

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

О. Л. Пальченко

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОНАННЯ РОБІТ
В ГІДРОТЕХНІЧНОМУ БУДІВНИЦТВІ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів другого (магістерського)
рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання
зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво,
водна інженерія та водні технології)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2024

Пальченко О. Л. Особливості виконання робіт в гідротехнічному будівництві : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології / О. Л. Пальченко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 83 с.

Автор

канд. техн. наук, доц. О. Л. Пальченко

Рецензенти:

О. І. Вайнберг, доктор технічних наук, професор, академік (ПРАТ «УКРГІДРОПРОЕКТ», м. Харків);

А. О. Мозговий, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри геотехніки, підземних споруд та гідротехнічного будівництва (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

Рекомендовано кафедрою геотехніки, підземних споруд та гідротехнічного будівництва, протокол № 6 від 02.02.2024

Конспект складений з метою допомогти студентам будівельних спеціальностей вишів під час підготовки до занять, заліків та іспитів з дисципліни «Особливості виконання робіт в гідротехнічному будівництві».

© О. Л. Пальченко, 2024

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ЗВЕДЕННЯ ПРОТИФІЛЬТРАЦІЙНИХ ДІАФРАГМ МЕТОДОМ «СТІНА У ҐРУНТІ»	6
1.1 Загальні положення метода «стіна в ґрунті»	6
1.2 Класифікація та параметри «стінок в ґрунті»	7
1.3 Основні способи зведення заглиблених споруд методом «стіна в ґрунті»	9
1.4 Ефективна область застосування метода «стіна в ґрунті».....	10
1.5 Сучасні методи та засоби механізації розробки траншей під глинистою суспензією	12
1.6 Виконання робіт по влаштуванню стінок	13
1.7 Глинисті суспензії, їх склад, властивості та способи приготування	21
1.8 Способи та пристрої для влаштування та укладання у траншею нетвердіючих заповнювачів	24
1.9 Контроль за якістю влаштування стінок траншейним способом.	25
1.10 Техніка безпеки при виконанні робіт по влаштуванню стінок .	26
2 СПОСОБИ ЗАКРІПЛЕННЯ ОСНОВ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД	28
2.1 Загальні відомості щодо ущільнення і закріплення гірських порід	28
2.2 Спосіб цементації в гідротехнічному будівництві	30
2.2.1 Основні технічні вимоги, які висувають до способу цементації та його призначення в гідротехнічному будівництві ...	32
2.2.2 Проектування цементаційних завіс	36
2.2.3 Склад робіт при цементації основ та способи їх виконання . .	39
2.2.4 Буріння свердловин для цементації	41
2.2.5 Підготовка свердловин та породи до цементації	42
2.2.6 Тиск нагнітання	43
2.2.7 Визначення глибини та товщини протифільтраційної завіси .	43
2.2.8 Метод струменевої цементації	44
2.2.9 Сутність технології струменевої цементації	46
2.2.10 Основні різновиди струменевої цементації	47
2.3 Бітумізація основ гідротехнічних споруд	52
2.4 Глинизація основ гідротехнічних споруд	54
2.5 Силікатизація ґрунтів	56
2.5.1 Силікатизація дворозчинним методом	56
2.5.2 Силікатизація однорозчинним методом	57
2.5.3 Виконання робіт при силікатизації	59
2.6 Заморожування водонасичених ґрунтів	63
2.6.1 Проектування льодогрунтових завіс	64

3 ВИКОНАННЯ РЕМОНТНИХ РОБІТ НА ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУДАХ	69
3.1 Омоноличування бетонних гідротехнічних споруд	69
3.1.1 Тріщиноутворення у бетонній кладці	69
3.1.2 Цементация трещин та порожнин у бетонній кладці	70
3.2 Цементация тимчасових будівельних температурно-усадкових швів бетонних споруд	71
3.3 Гідроізоляційні роботи. Гідроізоляційні матеріали. Підготовка поверхні	73
3.4 Геосинтетичні матеріали в гідротехнічному будівництві	76
3.4.1 Дорожнє будівництво	80
3.4.2 Підземне будівництво	80
3.4.3 Природоохоронне будівництво	80
3.4.4 Гідротехнічне будівництво	81
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ	82

ВСТУП

Програму вивчення варіативної навчальної дисципліни «Особливості виконання робіт в гідротехнічному будівництві» складено відповідно до освітньої професійної програми другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології.

Дисципліна «Особливості виконання робіт в гідротехнічному будівництві» відноситься до циклу варіативних дисциплін професійної підготовки.

Метою викладання навчальної дисципліни «Особливості виконання робіт в гідротехнічному будівництві» є формування системи знань про технологію зведення протифільтраційних діафрагм методом «стіна у ґрунті», способах закріплення основ гідротехнічних споруд, технології виконання ремонтних робіт на гідротехнічних спорудах, в тому числі з використанням геосинтетичних матеріалів.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми здобувачі вищої освіти повинні володіти певними компетентностями, серед яких: здатність застосовувати сучасні технології зведення протифільтраційних елементів гідротехнічних споруд, способів закріплення основ гідротехнічних споруд та виконання ремонтних робіт на гідротехнічних спорудах, в тому числі з використанням геосинтетичних матеріалів.

1 ЗВЕДЕННЯ ПРОТИФІЛЬТРАЦІЙНИХ ДІАФРАГМ МЕТОДОМ «СТІНА У ҐРУНТІ»

1.1 Загальні положення метода «стіна в ґрунті»

Метод «стіна в ґрунті» призначений для зведення заглиблених в ґрунт споруд різного призначення. Сутність його полягає у тому, що стіни заглибленої споруди зводять у вузьких і глибоких траншеях, вертикальні борти яких утримуються від обвалення за допомогою глинистої суспензії, яка утворює надлишковий гідростатичний тиск на ґрунт і таким чином виконує роль кріплення траншеї. Після утворення в ґрунті траншей необхідних розмірів їх заповнюють (в залежності від призначення споруди) монолітним залізобетonom, збірними залізобетонними елементами або глиноґрунтовими матеріалами. У разі цього в ґрунті формують несучі стіни споруд або протифільтраційні діафрагми.

