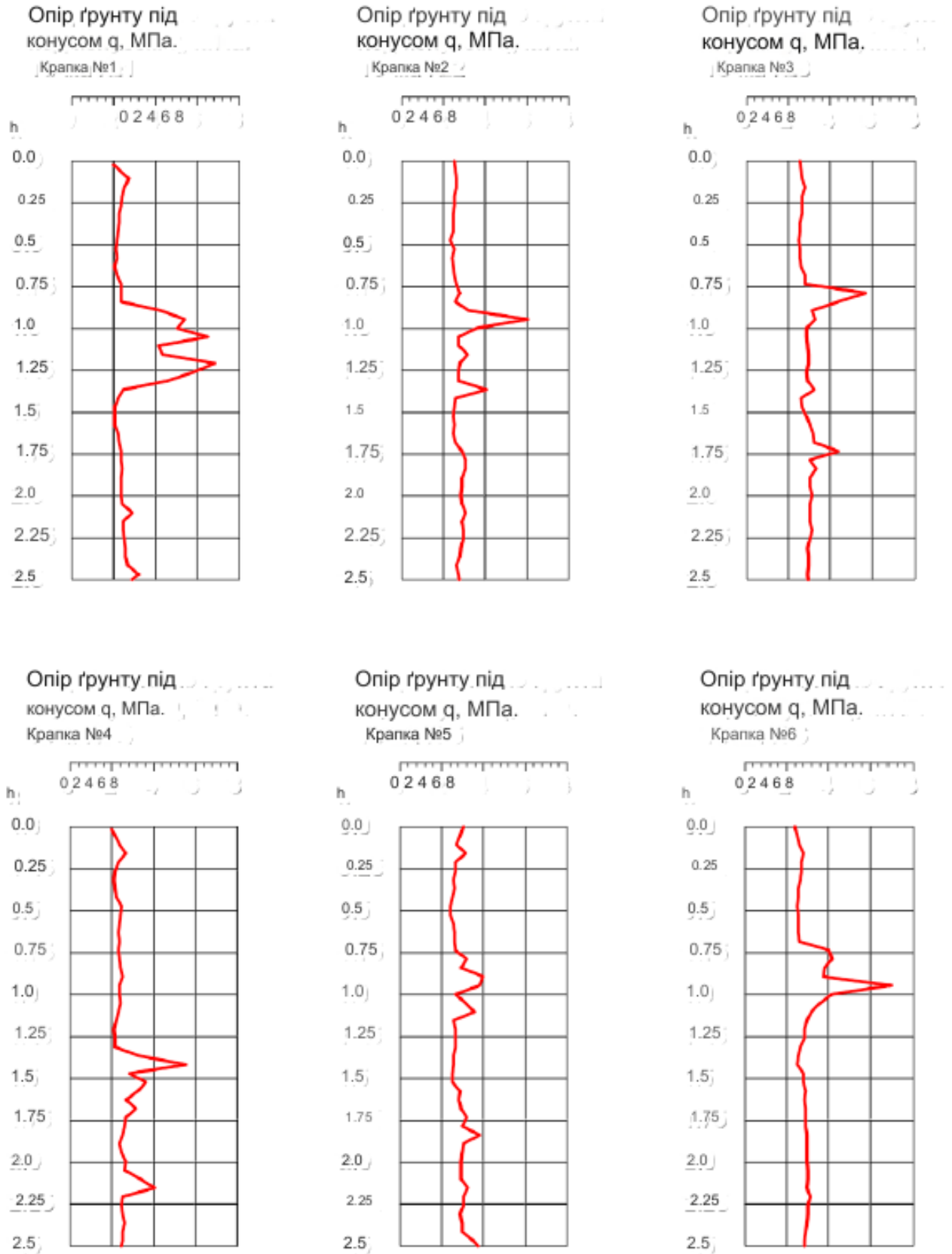


Рисунок 3.5 – Профілі зміни питомого опору ґрунту зануренню конуса після ін'єктування

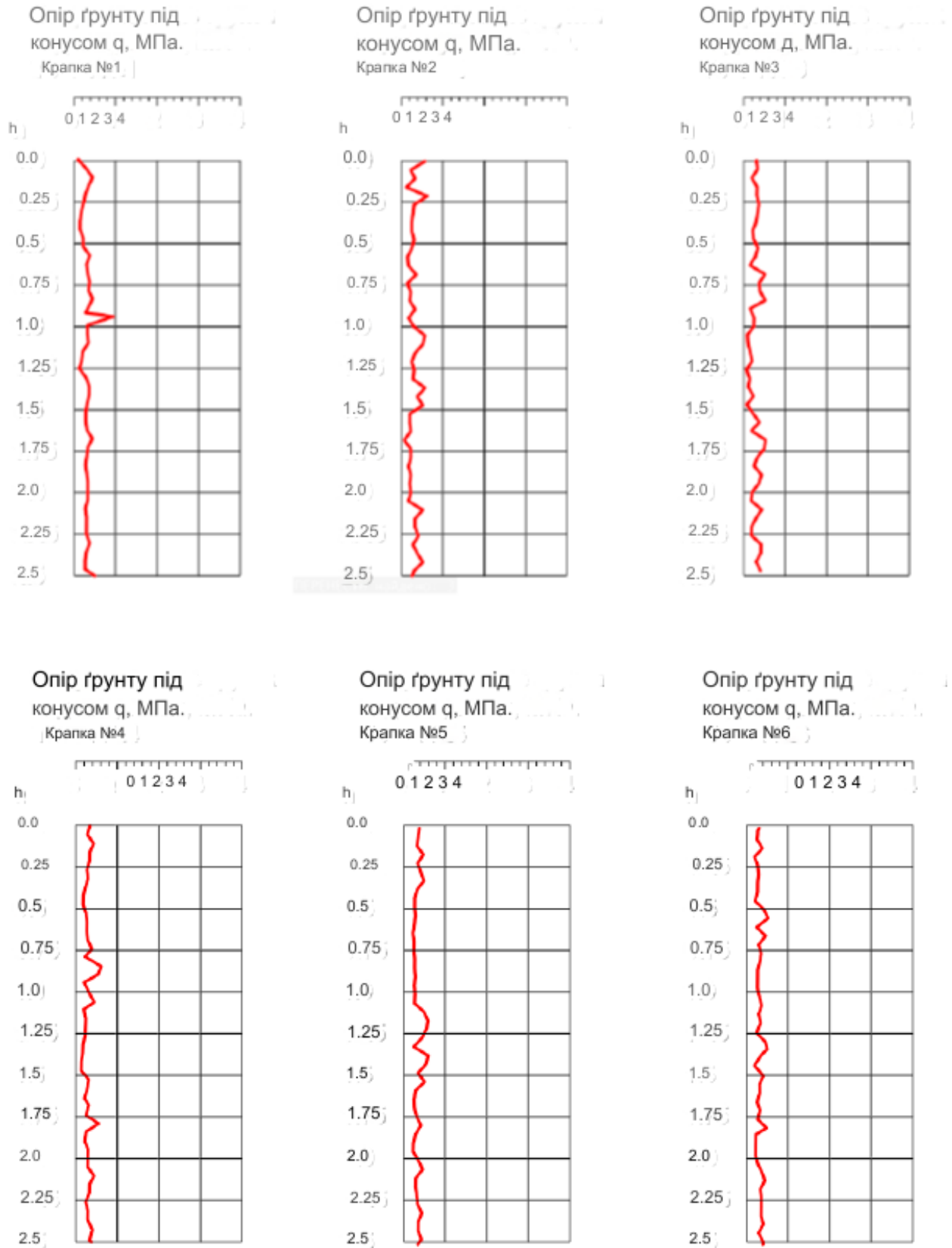


Рисунок 3.6 – Профілі зміни питомого опору ґрунту зануренню конуса до ін'єктування

Труднощі, які, як правило, виникають на будівельних майданчиках, характеризуються постійними змінами рівня ґрунтових вод та наявністю в основі споруд ґрунтів з високою дренажною здатністю. Зазначені фактори можуть створюють умови для поступового вимивання ін'єкцій піщано-бентонітового складу з подальшим відновленням протікання у приміщеннях підземної споруди.