Для забезпечення стійкості бортів траншеї тиск глинистої суспензії в будь-якій точці на її поверхні всередині траншеї повинен бути більше тиску оточуючого ґрунту та ґрунтових вод. Ця умова виконується, коли рівень глинистої суспензії в траншеї вище рівня ґрунтових вод в оточуючому ґрунті. При цьому забезпечується умова, яка передбачає, що фільтрація глинистої суспензії була б направлена з траншеї в оточуючий ґрунт.

Широке застосування метод «стіна в ґрунті» знаходить при зведенні гідротехнічних та водопровідно-каналізаційних споруд, таких як водозабори, водопровідні та каналізаційні насосні станції, ємкісні споруди та споруди для очищення води та стоків, протифільтраційні діафрагми для захисту від утікання води та стоків в оточуючий ґрунт, а також протифільтраційні діафрагми для захисту кар'єрів і котлованів від притікання ґрунтових вод.

Можливо застосування неармованих «стін в ґрунті» для виконання функції протифільтраційної діафрагми, а саме:

- в тілі і основі ґрунтових гребель;
- в основі бетонних гребель;
- в тілі та основі дамб верхових водоймищ ГАЕС, ставків-охолоджувачів АЕС, вздовж бортів каналів, за периметром відстійників та шлаконакопичувачів нафтопереробних, хімічних і металургійних підприємств;
- вздовж бортів кар'єрів відкритого добування корисних копалин та великих будівельних котлованів замість водопониження.

Процес закріплення та утримання від обвалення бортів траншеї полягає у наступному: робочий орган машини, яка розробляє ґрунт, весь час знаходиться в заповнюючій її суспензії, і тому остання при розробці миттєво з'єднується з наново утвореними поверхнями та замулює їх, проникаючи на деяку глибину в ґрунт і утворюючи замулений шар. Товщина цього шару для різних ґрунтів має різне значення. Вона залежить від розміра та характеру цих пор, в'язкості суспензії та її надлишкового, тобто діючого напору.

Колоїди тиксотропної глинистої суспензії, потрапивши в пори ґрунту, склеюють частки ґрунту між собою, утворюючи заглинизований шар його у поверхні стінок траншеї та попереджуючи їх осипання. Тиск суспензії щільно притискає шар до оточуючого ґрунту. Після попереднього замулення крупних і середніх пор ґрунту траншеї в оточуючий ґрунт, через маленькі незамулені пори може профільтовуватися тільки чиста вода. При цьому тверді глинисті частки суспензії, значно перевищуючі за своїми розмірами розміри дрібних пор, не можуть в них проникнути і тому накопичуються на поверхні борта траншеї у вигляді корки. Фільтрація чистої води, яка відділяється від глинистої суспензії, відбувається до тих пір, поки визваний нею підйом не приведе до обвалення стінок траншеї. В зв'язку з цим всі роботи щодо відривання під глинистою суспензією траншеї та зведенню на її захватках несучих стін або протифільтраційних стін, повинні бути закінчені до моменту обвалення бортів траншеї. Тривалість стійкого стану стінок траншеї при цьому залежить від багатьох факторів, але головним з них є рівень ґрунтових вод. Цю тривалість можна збільшити, в основному, відповідним підбором складу глинистої суспензії, що дозволить зменшити фільтрацію води з траншеї і таким чином знижує швидкість підйому рівня ґрунтових вод в оточуючому ґрунті, а також штучно понижає рівень ґрунтових вод на відповідних ділянках.

Метод «стіна в ґрунті» має низку переваг порівняно з іншими методами будівництва, а саме:

- з'являється можливість влаштування глибоких котлованів в безпосередній близькості від існуючих будинків і споруд, що є дуже важливим в стиснених умовах, а також при реконструкції споруд;
- різко знижується, а у деяких випадках відпадає, необхідність в улаштуванні водопониження або водовідливу;
- різко зменшуються обсяги земляних робіт.

1.2 Класифікація та параметри «стінок в ґрунті»

За призначенням заглиблені споруди, які зводяться методом «стіна в ґрунті», можна класифікувати наступним чином:

- промислові – підземні гаражі та фундаменти промислового призначення і т.д.;
- житлово-громадські – підземні поверхи та фундаменти житлових та громадських будівель, які закладаються на глибину до 30 м;
- транспортні – підземні переїзди та переходи під вулицями з інтенсивним рухом; станції і тунелі метрополітену неглибокого закладання; підземні автомагістралі; підземні автогаражі і автостоянки та інші підсобні приміщення, які закладаються на глибину до 25 – 30 м;
- гідротехнічні – водозабори і насосні станції, які розташовані на берегах річок, водосховищ і озер; протифільтраційні діафрагми, які влаштовують як у тілі, так і в основі гідротехнічних підпірних споруд на

річках, у ставках-накопичувах для промислових стічних вод, які підлягають очищенню і забруднюють поверхневі і підземні води; канали та дренажні колектори; протизсувні та багато подібних інженерних споруд.

За конфігурацією ці споруди і конструкції можна поділити на:

- лінійні, які складаються тільки з однієї протяжної стіни (протифільтраційні діафрагми, підпірні стіни, стрічкові фундаменти глибокого закладання та інші подібні споруди);

- лінійно-протяжні, які мають дві протяжні огорожуючі стіни, зазвичай паралельні одна одній (галереї, колектори для суміщеного прокладання інженерних мереж, тунелі з вертикальними стінами тощо);

- колодязного типу споруди з вертикальними стінами – круглі, прямокутні та багатокутні в плані (підземні поверхи будівель, підвали, бункерні ями, насосні станції і станції метро, колодязні опори глибокого закладання і інші споруди.

За відношенням до водоупору стіни у ґрунті підрозділяються на досконалі, доведені до водоупору (природнього чи штучного) та щільно врізані в нього, і недосконалі (висячі), недоведені до водоупорного пласта.

За матеріалом найбільш розповсюджені:

- залізобетонні несучі огорожувальні стіни споруд, які сприймають вертикальні і горизонтальні навантаження;

- бетонні, які сприймають вертикальні навантаження, а також які служать одночасно протифільтраційними діафрагмами;

- глиногрунтові, які є протифільтраційними, які виконують з природніх або штучних водоупорних глиногрунтових матеріалів, а при їх відсутності – з суглинків у поєднанні з синтетичними плівками.

За конструкцією «стіни у ґрунті» можуть бути:

- буронабивні (із перерізних, дотичних або преривчасто розташованих паль);

- монолітні бетонні, які складаються із окремих щільно з'єднаних між собою секцій;

- монолітні залізобетонні, які складаються із окремих щільно з'єднаних між собою секцій з безперервною горизонтальною арматурою, яка проходить крізь стики секцій або з горизонтальною арматурою, яка об'єднується в стиках секцій;

- збірні одноярусні – з панелей плоских, ребристих і коробчастих з вертикальними стиками між ними;

- збірні багатоярусні – з панелей плоских, ребристих і коробчастих з вертикальними та горизонтальними стиками;

- збірні, які складаються з колон з боковими пазами для заповнення між ними багатоярусних плит;

- збірні з блоків із вертикальними порожнинами-чарунками, які омоноличуються армованим бетоном в вертикальних колодязях – порожнинах;

– комбіновані багатоярусні з ярусами з різних матеріалів: зазвичай нижній ярус з глиногрунтових матеріалів або бетону (тільки протифільтраційний), а верхні яруси одночасно несучі та протифільтраційні, які виконані із збірного або монолітного залізобетону.

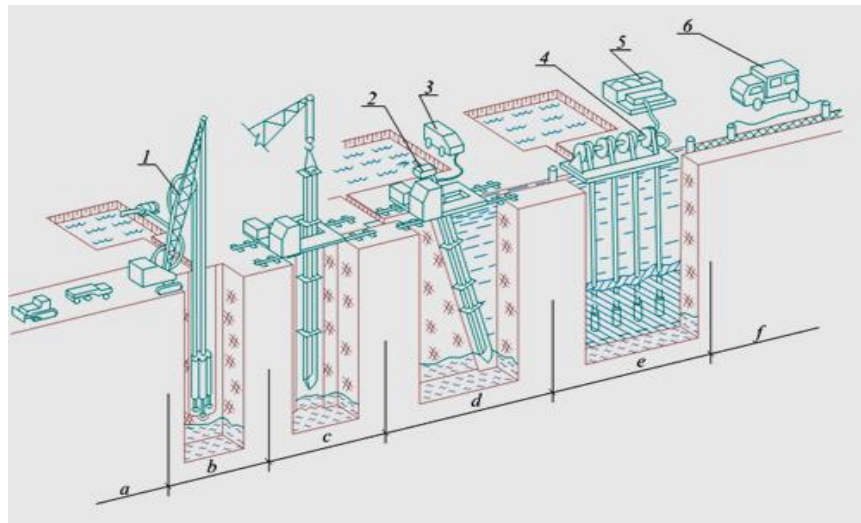


Рисунок 1 – Технологічна схема спорудження протифільтраційного екрана значної протяжності:

a – планування траси будівництва; *b* – розробка монтажної свердловини траншеї прохідницьким обладнанням циклічної дії; *c* – монтаж баражної машини безперервної дії; *d* – заповнення траншеї протифільтраційним матеріалом;

1 – спеціальне траншеї прохідницьке обладнання циклічної дії на базі серійного вантажопідйомного обладнання; 2 – спеціальне траншеї прохідницьке обладнання (баражна машина) безперервної дії; 3 – автономна компресорна станція; 4 – установка для укладання матеріалу-заповнювача в траншею; 5 – установка для приготування готового матеріалу-заповнювача; 6 – геофізична лабораторія, яка контролює якість заповнення траншеї.

1.3 Основні способи зведення заглиблених споруд методом «стіна в ґрунті»

Метод «стіна в ґрунті» характеризується як різними способами виконання окремих технологічних процесів, так і загальною послідовністю їх здійснення.

При будівництві «стін в ґрунті» в різних умовах виконуються наступні основні технологічні процеси:

– буріння одиночних свердловин насухо в стійких ґрунтах, а в нестійких – під глинистою суспензією або із використанням обсадних труб із використанням відповідно шнекових, ударних або обертальних (лопасних і шарошечних долот) бурових станків;

– розробка коротких траншей під глинистою суспензією способом січних паль;

– розробка горизонтальними шарами зверху вниз під глинистою суспензією коротких траншей окремими захватками крізь одну грейферами або довгих траншей піонерним способом, тобто зразу на всю глибину з безперервним нарощуванням довжини траншеї (зворотною лопатою, драглайном, багатоківшевим або штанговим екскаватором, а також бурофрезерними машинами);

– влаштування монолітних стін в ґрунті окремими секціями із твердіючих (бетон, залізобетон) матеріалів або піонерним відсипанням нетвердіючих матеріалів (глиноґрунтових при необхідності в поєднанні із плівками);

– влаштування збірних залізобетонних стін із плоских, ребристих, коробчастих панелей іноді в поєднанні з направляючими колонами.

На основі цих процесів створені наступні способи будівництва стін в ґрунті:

– «січних паль», при якому буронабивна стіна складається з вертикальних паль, розташованих в одному створі при частковому врізанні паль другої черги у палі першої черги;

– монолітних стін в ґрунті шляхом будівництва їх окремими секціями в траншеях з «січних свердловин»;

– одноярусних «збірних стін в ґрунті» з робочим стиком між стіновими плоскими та ребристими панелями та з неробочими стиками;

– збірних багатоярусних стін в ґрунті з робочими вертикальними та горизонтальними стиками між стіновими панелями;

– збірно-монолітних стін в ґрунті із коробчастих стінових панелей, з робочими їх стиками та замонолічуванням вертикальних порожнин-колодязів;

– комбінованих стін в ґрунті, які поєднують в собі верхні яруси несучих стін при нижньому протифільтраційному ярусі;

– комбінованих стін заглиблених споруд в водонасичених пластах великої або необмеженої потужності з утворенням на потрібній глибині в основі штучного водопору.

1.4 Ефективна область застосування метода «стіна в ґрунті»

На сьогодні заглиблені споруди зводяться у відкритих котлованах, опускним методом (методом опускного колодязя) та методом «стіна в ґрунті». Виходячи з досвіду, будівництво заглиблених споруд у відкритих котлованах найбільш доцільно при незначній глибині закладання споруди в стійких ґрунтах, які не обводнені, при складній конфігурації та великих розмірах споруди в плані. Якщо ж ґрунти обводнені, необхідно виконувати осушення котлованів, що значно збільшує трудомісткість, вартість і термін будівництва.