Для розв'язання даної проблеми було розроблено авторський підхід до комплексної ін'єкційної гідроізоляції, який базується на створенні на початковому етапі блокуючої притискної стінки з цементно-піщаного розчину в ґрунтовому шарі, що прилягає до підземної конструкції. Процедура створення притискної стінки виконується за допомогою вприскування цементно-піщаного розчину на фіксованій відстані від об'єкта захисту. Ця стінка обмежує розподіл вприснутої піщано-бентонітової суміші, сприяючи максимальному використанню властивостей бентонітової гідроізоляції. На другому етапі проводиться безперервне створення гідроізоляційної мембрани між створеною цементно-піщаною стінкою та конструкцією захисту, використовуючи вприскування піщано-бентонітового розчину в обробний простір підземної споруди.

Перед початком виконання робіт із влаштування комплексної ін'єкційної гідроізоляції проводяться аналогічні організаційні та підготовчі заходи, які були описані в розділі 3.1.

Після завершення організаційних заходів виконується підготовка робочої поверхні ізолюваної конструкції. Поверхня повинна бути ретельно очищена від забруднень та видимих структурних пошкоджень. У випадку необхідності проводиться місцевий ремонт тріщин для уникнення витікання ін'єкційного розчину з конструкції під час виконання робіт. Готова поверхня повинна відповідати вимогам [7, 8].

На підготовленій ділянці конструкції проводиться маркування та свердління ін'єкційних отворів діаметром 40 мм. Розміщені вони з рівномірним

інтервалом: 400 мм горизонтально та 500 мм вертикально (див. рисунок 3.7). Ін'єкційні отвори орієнтовані під кутом 20-30° до горизонту та розташовані на висоті 100-150 мм від рівня підлоги. Кількість та розташування отворів визначаються на основі аналізу параметрів протікання та структурних властивостей конструкції. Для вказаної ділянки кількість отворів складає 9 штук на 1 м² поверхні, що підлягає ізоляції.

Свердліні отвори мають пройти повз стіну конструкції і занурюватися в ґрунт на глибину 450-550 мм. Кут нахилу свердління до горизонту може коригуватися залежно від висоти підвального приміщення. Допустимі відхилення отворів від проектного положення не повинні перевищувати 50 мм від центральної осі. При гідроізоляції залізобетонних конструкцій спочатку визначається розташування арматурних стрижнів у обох напрямках, а потім розміщення ін'єкційних отворів проводиться з врахуванням відступу від арматури на 50 мм.

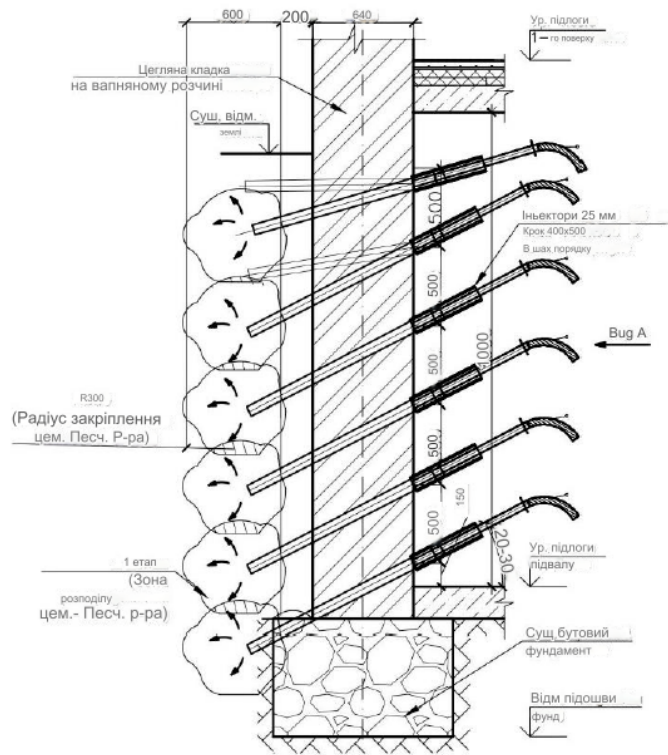


Рисунок 3.7 – Схема нагнітання цементно -піщаного складу за обробне простір (1 етап)

Після завершення бурових операцій ін'єкційні отвори піддають очищенню стисненим повітрям для видалення бруду, а в них встановлюються сталеві труби діаметром 38 мм і довжиною 1200 мм. Довжина труб визначається в залежності від радіусу закріплення, характеру та кількості тріщин, а також від матеріалу конструкції. На розглянутій ділянці радіус закріплення становить 300 мм.

Далі у верхній частині свердловини розміщується тампон-нагнітач, і проводиться ін'єкція розчину в обробний простір підземної структури (див. рисунок 3.2.1). Цей процес ін'єкції виконується за допомогою цементно-піщаного розчину із водоцементним співвідношенням в межах В/Ц=0,5-0,8. Склад розчину піддається коригуванню на робочій ділянці в залежності від поглиблення, тиску ін'єкції та якості використовуваних матеріалів. Робочий склад розчину визначається на основі результатів дослідної ін'єкції на перших 3-5 свердловинах.

Для здійснення ін'єкційного процесу рекомендується використовувати двокомпонентний насос, який оснащений регулятором подачі розчину та манометром для стеження за тиском. Ін'єкція проводиться в напрямку від низу до верху за робочого тиску від 0,3 до 0,5 МПа. Важливо уникати різкого збільшення тиску на виході розчину під час процесу ін'єктування. Процес нагнітання розчину триває до досягнення встановленої норми або виникнення відмови. Відмовою вважається поглиблення розчину об'ємом до 5 літрів протягом 15 хвилин за максимально допустимого тиску. Після припинення подачі розчину витягується тампон, і розпочинається технологічна перерва, яка триває протягом одного дня.

Після завершення ін'єкційних робіт рекомендується виконати контрольні шурфи для оцінки розмірів та якості цементно-піщаних ін'єкцій. Контроль якості проведення ін'єкційних робіт варто виконувати відповідно до вимог [4, 5]. У процесі виконання робіт необхідно дотримуватись вимог [3] та здійснювати моніторинг за станом ізолюваних конструкцій. У випадку

неприпустимих деформацій та розвитку тріщин важливо тимчасово зупинити виконання робіт, доки не буде визначено та усунуто їхні причини.

Другий етап робіт розпочинається після досягнення необхідної міцності цементно-піщаної стіни. У вже пробурених отворах, які були створені на першому етапі, встановлюються нагнітальні патрубки, і проводиться ін'єкція піщано-бентонітового складу у обробний простір підземної споруди (див. рисунок 3.8). Проведення ін'єкційних робіт відбувається відповідно до технологічної послідовності, яка розглядається у розділі 3.1.

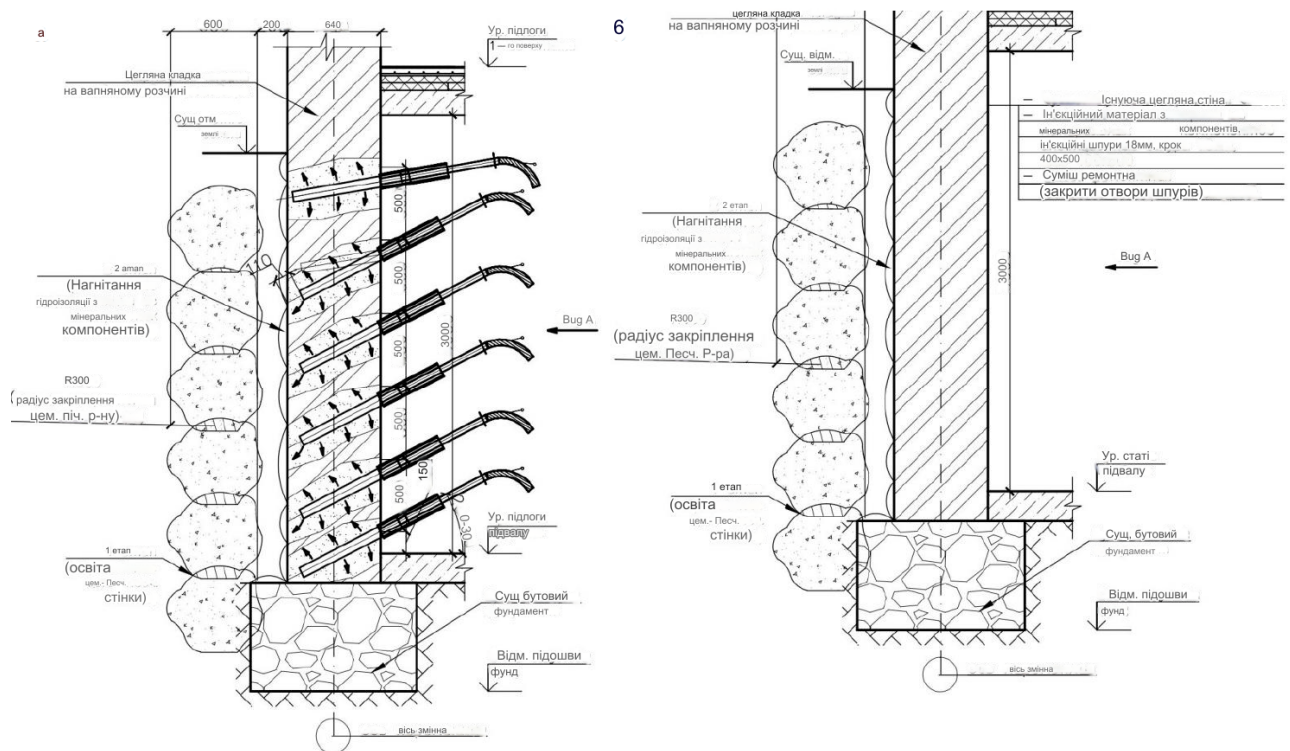


Рисунок 3.8 – Схема нагнітання піщано-бентонітового складу за простір що оброблюється: а – 2 етап; б - 3 етап

Потреба в будівельних матеріалах для відповідної ділянки, де проводяться гідроізоляційні роботи, відображена в табличному вигляді (див. Таблиця 3.3). Перелік необхідної техніки, обладнання, інструментів та пристроїв для виконання цих робіт подано у Таблиці 3.4.

Таблиця 3.3 – Відомість потреби у матеріалах на 1 м² (за відсутності порожнин)

№ п/п	найменування матеріалу	Одиниці виміру	Кількість
1	Цементно-піщана суміш	кг	35
2	Піщано-бентонітова суміш	кг	35
3	Вода	л	200

Таблиця 3.4 – Перелік машин, обладнання, інвентарю та пристроїв

№ п/п	Найменування	Призначення	Основні технічні Характеристики	Кількість
1	Розчинонасос Putzmeister	Нагнітання цементно-піщаного	Напруга - 380 В Потужність - 35 кВт	1
2	Розчинонасос гвинтовий СО-150	Нагнітання гідроізоляційного	Напруга - 380 В Потужність - 2200 Вт	1
3	Перфоратор із насадками	Свердління ін'єкційних отворів	Напруга - 220 В Потужність – 1000 Вт Частота - 4000 уд/хв	1
4	Трійник із манометром для вимірювання тиску розчину за обробний нагнітання розчину	Вимірювання тиску подачі розчину за обробний простір		1
5	Міксер-дріль для перемішування розчину	Приготування гідроізоляційного складу	Напруга - 220 В Потужність -100 Вт Частота - 600 об/хв	1

Продовження таблиці 3.4

№ п/п	Найменування	Призначення	Основні технічні	Кількість
6	Пакери	Ін'єктування гідроізоляційного	Діаметр - 22 мм Тиск - 4 МПа	135
7	Шланги ієкційні	Ін'єктування гідроізоляційного	Діаметр – 20 мм	5
8	Ємності робітники	Приготування та тимчасове зберігання	Об'єм - 50 л	2
9	Термометр	Вимірювання температури води		1
10	Молоток-кирка	Підготовка поверхні		2
11	Щітка сталева	Очищення поверхні		2
12	Шпатель сталевий	Нанесення ремонтних складів		2
13	Лінійка металева	Виконання лінійних вимірів	Шкала виміру - 150 мм	1
14	Рулетка металева	Виконання лінійних	Шкала виміру - 200 мм	1
15	Засоби підмашування	Обробка ділянок поверхні вище за зростання людини		1 комплект
16	Огородження запобіжник ні	Огородження робочої ділянки		1 комплект

3.3 Дослідження технологічних процесів влаштування ін'єкційної гідроізоляції методом хронометражних вимірювань

У ході проведення експериментальних випробувань з влаштування ін'єкційної гідроізоляції на тестовій ділянці, автором було проведено дослідження часових параметрів з метою визначення оптимальних умов для реалізації всіх етапів технологічного процесу та встановлення обґрунтованих нормативів часу. Методом аналізу процесу гідроізоляції обрано хронометражний підхід [3, 7]. За підсумками даного методу проводився аналіз фактичних витрат робочого дня, який буде необхідний виконання кожної окремої операції технологічного процесу.

Під час проведення хронометражних спостережень час виконання кожної технологічної операції вимірювався за допомогою секундоміра з точністю до 1 секунди. У результаті цих вимірювань реєструвалися назви операцій, час їх початку та завершення, а також їх тривалість. Для кожної окремої операції проводилися множинні виміри тривалості, і дані були внесені до хронометражних таблиць (таблиця 3.5).

Після завершення вимірювань отримані дані спостережень піддавали обробці. З хронометражного ряду виключалися значення вимірювання часу, що різко відрізнялися від інших значень сукупності вимірювань. Після вилучення неправильних вимірів для кожного набору визначалася варіабельність тривалості виконання операції за допомогою коефіцієнта стійкості хронометражного ряду, який розраховується відповідно до формули.

$$K_y = \frac{t_{max}}{t_{min}}, \quad (3.2)$$

де t_{max} , t_{min} - максимальне та мінімальне значення виміру в хронометричному ряду, с.