Опускний метод застосовується тоді, коли він здійснюється із застосуванням тиксотропних розчинів з глинистої суспензії для зменшення

сил тертя між боковою поверхнею колодязя та оточуючим ґрунтом при глибині закладання споруди великої в плані, при нескладній конфігурації споруди в плані (круглій, квадратній або прямокутній з невеликою різницею в довжині сторін), при однорідності ґрунтів в кожному із прорізуваних шарів, при малих від'ємних температурах. Недоліками цього методу є можливі перекоси, заклинювання конструкції, що опускається, значна тривалість робіт за рахунок того, що шари ґрунту для запобігання перекосу знімають невеличкими товщинами, можливість примерзання стінок колодязя при значних і тривалих морозах.

Метод «стіна в ґрунті» не має таких недоліків.

Таким чином, при методі «стіна в ґрунті» споруда, яка зводиться, може мати будь-яку складну конфігурацію, їй не загрожують перекоси та пов'язані з цим надлишкові запаси міцності.

Діафрагми знаходять широке застосування і для зменшення втрат чистої води при фільтрації з водосховища та великих каналів, а також для попередження втрати водоносних горизонтів в разі утікання води з них в будівельні котловани та кар'єри різного призначення. Протифільтраційні діафрагми успішно вирішують задачу охорони земель від їх підтоплення підземними водами та замулювання, що призводить до засолення ґрунтів, тобто практично до виводу їх із сільськогосподарського оберту.

Ефективність методу «стіна в ґрунті» може проявлятися подвійно: коли метод «стіна в ґрунті» є єдиним технічно можливим методом будівництва і його не можна замінити ніяким іншим, а також коли з декількох технічно можливих методів будівництва цей метод є найбільш ефективним за обраним критерієм порівняння. У першому випадку область ефективності називають областю незамінності методу «стіна в ґрунті». У другому – областю порівняльної економічної ефективності.

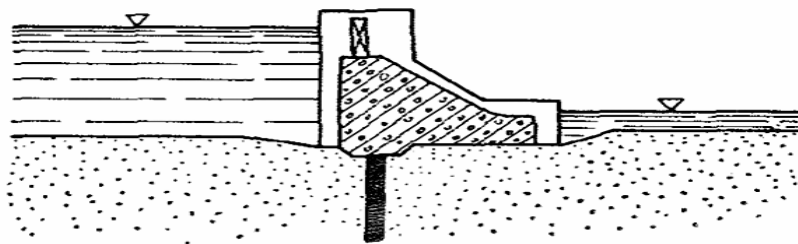


Рисунок 2 – Протифільтраційна завіса під греблею ГЕС

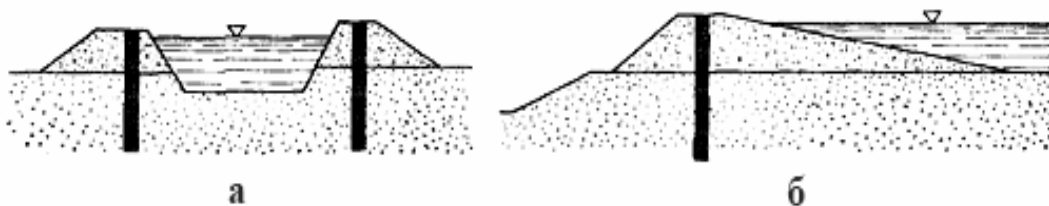


Рисунок 3 – Протифільтраційна завіса:

а – в намівній перемичці при будівництві ГЕС на рівнинних річках;
б – вздовж бортів магістрального трубопроводу

До області незаміненості метода «стіна в ґрунті» відносяться наступні випадки:

- споруда у плані має великі розміри і дуже складну конфігурацію, що виключає застосування методу опускного колодязя і відкритого котловану;

- споруда має різну, сходинкову або плавно змінювану глибину закладання стін за периметром;

- споруда закладається на значну глибину в сильно проникнених суфозійних і схильних до випору ґрунтах в умовах відсутності в її основі водоупорних пластів для з'єднання з ними протифільтраційних або шпунтових діафрагм;

- будівництво відбувається в суворих умовах при значній тривалості морозів;

- споруда є незамкненою, тобто лінійною або лінійно-протяжною (протифільтраційна діафрагма, підпірна стінка або галерея).

Виділимо також *область неможливості застосування* цього методу:

- великооблашкові ґрунти з пустотами між окремими каменями, які незаповнені дрібнозернистими ґрунтами, в разі чого глиниста суспензія з великими швидкостями просочується в ґрунт і траншею утворити неможливо;

- карстові ґрунти з пустотами, які можуть слугувати шляхами для утікання глинистої суспензії, в разі чого її горизонти в траншеї не можливо підтримувати на потрібному рівні, що приводить до швидкого обвалення стінок траншеї;

- за наявності текучих мулів, особливо коли вони залягають у поверхні землі;

- насипні ґрунти на території сучасних та колишніх звалищ, які мають включення твердих, особливо металевих предметів, таких як рельси та балки, а також підземні споруди та інженерні мережі, які перетинають траншею і їх перенесення неможливе;

- тверді включення, зокрема валуни, якщо їх розміри перевищують 150–200 мм.

1.5 Сучасні методи і засоби механізації розробки траншей під глинистою суспензією

Вибір тих або інших засобів механізації розробки траншей при будівництві стін в ґрунті залежить від багатьох факторів, в тому числі найважливішими з яких є:

- ширина, глибина та конструкція стіни в ґрунті, яка зводиться;

- міцність і стійкість ґрунтів, які розробляються, стан їх вологості;

- група ґрунту за ступінем складності його розробки;

- наявність в ґрунті включень та їх характеристика;

- врахування наявності близько розташованих підземних об'єктів, зокрема фундаментів, а також тимчасових або постійних навантажень на

поверхні землі над призмою обвалення траншеї.

Всі засоби механізації розробки траншей можна класифікувати на бурові, бурофрезерні, ковшові, стругані, гідромеханічні, віброгрейферні, віброщілиноутворювальні тощо.