Результати розрахунку коефіцієнта стійкості хронометражного ряду наведено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.5 – Дані хронометражних вимірювань пристрою ін'єкційного гідроізоляції на експериментальній ділянці площею 15 м²

Найменування технологічних процесів та операцій	початок	Закінчення	Тривалість технологічних операцій, хв				
			Топер			в тому числі	
			№ змін.	хв %	година %	Тп-з (мін) %	Тп (мін) %
1. Підготовка поверхні конструкцій, що ізолюються (на 1 м ² поверхні)	9:00	9:08	1	8 100%	0,13 100%	0,18 2,2%	0,34 4,2%
	9:00	9:07	2	7 100%	0,12 100%	0,15 2,2%	0,29 4,2%
	9:00	9:09	3	9 100%	0,15 100%	0,20 2,2%	0,38 4,2%
	9:00	9:06	4	6 100%	0,10 100%	0,13 2,2%	0,25 4,2%
	9:00	9:07	5	7 100%	0,12 100%	0,15 2,2%	0,29 4,2%
	9:00	9:10	6	10 100%	0,17 100%	0,22 2,2%	0,42 4,2%
	9:00	9:08	7	8 100%	0,13 100%	0,18 2,2%	0,34 4,2%
	9:00	9:09	8	9 100%	0,15 100%	0,20 2,2%	0,38 4,2%
	9:00	9:06	9	6 100%	0,10 100%	0,13 2,2%	0,25 4,2%
	9:00	9:07	10	7 100%	0,12 100%	0,15 2,2%	0,29 4,2%
	9:00	9:10	11	10 100%	0,17 100%	0,22 2,2%	0,42 4,2%
	9:00	9:07	12	7 100%	0,12 100%	0,15 2,2%	0,29 4,2%
	9:00	9:10	13	10 100%	0,17 100%	0,22 2,2%	0,42 4,2%
	9:00	9:08	14	8 100%	0,13 100%	0,18 2,2%	0,34 4,2%
	9:00	9:09	15	9 100%	0,15 100%	0,20 2,2%	0,38 4,2%

Продовження таблиці 3.5

Найменування технологічних процесів та операцій	початок	Закінчення	Тривалість технологічних операцій, хв				
			Топер			в тому числі	
			№ змін.	хв %	година %	Тп-з (мін) %	Тп (мін) %
2. Свердління наскрізних отворів у конструкції (на 9 отворів)	9:09	10:39	1	90 100%	1,50 100%	2,16 2,4%	3,78 4,2%
	9:08	10:36	2	88 100%	1,47 100%	2,11 2,4%	3,70 4,2%
	9:10	10:39	3	89 100%	1,48 100%	2,14 2,4%	3,74 4,2%
	9:07	10:35	4	88 100%	1,47 100%	2,11 2,4%	3,70 4,2%
	9:08	10:39	5	91 100%	1,52 100%	2,18 2,4%	3,82 4,2%
	9:11	10:43	6	92 100%	1,53 100%	2,21 2,4%	3,86 4,2%
	9:09	10:37	7	88 100%	1,47 100%	2,11 2,4%	3,70 4,2%
	9:10	10:39	8	89 100%	1,48 100%	2,14 2,4%	3,74 4,2%
	9:07	10:37	9	90 100%	1,50 100%	2,16 2,4%	3,78 4,2%
	9:08	10:39	10	91 100%	1,52 100%	2,18 2,4%	3,82 4,2%
	9:11	10:43	11	92 100%	1,53 100%	2,21 2,4%	3,86 4,2%
	9:08	10:36	12	88 100%	1,47 100%	2,11 2,4%	3,70 4,2%
	9:11	10:41	13	90 100%	1,50 100%	2,16 2,4%	3,78 4,2%
	9:09	10:41	14	92 100%	1,53 100%	2,21 2,4%	3,86 4,2%
	9:10	10:39	15	89 100%	1,48 100%	2,14 2,4%	3,74 4,2%

Продовження таблиці 3.5

Найменування технологічних процесів та операцій	початок	Закінчення	Тривалість технологічних операцій, хв				
			Топер			в тому числі	
			№ змін.	хв %	година %	Тп-з (мін) %	Тп (мін) %
3. Встановлення ін'єкторів/пакерів у пробурені отвори (на 9 отворів)	10:40	10:53	1	13 100%	0,22 100%	0,34 2,6%	0,62 4,8%
	10:37	10:52	2	15 100%	0,25 100%	0,39 2,6%	0,72 4,8%
	10:40	10:56	3	16 100%	0,27 100%	0,42 2,6%	0,77 4,8%
	10:36	10:49	4	13 100%	0,22 100%	0,34 2,6%	0,62 4,8%
	10:40	10:56	5	16 100%	0,27 100%	0,42 2,6%	0,77 4,8%
	10:44	10:59	6	15 100%	0,25 100%	0,39 2,6%	0,72 4,8%
	10:38	10:54	7	16 100%	0,27 100%	0,42 2,6%	0,77 4,8%
	10:40	10:55	8	15 100%	0,25 100%	0,39 2,6%	0,72 4,8%
	10:38	10:52	9	14 100%	0,23 100%	0,36 2,6%	0,67 4,8%
	10:40	10:55	10	15 100%	0,25 100%	0,39 2,6%	0,72 4,8%
	10:44	10:57	11	13 100%	0,22 100%	0,34 2,6%	0,62 4,8%
	10:37	10:51	12	14 100%	0,23 100%	0,36 2,6%	0,67 4,8%
	10:42	10:57	13	15 100%	0,25 100%	0,39 2,6%	0,72 4,8%
	10:42	10:58	14	16 100%	0,27 100%	0,42 2,6%	0,77 4,8%
	10:40	10:53	15	13 100%	0,22 100%	0,34 2,6%	0,62 4,8%

Продовження таблиці 3.5

Найменування технологічних процесів та операцій	початок	Закінчення	Тривалість технологічних операцій, хв				
			Топер			в тому числі	
			№ змін.	хв %	година %	ES (мін)	Тп (мін) %
4. Приготування ін'єкційного складу (на 1 м2 поверхні)	10:54	11:04	1	10 100%	0,17 100%	0,45 4,5%	0,30 3,0%
	10:53	11:04	2	11 100%	0,18 100%	0,50 4,5%	0,33 3,0%
	10:57	11:07	3	10 100%	0,17 100%	0,45 4,5%	0,30 3,0%
	10:50	11:02	4	12 100%	0,20 100%	0,54 4,5%	0,36 3,0%
	10:57	11:08	5	11 100%	0,18 100%	0,50 4,5%	0,33 3,0%
	11:00	11:12	6	12 100%	0,20 100%	0,54 4,5%	0,36 3,0%
	10:55	11:05	7	10 100%	0,17 100%	0,45 4,5%	0,30 3,0%
	10:56	11:08	8	12 100%	0,20 100%	0,54 4,5%	0,36 3,0%
	10:53	11:03	9	10 100%	0,17 100%	0,45 4,5%	0,30 3,0%
	10:56	11:06	10	10 100%	0,17 100%	0,45 4,5%	0,30 3,0%
	10:58	11:09	11	11 100%	0,18 100%	0,50 4,5%	0,33 3,0%
	10:52	11:04	12	12 100%	0,20 100%	0,54 4,5%	0,36 3,0%
	10:58	11:10	13	12 100%	0,20 100%	0,54 4,5%	0,36 3,0%
	10:59	11:09	14	10 100%	0,17 100%	0,45 4,5%	0,30 3,0%
	10:54	11:04	15	10 100%	0,17 100%	0,45 4,5%	0,30 3,0%