Кожен з цих видів механізації має свою область ефективного застосування.

Приблизно область ефективного застосування можна представити так:

- в нескельних ґрунтах при глибині траншей до 7 м найбільш доцільні зворотні лопати;

- в нескельних ґрунтах при глибині до 16 м та широких траншеях, в основному при будівництві протифільтраційних діафрагм, – загально-будівельні та спеціальні екскаватори-драглайни;

- в тих же умовах, але при вузьких траншеях – штангові екскаватори;

- при глибинах до 25–30 м – грейфери;

- при глибинах від 25 до 40 м в нескельних ґрунтах – бурофрезерні машини;

- при глибинах від 25 до 50 м в нескельних ґрунтах – барражні машини, а при більших глибинах в нескельних ґрунтах та при будь-яких глибинах в скельних ґрунтах, а також в умовах необхідності проходження свердловин в обсадних трубах – застосовуються бурові станки.

Розробка траншей буровими станками.

Досвід показав, що промивний буровий глинистий розчин забезпечує стійкість і дає можливість в рихлих ґрунтах обійтися без обсадних труб. Бурові методи влаштування траншей найбільш дорогі, тому їх використовують тоді, коли неможливо їх замінити іншими, більш економічними методами. Бурові станки обертальної дії значно ефективніше станків ударної дії, але не всі породи можуть бути розроблені станками обертальної дії. В ряді випадків застосовують більш дорогі станки ударної дії.

Бурові установки врацальної дії.

Установки цього типу підрозділяються на дві групи: установки з долотом, розташованим на кінці штанги, і установки із шнековим породоруйнівним робочим органом.

Розробка траншей бурофрезерними машинами.

До бурофрезерних методів проходки траншей відносяться методи в яких ґрунт розробляється безперервним зняттям стружки фрезеруванням вертикальних і нахилених або горизонтальних забоїв.

1.6 Виконання робіт по влаштуванню стінок

Утворення стінок із січних паль (рисунок 4) застосовують коли стінку закладають біля існуючих будинків і нижче підосви фундаментів. Попереджуючи зсуви ґрунту під фундаментами розробку ґрунту у свердловині та бетонування в ній здійснюють в обсадній трубі.

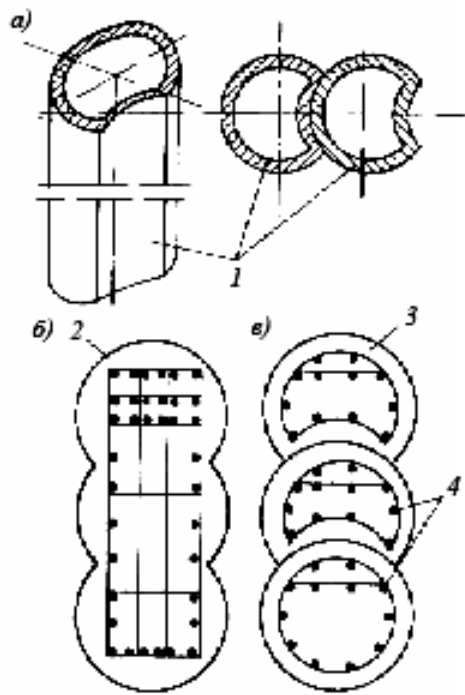


Рисунок 4 – Стіни з січних буронабивних паль:

а – лідерно-направні труби, *б* – стіна, утворена бурінням із суцільним каркасом, *в* – стіна з окремих січних буронабивних паль, *1* – лідерно-направна труба, *2* – суцільна стіна, *3* – окремі палі, *4* – арматурні каркаси

Технологія зведення стін із січних буронабивних паль включає наступні процеси (рис. 5): буріння свердловин з використанням напрямних труб; армування свердловин, бетонування свердловин і виймання напрямних труб із свердловин.

Лідерно-направні труби мають з одного боку вогнуту ділянку з тим же радіусом кривизни, що й сама труба. Таким чином, коли одна труба примикає до другої, в плані вони утворюють обрис вісімки та відстань між вісями сусідніх свердловин становить менше, ніж їх діаметр (див.рис. 4). Лідерно-направні труби виймають тільки після заповнення їх бетоном. Відстань між палями повинна бути менше діаметра їх стовбура. Прилягаючи одна до одної, палі утворюють суцільну стінку з хвилястою поверхнею.

Для проходження свердловин використовують бурові станки ударної та обертальної дії, які мають робочі органи як періодичного, так і безперервного витягання зруйнованої породи, з промиванням свердловин та і без неї. При використанні станків обертальної дії більш продуктивних, ніж ударно-канатні станки, з метою утримання породоруйнівного інструмента в вертикальній площині та утворення стикового контакту, проходження свердловин ведуть за допомогою спеціальних фіксувальних пристроїв – напрямних шаблонів.

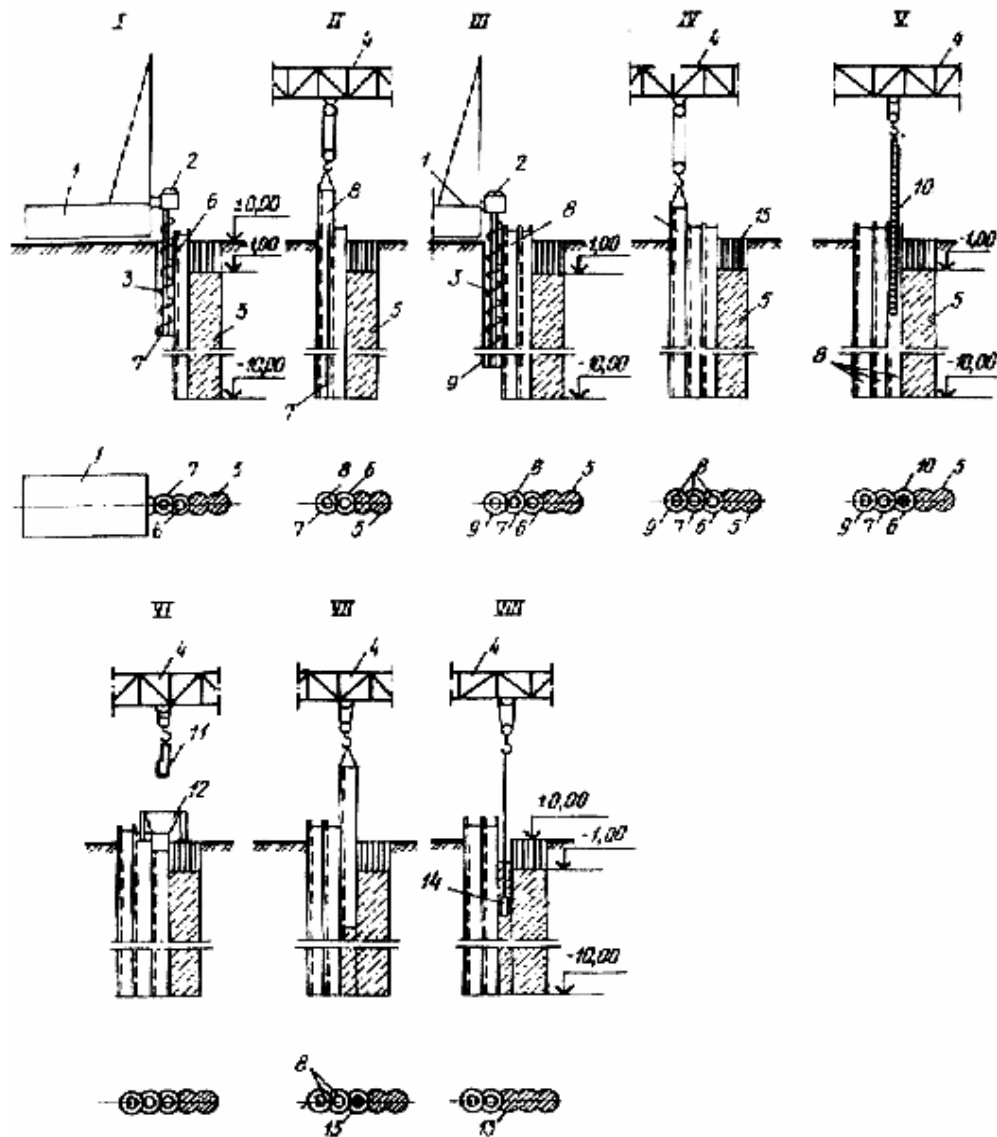


Рисунок 5 – Технологія влаштування стіни методом січних буронабивних паль:

I – буріння першої свердловини, II – встановлення лідерно-напрямної труби (ЛНТ) в пробурену свердловину, III – буріння другої свердловини; IV – установка ЛНТ в другу свердловину; V – установка арматурного каркаса; VI – бетонування свердловини, VII – виймання лідерно-напрямної труби, VIII - вібрування бетонної суміші;
 1 – буровий станок; 2 – ротор станка; 3 – шнек; 4 – кран; 5 – готові палі попередньої секції; 6 – свердловина попередньої секції з встановленням ЛНТ; 7 – перша пробурена свердловина в секції, яка розглядається; 8 – лідерно-напрямна труба; 9 – друга пробурена свердловина в секції; 10 – арматурний каркас; 11 – вібробаддя для подавання бетонної суміші, 12 – бункер для прийому бетону; 13 – свіжовкладена бетонна суміш; 14 – глибинний вібратор, 15 – місце влаштування залізобетонного обов'язного поясу

Перед влаштуванням траншеї способом «стіна в ґрунті» в верхній частині траншеї передбачено влаштування коміра, який попереджає обвалення верха бортів траншеї, є напрямним для розробки ґрунту та одночасно служить для розмічання положення арматурних каркасів або збірних елементів, і є опорою для їх підвішування та кріплення. Комір влаштовують з монолітного або збірного залізобетона (рис. 6).

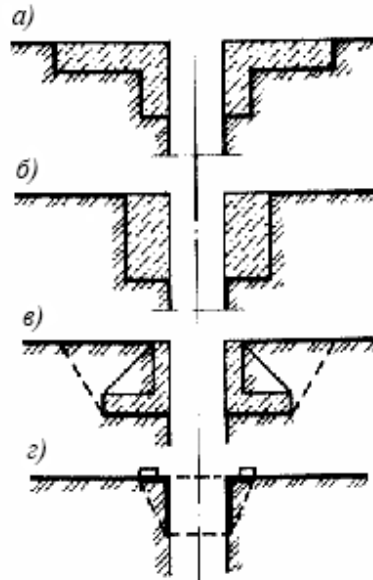


Рисунок 6 – Конструкції комірів залізобетонних (а,б,в), металевого (г)

Вибір схеми та послідовність розробки траншеї визначаються гідрогеологічними умовами, особливостями обладнання для розробки траншеї та конструктивними особливостями конструкцій, які зводяться.

Розробку траншей з вертикальними стінками під захистом глинистого розчину виконують землерийними машинами циклічної та безперервної дії.

До машин циклічної дії відносять обладнання з ковшовими робочими органами: екскаватори, обладнанні подовженим держакон або напорним грейфером, штангові екскаватори тощо.

До обладнання безперервної дії відносяться гідравлічні траншеєкопачі, фрезерні та барові машини. Таке обладнання найбільш продуктивне, але й більш складне.

Вибір землерийних машин виконують з урахуванням характеристик ґрунтів, які розробляються, розмірів та конструктивних особливостей споруди, що зводиться, стисненості будівельного майданчика та терміну зведення.

Розробка траншей в залежності від типу робочих машин може здійснюватися безперервно та окремими захватками – шурфами.

При використанні грейферів можуть застосовуватися дві основні технологічні схеми зведення стін. За першою схемою стіна утворюється з окремих захваток, які розробляються і бетонуються крізь одну з наступною розробкою та бетонуванням проміжних. Розміри захваток визначаються величиною розкривання щелепи та формою ковша (рис. 7).