Продовження таблиці 3.5

Найменування технологічних процесів та операцій	початок	Закінчення	Тривалість технологічних операцій, хв				
			Гопер			в тому числі	
			№ змін.	хв %	година %	Тп-з (мін) %	Тп (мін) %
5. Нагнітання ін'єкційного складу у конструкцію (на 1 м2 поверхні)	11:05	12:52	1	107 100%	1,78 100%	4,82 4,5%	3,75 3,5%
	11:05	12:51	2	106 100%	1,77 100%	4,77 4,5%	3,71 3,5%
	11:08	12:56	3	108 100%	1,80 100%	4,86 4,5%	3,78 3,5%
	11:03	12:48	4	105 100%	1,75 100%	4,73 4,5%	3,68 3,5%
	11:09	12:56	5	107 100%	1,78 100%	4,82 4,5%	4,07 3,5%
	11:13	12:59	6	106 100%	1,77 100%	4,77 4,5%	3,71 3,5%
	11:06	12:54	7	108 100%	1,80 100%	4,86 4,5%	3,78 3,5%
	11:09	12:54	8	105 100%	1,75 100%	4,73 4,5%	3,68 3,5%
	11:04	12:50	9	106 100%	1,77 100%	4,77 4,5%	3,71 3,5%
	11:07	12:54	10	107 100%	1,78 100%	4,82 4,5%	3,75 3,5%
	11:10	12:58	11	108 100%	1,80 100%	4,86 4,5%	3,78 3,5%
	11:05	12:51	12	106 100%	1,77 100%	4,77 4,5%	3,71 3,5%
	11:11	12:58	13	107 100%	1,78 100%	4,82 4,5%	3,75 3,5%
	11:10	12:55	14	105 100%	1,75 100%	4,73 4,5%	3,68 3,5%
	11:05	12:52	15	107 100%	1,78 100%	4,82 4,5%	3,75 3,5%

Продовження таблиці 3.5

Найменування технологічних процесів та операцій	початок	Закінчення	Тривалість технологічних операцій, хв				
			Топер			в тому числі	
			№ змін.	хв %	година %	Тп-з (мін) %	Тп (мін) %
6. Вилучення ін'єкторів/пакерів з отворів (на 9 отворів)	12:53	13:08	1	15 100%	0,25 100%	0,72 4,8%	0,57 3,8%
	12:52	13:06	2	14 100%	0,23 100%	0,67 4,8%	0,53 3,8%
	12:57	13:13	3	16 100%	0,27 100%	0,77 4,8%	0,61 3,8%
	12:49	13:04	4	15 100%	0,25 100%	0,72 4,8%	0,57 3,8%
	12:57	13:13	5	16 100%	0,27 100%	0,77 4,8%	0,61 3,8%
	13:00	13:15	6	15 100%	0,25 100%	0,72 4,8%	0,57 3,8%
	12:55	13:09	7	14 100%	0,23 100%	0,67 4,8%	0,53 3,8%
	12:55	13:09	8	14 100%	0,23 100%	0,67 4,8%	0,53 3,8%
	12:51	13:06	9	15 100%	0,25 100%	0,72 4,8%	0,57 3,8%
	12:55	13:10	10	15 100%	0,25 100%	0,72 4,8%	0,57 3,8%
	12:59	13:13	11	14 100%	0,23 100%	0,67 4,8%	0,53 3,8%
	12:52	13:08	12	16 100%	0,27 100%	0,77 4,8%	0,61 3,8%
	12:59	13:14	13	15 100%	0,25 100%	0,72 4,8%	0,57 3,8%
	12:56	13:10	14	14 100%	0,23 100%	0,67 4,8%	0,53 3,8%
	12:53	13:09	15	16 100%	0,27 100%	0,77 4,8%	0,61 3,8%

Продовження таблиці 3.5

Найменування технологічних процесів та операцій	початок	Закінчення	Тривалість технологічних операцій, хв				
			Топер			в тому числі	
			№ змін.	хв %	година %	Тп-з (мін) %	Тп (мін) %
7. Тампонування (герметизація) отворів ремонтним складом (на 9 отворів)	13:09	13:17	1	8 100%	0,13 100%	0,38 4,8%	0,30 3,8%
	13:07	13:16	2	9 100%	0,15 100%	0,43 4,8%	0,34 3,8%
	13:14	13:20	3	6 100%	0,10 100%	0,29 4,8%	0,23 3,8%
	13:05	13:12	4	7 100%	0,12 100%	0,34 4,8%	0,27 3,8%
	13:14	13:22	5	8 100%	0,13 100%	0,38 4,8%	0,30 3,8%
	13:16	13:25	6	9 100%	0,15 100%	0,43 4,8%	0,34 3,8%
	13:10	13:16	7	6 100%	0,10 100%	0,29 4,8%	0,23 3,8%
	13:10	13:17	8	7 100%	0,12 100%	0,34 4,8%	0,27 3,8%
	13:07	13:14	9	7 100%	0,12 100%	0,34 4,8%	0,27 3,8%
	13:11	13:19	10	8 100%	0,13 100%	0,38 4,8%	0,30 3,8%
	13:14	13:21	11	7 100%	0,12 100%	0,34 4,8%	0,27 3,8%
	13:09	13:17	12	8 100%	0,13 100%	0,38 4,8%	0,30 3,8%
	13:15	13:22	13	7 100%	0,12 100%	0,34 4,8%	0,27 3,8%
	13:11	13:19	14	8 100%	0,13 100%	0,38 4,8%	0,30 3,8%
	13:10	13:16	15	6 100%	0,10 100%	0,29 4,8%	0,23 3,8%

Продовження таблиці 3.5

Найменування технологічних процесів та операцій	початок	Закінчення	Тривалість технологічних операцій, хв				
			Топер			в тому числі	
			№ змін.	хв %	година %	Тп-з (мін) %	Тп (мін) %
8. Технологічна перерва 16 год (до робіт розпочати через 16 год)	13:09	5:10	1	961 100%	16 02 100%	48 05 5,0%	38 44 4,0%
	13:07	5:07	2	960 100%	16 00 100%	48 00 5,0%	38 40 4,0%
	13:14	5:16	3	962 100%	16 03 100%	48 10 5,0%	38 48 4,0%
	13:05	5:08	4	963 100%	16 05 100%	48 15 5,0%	38 52 4,0%
	13:14	5:15	5	961 100%	16 02 100%	48 05 5,0%	38 44 4,0%
	13:16	5:18	6	962 100%	16 03 100%	48 10 5,0%	38 48 4,0%
	13:10	5:10	7	960 100%	16 00 100%	48 00 5,0%	38 40 4,0%
	13:10	5:11	8	961 100%	16 02 100%	48 05 5,0%	38 44 4,0%
	13:07	5:11	9	964 100%	16 07 100%	48 20 5,0%	38 56 4,0%
	13:11	5:13	10	962 100%	16 03 100%	48 10 5,0%	38 48 4,0%
	13:14	5:17	11	963 100%	16 05 100%	48 15 5,0%	38 52 4,0%
	13:09	5:09	12	960 100%	16 00 100%	48 00 5,0%	38 40 4,0%
	13:15	5:19	13	964 100%	16 07 100%	48 20 5,0%	38 56 4,0%
	13:11	5:14	14	963 100%	16 05 100%	48 15 5,0%	38 52 4,0%
	13:10	5:11	15	961 100%	16 02 100%	48 05 5,0%	38 44 4,0%

Продовження таблиці 3.5

Найменування технологічних процесів та операцій	початок	Закінчення	Тривалість технологічних операцій, хв				
			Гопер			в тому числі	
			№ змін.	хв %	година %	Тп-з (мін) %	Тп (мін) %
9. Очищення кладки від розчину (на 1 м2 поверхні)	5:11	5:24	1	13 100%	0,22 100%	0,65 5,0%	0,65 5,0%
	5:08	5:23	2	15 100%	0,25 100%	0,75 5,0%	0,75 5,0%
	5:17	5:31	3	14 100%	0,23 100%	0,70 5,0%	0,70 5,0%
	5:09	5:24	4	15 100%	0,25 100%	0,75 5,0%	0,75 5,0%
	5:16	5:29	5	13 100%	0,22 100%	0,65 5,0%	0,65 5,0%
	5:19	5:32	6	13 100%	0,22 100%	0,65 5,0%	0,65 5,0%
	5:11	5:26	7	15 100%	0,25 100%	0,75 5,0%	0,75 5,0%
	5:12	5:26	8	14 100%	0,23 100%	0,70 5,0%	0,70 5,0%
	5:12	5:25	9	13 100%	0,22 100%	0,65 5,0%	0,65 5,0%
	5:14	5:29	10	15 100%	0,25 100%	0,75 5,0%	0,75 5,0%
	5:18	5:32	11	14 100%	0,23 100%	0,70 5,0%	0,70 5,0%
	5:10	5:23	12	13 100%	0,22 100%	0,65 5,0%	0,65 5,0%
	5:20	5:35	13	15 100%	0,25 100%	0,75 5,0%	0,75 5,0%
	5:15	5:30	14	15 100%	0,25 100%	0,75 5,0%	0,75 5,0%
	5:12	5:26	15	14 100%	0,23 100%	0,70 5,0%	0,70 5,0%

Таблиця 3.6 – Характеристика сіяючої хронотетражних рідів

Найменування технологічних процесів та операцій	Тривалість технологічних операцій, хв															К _у	γ _р	про
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			
1. Підготовка поверхні конструкцій ізольованих	8	7	9	6	7	10	8	9	6	7	10	7	10	8	9	1,5	8	1,6
2. Свердління наскрізних отворів у конструкції	90	88	89	88	91	92	88	89	90	91	92	88	90	92	89	1,0	90	1,8
3. Встановлення інєкторів/пакерів у пробурені отвори	13	15	16	13	15	15	16	15	14	15	13	14	15	16	13	1,2	15	1,4
4. Приготування інєкційного складу	10	11	10	10	11	12	10	12	10	10	11	12	12	10	10	1,2	11	1,1
5. Нагнітання інєкційного складу у конструкцію	107	106	108	105	107	106	108	105	106	107	108	106	107	105	107	1,0	107	1,3
6. Вилучення інєкторів/пакерів з отпорів	15	14	16	15	16	15	14	14	15	15	14	16	15	14	16	1,1	15	0,9
7. Тампонування (герметизація) отворів ремонтним складом	8	9	6	7	8	9	6	7	7	8	7	8	7	8	6	1,5	7	1,2
8. Технологічна перерва 16 год	961	960	962	963	961	962	960	961	964	962	963	960	964	963	961	1,0	962	1,6

Продовження таблиці 3.6

Найменування технологічних процесів та операцій	Тривалість технологічних операцій, хв															К _у	r _р	пр _о	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15				
9. Очищення поверхні, що ізолюється, від рясини	13	15	14	15	13	13	15	14	13	15	14	13	15	15	14	1,2	14	1,0	
Отже, тривалість технологічних операцій, мін	1225	1225	1230	1224	1230	1234	1225	1226	1225	1230	1232	1224	1235	1231	1225	-	-	-	
Перевірка для ряду 1:																			
K _у = 1,5 : 10 < 121 ⁻¹⁰ +0,9(9-6), 10 = 10,53.																			
Перевірка для ряду 7:																			
111,9																			
K _у = 1,5 : 9 < 121 ⁻⁹ +0,9(8-6), 9 = 9,09.																			
Отже, середня тривалість технологічних операцій на 1 м ² (з урахуванням технологічної перерви): 1228,0 хв = 20,50 годин (без урахування технологічної перерви): 266,0 хв = 4,44 години Всього, середня тривалість технологічних операцій на 15 м ² (з урахуванням технологічної перерви): 18421,0 хв = 307,60 годин (без урахування технологічної перерви): 3994,0 хв = 66,57 годин																			

Для оцінки якості отриманих хронометражних рядів перевірялося виконання умови

$$K_y \leq K_n, \quad (3.3)$$

де $K_n = 1,3$ – нормативний коефіцієнт стійкості хронометражного ряду [4].

За результатами перевірки було встановлено, що у двох рядах із дев'яти порушується умова стійкості (3.3.3) та потрібна «очищення» рядів. З зазначених рядів виключалися помилкові значення вимірів і визначалося нове значення коефіцієнта стійкості ряду. Правильність виключення помилкових вимірів визначалася на основі методу граничних значень за формулами

$$a_{max} \leq a_{cp} + k \cdot (a_{max} - a_{min}); \quad (3.4)$$

$$a_{min} \leq a_{cp} - k \cdot (a_{max} - a_{min}), \quad (3.5)$$

де a_{max} - максимальне значення в ряді, що перевіряється; a_{min} - мінімальне значення в ряді, що перевіряється; a_{cp} - середнє значення ряду, що перевіряється;

k - коефіцієнт, що враховує кількість спостережень та прийнятий рівним 0,9 [8].

Після виключення помилкових вимірів та повторної оцінки стійкості хронометражного ряду розраховувалася середня тривалість виконання кожної операції технологічного процесу за формулою

$$t_{cp} = \frac{\sum t_i}{n}, \quad (3.6)$$

де $\sum t_i$ - Сумарна тривалість всіх елементів ряду; n - кількість вимірів у ряду.

За результатами проведених розрахунків було встановлено, що тривалість влаштування ін'єкційної гідроізоляції на основі бентонітових глин на дослідній ділянці виконання робіт площею 15 м² склала 66,75 годин.

3.4 Визначення чисельного та кваліфікаційного складу робітника при влаштуванні ін'єкційної гідроізоляції

На основі обробки даних хронометражних спостережень та аналізу вимог, які визначені у єдиному тарифно-кваліфікаційному довіднику робіт і професій [9-10], був визначений оптимальний склад робочої групи для проведення ін'єкційної гідроізоляції (таблиця 3.7). Враховуючи набір операцій, що входять у технологічний процес, та особливості розробленої технології, був прийнятий такий склад робочої групи:

- Гідроізолятор 4 розряду (Г4) - 1 особа;
- Гідроізолятор 3 розряду (Г3) - 1 особа.

В характеристику робіт гідроізолятора 3-го розряду включено: підключення нагнітальних шлангів під час ін'єкції; установка та вилучення ін'єктора з свердловини; регулювання робочого тиску під час нагнітання; спостереження за станом нагнітача під час ін'єкції; промивання насоса та зони ін'єкції водою; герметизація свердловин після завершення ін'єкції. Гідроізолятор 3-го розряду повинен володіти знаннями: асортимент труб та шлангів; методи приготування простих розчинів; основні вимоги до якості нагнітаних композицій; правила використання манометрів; будову, правила встановлення та вилучення нагнітача зі свердловини.

У характеристику робіт гідроізолюючого 4-го розряду входить: установка ін'єктора в свердловину та його витяг; нагнітання ін'єкційного (піщано-глинистого, цементно-піщаного) розчину через перфораторні свердловини;

Таблиця 3.7 – Розподіл витрат праці робітників за розрядами для влаштування ін'єкційної гідроізоляції

Найменування технологічних процесів та операцій	Трудомісткість, чол.-хв	Трудомісткість, люд. / год	У тому числі з розбивкою за розрядами	
			Г4	Г2
1. Підготовка поверхні ізольованих конструкцій	120	2,00	1,00	1,00
2. Свердління отворів, не доходячи до зовнішньої поверхні стіни підвалу на 70-90 мм	1350	22,50	11,25	11,25
3. Установка пакерів для гідроізоляційного розчину, не доходячи до зовнішньої поверхні стіни підвалу на 70-90 мм.	225	3,75	1,88	1,88
4. Приготування ін'єкційного розчину	165	2,75	1,38	1,38
5. Нагнітання ін'єкційного розчину в конструкцію	1605	26,75	26,75	-
6. Вилучення ін'єкторів/пакерів та встановлення їх на місце	225	3,75	1,88	1,88
7. Тампонування (заділ) отворів ремонтним розчином	105	1,75	0,88	0,88
8. Технологічна перерва близько 16 год	-	-	-	-
9. Очищення кладки від розчину	210	3,50	1,75	1,75
Разом, загальна трудомісткість, чол.-ч:	4005,00	66,75	46,75	20,00

встановлення датчиків для вимірювання деформацій будівельних конструкцій під час проведення ін'єкцій; здійснення вимірів щільності ін'єкційного розчину. Гідроізолятор 4-го розряду повинен бути ознайомлений зі складами розчинів та їх основними властивостями; методами приготування складних розчинів; технологією виконання ін'єкційних робіт; причинами виникнення несправностей у роботі обладнання та способами їх усунення; правилами ведення журналів гідроізоляційних робіт.