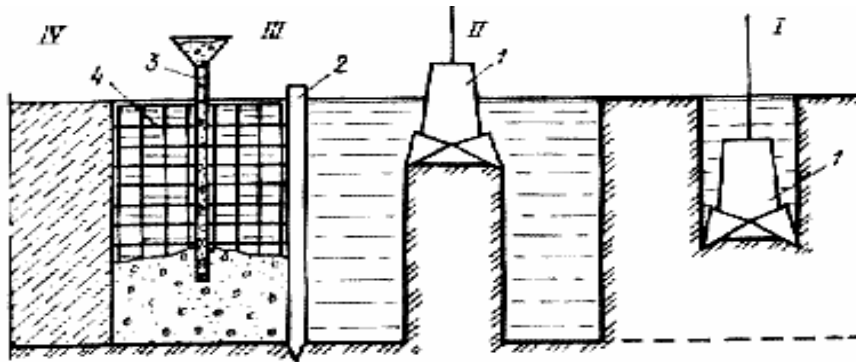


Рисунок 7 – Схема зведення стіни з використанням грейфера:
 I – розробка захваток 1-й черги; II – розробка захваток 2-й черги;
 III – укладання бетонної суміші; IV – готова ділянка стіни;
 1 – грейфер; 2 – обмежувач; 3 – бетонолітна труба; 4 – арматурний каркас

За другою схемою стіна споруджується безпервною розробкою траншеї з наступним бетонуванням суцільної стіни.

Перша технологічна схема застосовується в умовах, коли стійкість стінок траншеї не може бути гарантована на протязі часу, необхідного для розробки трьох захваток.

Грунти I і II груп можна розробляти грейфером без влаштування лідерних свердловин, а грунти III і IV груп з влаштуванням направних свердловин. Відривання ґрунту на захватках з влаштуванням направних свердловин виконують послідовно або крізь одну захватку.

Для відривання неглибоких (до 12 м) траншей шириною 0,5–1 м застосовують штанговий екскаватор (рис. 8).

Штанговий екскаватор може зрізати ґрунт по вертикальному забою. По направній копровій стійці за допомогою кареток переміщується трубчаста рукоять з жорстко закріпленим на ній ківшом. Верхня каретка жорстко з'єднана з рукояттю, а нижня може переміщуватися по рукояті та по копровій стійці. Ковш у відкритому вигляді до початку розробки і під час розвантаження утримує тяговий канат, з'єднаний із зворотньою (тильною) частиною грейферного ковша кронштейном.

Розробка траншеї починається з проходки піонерного шурфа. Для роботи в стріловому режимі ковш в розкритому вигляді подають в траншею та розробляють тупикову частину забою. Копрова стійка при цьому нахилиється за допомогою гідроциліндра, забезпечуючи струговому ножу необхідне напорне зусилля на забой. Глибина розробки ґрунта до 18 м. Ширина траншеї, яка розробляється 0,4–1 м.

При використанні бурофрезних агрегатів рекомендовано приймати технологічну схему, яка передбачає розробку безпервної траншеї та бетонування захватками, які розташовані послідовно (одна за одною).

Таку ж технологічну схему слід прийняти при розробці суцільної траншеї штанговим екскаватором та екскаватором, обладнаним зворотньою лопатою.

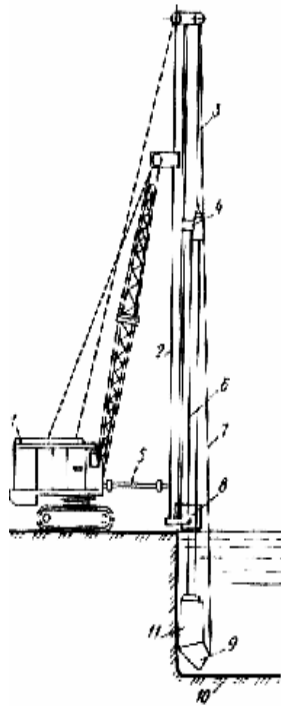


Рисунок 8 – Розробка ґрунта штанговим екскаватором:

1 – базова машина (екскаватор), 2 – копрова стійка, 3 – тяговий канат, 4 – каретка, 5 – упор, 6 – штанга-держак, 7 – підйомний канат; 8 – направна; 9 – грейферна частина ковша; 10 – дно траншеї, 11 – стругова частина ковша

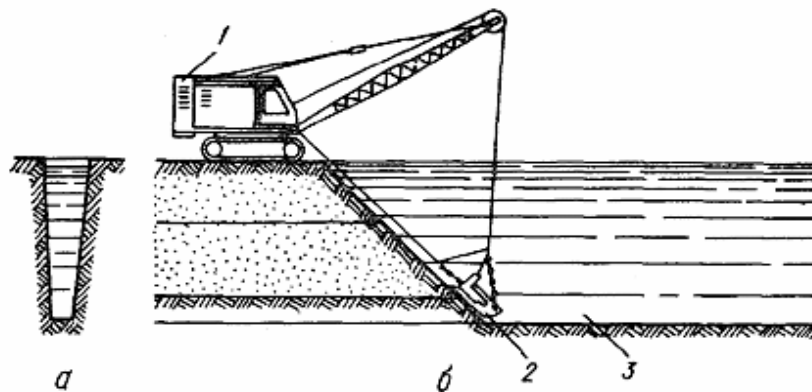


Рисунок 9 – Проходка траншеї екскаватором-драглайном:

а – поперечний розріз, *б* – поздовжній розріз;
1 – екскаватор, 2 – ківш драглайна, 3 – пройдена порожнина (траншея)
під бентонітовим розчином

Приготування глинистих розчинів та їх очищення виконують на технологічному комплексі, який включає: вузол приготування глинистого розчину, ємності для його зберігання, вузол перекачування розчину, ємності-відстійники для розчину, який вже був використаний, склади для зберігання глини та хімічних реагентів, вузол очищення розчину.

Для перекачування глинистого розчину та подавання його в траншею використовують грязеві та центробіжні насоси. Трубопроводи для

перекачування глинистих розчинів виконують з труб діаметром 100–150 мм секціями довжиною 2–5 м. Гнучкі трубопроводи повинні мати жорсткі накінечники з швидкороз’ємними з’єднаннями.

В процесі розробки траншеї глинистий розчин забруднюється і на дно траншеї випадає шлам. Тому перед початком бетонування необхідно очистити дно захватки та замінити забруднений розчин на свіжоприготований. Дно траншеї очищують за допомогою погрузних насосів або ерліфтних установок.