Гідроізолятори, які входять до складу робочої групи, повинні мати навички виконання всіх необхідних операцій і бути готові замінювати один одного; володіти методами безпечного проведення будівельних робіт і знати вимоги, які ставляться до якості гідроізоляційних покриттів.

Обрана робоча група функціонує як самостійний виробничий центр, здатний виконувати усі необхідні роботи в повному обсязі та автономно. Залежно від обсягу гідроізоляційних робіт на конкретному об'єкті на будівельному майданчику може діяти кілька таких груп одночасно.

Влаштуваючи гідроізоляцію поверхні огорожувальних конструкцій, слід діяти послідовно, розбиваючи її на вертикальні або горизонтальні захватки, в залежності від наявних засобів підтримки на будівельному майданчику. При розбивці на горизонтальні захватки, розташовуючи робочі ланки по всьому фронті робіт у межах кожної захватки, кожна ланка займає свою ділянку. Розмір ділянок визначається на основі щоденного вироблення робочих ланок.

Технологічні операції, які включають вивантаження та переміщення виробів і матеріалів, може виконувати один або два підсобних робітника 1 розряду (ПР1). Установка та розбирання засобів підтримки на будівельному майданчику має виконуватися робітниками з відповідною спеціальністю та атестованими відповідно до встановленого порядку.

Після завершення організаційних робіт проводиться підготовка робочої поверхні ізольованої конструкції, включаючи очищення від бруду та видимих

структурних ушкоджень. Локальний ремонт тріщин, який виключає витікання розчину, який ін'єктується, може проводитися за необхідності в ході робіт. Готова поверхня повинна відповідати вимогам.

На приготівленій ділянці конструкції планують та створюють ін'єкційні отвори діаметром 40 мм, розміщені на відстані 400 мм горизонтально та 500 мм вертикально один від одного (див. рисунок 3.7). Ці отвори розташовані під кутом 20-30° до горизонту на висоті 100-150 мм від рівня підлоги. Кількість отворів та їх розміщення визначаються на основі оцінки параметрів протікання та властивостей матеріалу конструкції. На розглянутій ділянці кількість отворів складає 9 штук на 1 квадратний метр ізолюваної поверхні.

Пробурені отвори повинні проходити крізь стіну конструкції та занурюватися в ґрунт на глибину 450-550 мм. Кут нахилу бури до горизонту може коригуватися в залежності від висоти підвального приміщення. Допустимі відхилення отворів від проектного положення не повинні перевищувати 50 мм від осі. При виконанні гідроізоляції в залізобетонних конструкціях спочатку визначається положення стрижнів арматури у двох напрямках, після чого проводиться маркування ін'єкційних отворів з відступом від арматури на 50 мм.

Детальний опис та послідовність виконання операцій, що включаються до технологічного процесу влаштування ін'єкційної гідроізоляції, а також вимоги до працівників, подані в таблиці 3.8. Графік тривалості робіт із влаштування ін'єкційної гідроізоляції представлено на рисунку 3.9. Рух робочої сили та циклограма процесу влаштування ін'єкційної гідроізоляції надані на рисунку

Таблиця 3.8 – Операційна карта на пристрої ін'єкційної гідроізоляції на експериментальній ділянці площею 15 м²

Найменування операції	Технологічне забезпечення	Фотографія дослідного майданчика	Виконавці	Опис операції
Підготовка поверхні ізолюваних конструкцій	Молоток-кирка, щітка сталева, шпатель сталевий		Г4-1 чол. Г2 – 1 чол.	Гідроізолювальники 4-го та 2-го розрядів проводять роботи з виправлення тріщин, сколів, раковин, а також з усунення ділянок із пухкими елементами, які легко відшаровуються, на поверхні ізолюваної конструкції.
Свердління ін'єкційних отворів у конструкції	Перфоратор із насадками, рулетка металева.		Г4-1 чол. Г2 – 1 чол.	Гідроізолювальники 4-го та 2-го розрядів позначають та створюють ін'єкційні отвори в конструкціях, які здійснюють ізоляцію, забезпечуючи їх виходження за межі обробного простору споруди.
Встановлення пакерів у пробурені отвори	Пакери		Г4-1 чол. Г2 – 1 чол.	Гідроізолювальники 4-го та 2-го розрядів встановлюють та герметизують ін'єкційні пакери у вироблені отвори.

Продовження таблиці 3.8

Найменування операції	Технологічне забезпечення	Фотографія дослідного майданчика	Виконавці	Опис операції
Приготування ін'єкційного складу	Ємності робочі пластикові, міксер-дріль, термометр		Г4-1 чол. Г2 – 1 чол.	Гідроізолювальники 4-го та 2-го розрядів змішують готову піщано-бентонітову суміш з передньо нагрітою водою, використовуючи низькооборотний дріль-міксер, до отримання однорідної маси без грудок.
Нагнітання ін'єкційного складу у конструкцію	Розчинонасос гвинтовий, трійник з манометром, штапель, ін'єкційні шланги.		Г4-1 чол.	Гідроізолювальник 4-го розряду здійснює впорскування готового ін'єкційного складу через встановлені пакери в обробний простір споруди за умови робочого тиску не менше 0,4 МПа.
Вилучення ін'єкторів/пакерів з отворів	Пакери		Г4-1 чол. Г2 – 1 чол.	Гідроізолювальники 4-го і 2-го розряду видаляють ін'єкційні пакери після внесення суміші, готової для подальшого затампонування отворів.

Продовження таблиці 3.8

Найменування операції	Технологічне забезпечення	Фотографія з дослідного майданчика	Виконавці	Опис операції
Тампонування (герметизація) отворів ремонтним складом	Шпатель сталевий		Г4-1 чол. Г2 – 1 чол.	Гідроізолювальники 4-го та 2-го розряду здійснюють герметизацію ін'єкційних отворів на робочій поверхні конструкції, використовуючи ремонтний склад.
Технологічна перерва до 16 год				
Очищення поверхні, що ізолюється, від розчину	Щітка сталева		Г4-1 чол. Г2 – 1 чол.	Гідроізолювальники 4-го та 2-го розряду проводять процедуру очищення робочої поверхні конструкції від залишків розчину.

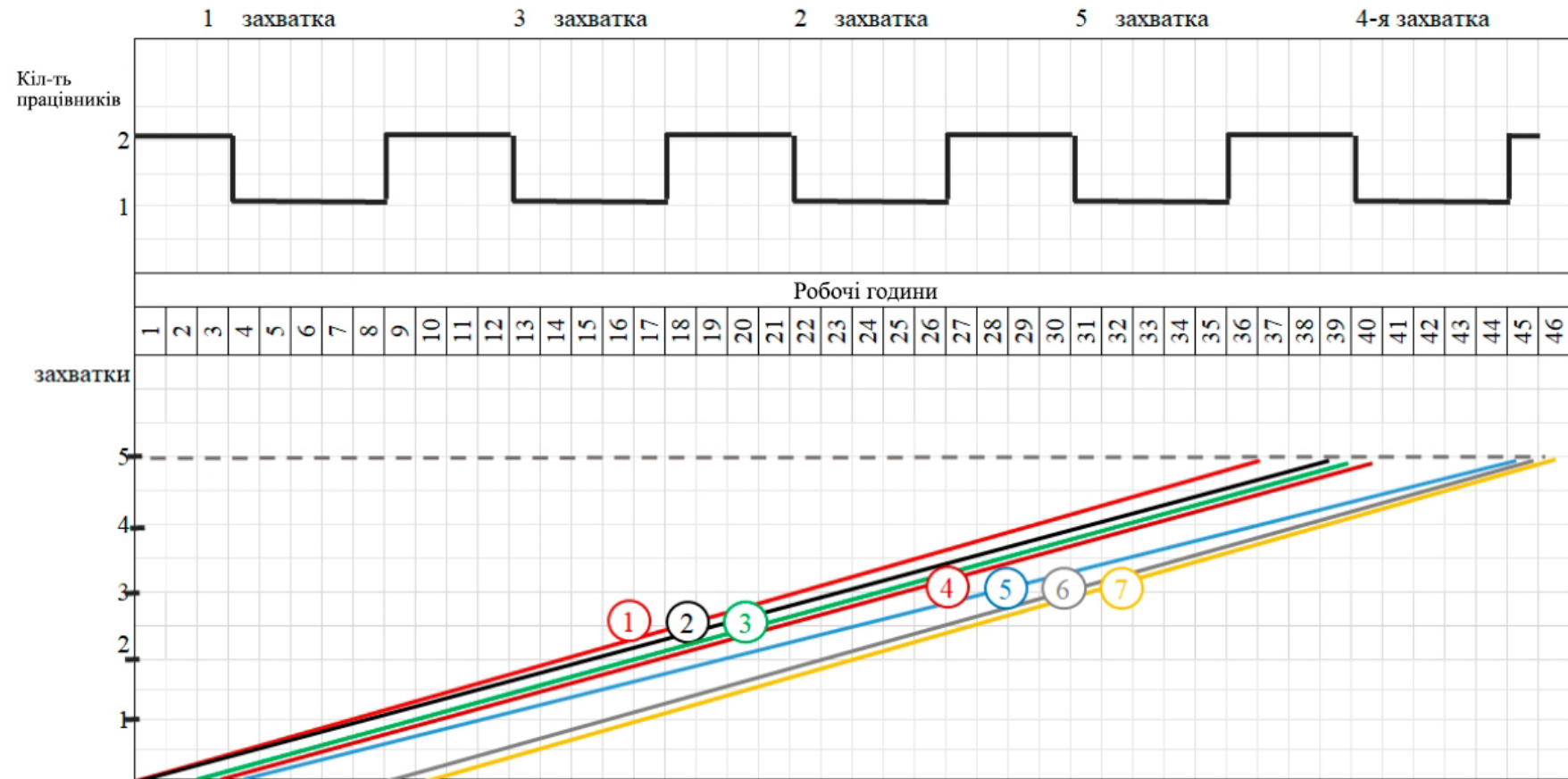


Рисунок 3.10 – Графік руху робочої сили та циклограма пристрою ін'єкційної гідроізоляції

ВИСНОВКИ

1. Аналіз досліджень у галузі гідроізоляції підземних частин будівель показав, що увага зазвичай зосереджена на розвитку гідроізоляційних матеріалів, іншим питанням, яке менше вивчається, є технологія їх влаштування. Зарубіжний досвід вказує на попит на ін'єкційну гідроізоляцію, засновану на мінеральних компонентах, особливо в умовах обмеженої міської забудови.

2. В результаті узагальнення вітчизняного досвіду у галузі гідроізоляції підземних частин будівель в обмежених умовах визначено фактори, що призводять до порушень цілісності гідроізоляції, і виокремлено великий попит на технології, які гарантують тривалий захист підземних конструкцій у щільно заселених місцевостях.

3. В ході експериментів оцінено вплив вмісту бентонітового глинопорошку та переднього нагріву на характеристики гідравлічної провідності та набухання піщано-бентонітових сумішей. Оптимальний вміст глинопорошку визначено на рівні 45%, що забезпечує гарантований коефіцієнт фільтрації в заданому діапазоні.

4. Розроблено послідовність технологічних операцій та схеми виконання робіт з комплексної підземної гідроізоляції ін'єкційним складом на основі бентонітових глин, включаючи створення притискної стінки. Також визначено чисельний та кваліфікаційний склад робітників, необхідних для виконання цих робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Галумян А.В. Можливості інтенсифікації термінів будівництва у монолітному домобудуванні. *Науково-технічна творчість молоді - шляхи до суспільства, заснованого на знаннях: зб. тр. I Міжнародної науково-практичної конференції*. 2009. С. 110-111.
2. Михалко В.Р. Монтаж сталевих та залізобетонних конструкцій. Київ.: СІ, 2000. 311 с.
3. Швець В.Б., Фёклін В.І., Гінзбург Л.К. Посилення і реконструкція фундаментів. Харків : СІ, 2002. 203 с.
4. Данилкін М.С., Шубін А.А. Технологія будівельного виробництва. Підручник для ВНЗ. Київ, 2009. 317 с.
5. Giacomo Di Foggia Energy efficiency measures in building for achieving sustainable development goals. *Heliyon*. 2018. Vol. 4, Issue 11.
6. Долгінін Є.А. Перспективи застосування монолітного бетону та залізобетону. *Бетон та залізобетон*. 2017. №12, С. 4-5.
7. ДСТУ А.3.1–22:2013. Визначення тривалості будівництва об'єктів. [Чинний з 2014–01–01]. Вахович І., Галінський О., Григоровський П., Максимов А. та ін. Київ : ДП «Укрархбудінформ», 2014. 30 с. (Національний стандарт України)
8. Єфименко І.Б. Економіка будівництва. Навчально-практичний посібник. Київ, 2008. 200 с.
9. Зіневич Л.В. Деякі організаційно-технологічні питання витримування монолітних конструкцій різної масивності із застосуванням ранньої розпалубки. *Технології бетонів*. 2009 №3, с. 67-68.
10. ДСТУ Б В.2.6-187:2013 Теплогідроізоляція монолітна пінополіуретанова, що напильється. Загальні технічні умови. [Чинний з 2014–07–01]. Київ : ДП «Укрархбудінформ», 2014. 36 с. (Національний стандарт України).

11. Офіційний сайт Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України. URL: <https://mtu.gov.ua/>.
12. Яворский В.Г. Монтаж строительных конструкций при реконструкции зданий: уч.пос. Киев : Будівельник, 2001. 233 с.
13. Поляков Е.В. Реконструкція та ремонт житлових будинків: навч. посібник. Київ : НЕДРА, 1997. 192 с.
14. Комаров І.К. Вдосконалення будівельного виробництва: посібник. Харків, 2007.-208с.
15. Соколов Г.К. Технологія та організація будівництва: посібник. Дніпро: центр .2006. 528с.
16. Пашечко О. А. Виробництво робіт з влаштування монолітних залізобетонних конструкцій. *Наукові записки Національного університету «Острозька академія». Серія: Економіка.* 2013. Вип. 24. С. 39-43.
17. Сердюк В.Р., Франишина С.Ю. Технологія індустріального будівництва з монолітного бетону. *Вісник Вінницького політехнічного інституту.* 2009. №4. С.17-21.
18. Щербініна С.А. Опалубні системи для монолітного будівництва. *Вісник ПДТУ.* 2014. № 28. С.117-121.
19. Дрожжин Д.Ю. Технологія будівельних процесів. *Державне будівництво.* 2012. № 2. С. 1-9.