Глинистий розчин повинен мати показники, які забезпечують стійкість стінок траншей до повного закінчення робіт за влаштуванням конструкції. Розчин повинен мати яскраво виражені тиксотропні якості, які дозволяють зберегти параметри глинистих розчинів незмінними на протязі тривалого часу. Найкращими якостями характеризуються розчини, приготовані з бентонитових глин.

Щільність розчину при використанні для його приготування бентонитових глин сліду прийняти 1,05–1,15 кг/м, при використанні інших видів глин 1,2–1,3 кг/м.

Для отримання високоякісних глинистих суспензій більш за все пригодні тонкодисперсні та високопластичні бентонітові (монтмориллонітові) глини.

Можуть також застосовуватися і місцеві глини, які повинні мати наступну характеристику: щільність часток 2,7–2,75 кг/м, число пластичності 0,2, вологість на границі розкошування 0,25, набрякання не менш 15–20%, склад глинистих часток розміром до 0,001 мм не менш 10%, розміром до 0,005 мм не менш 40 %.

Глинисті суспензії повинні мати наступні параметри:

– умовна в’язкість, с –	18–30
– водовіддавання за 30 хвилин, мл, не більш –	30
– товщина глинистої корки, мм, не більш –	3–4
– стабільність, мН/см ³ , не більш –	0,2
– відстій води, %, не більш –	4
– концентрація водородних іонів <i>pH</i> –	8–11,5

При розробці траншеї необхідно виконувати розрахунок стійкості стінок з урахуванням гідрогеологічних умов будівельного майданчика. При розрахунку враховуються фізико-механічні властивості ґрунтів, рівень підземних вод та навантаження від будинків, які будуються поряд.

Відстань від фундаменту до існуючої будівлі повинно бути прийнято таким, щоб забезпечувати стійкість стінки траншеї та фундаментів під час виконання робіт. Іноді, данні відстані складають 1,5–2 м.

Бетонні та залізобетонні конструкції стін виконують з важкого бетону щільної структури класів В20–В40.

Монолітні стіни в траншеях влаштовують за захватками. Суміжні захватки розділяють обмежувачами у вигляді інвентарної сталеві труби або палі, яку вдавлюють між стінками траншеї до її дна.

Обмежувач слід встановлювати в траншею за допомогою крана в створ стику між суміжними захватками. При цьому обмежувач повинен врізатися на 3–5 см в стіни траншеї та занурюватися нижче дна траншеї на 30–50 см. Верх обмежувача повинен надійно закріплюватися на комірці.

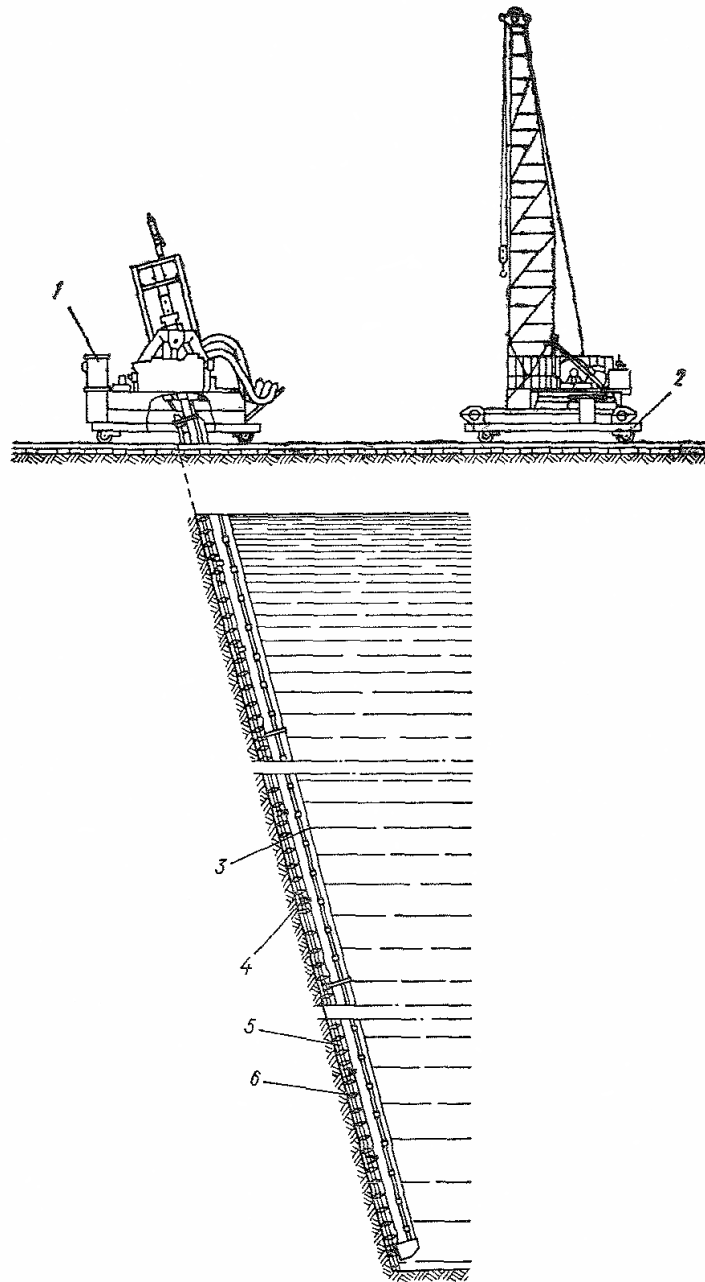


Рисунок 10 – Баражна машина:

1 – прохідницька установка, 2 – кран, 3 – трубчаста стійка, 4 – підшипникова опора, 5 – бурова штанга, 6 – породоруйнуючий різець

При влаштуванні протяжних стін в ґрунті проектом призначається довжина секції-захватки і дається конструкція стиків секцій. Довжину секції-захватки приймають рівною 36 см, іноді до 8 м з умов забезпечення

стійкості стін траншей і дотримання термінів тривалості робіт за влаштуванням фундаменту.

Стики між секціями-захватками можуть бути неробочі та робочі. У неробочих стиках не виникає розтягуючої напруги через відсутність згинальних моментів і поперечних сил. Робочі стики відчувають напруження розтягу в горизонтальній площині за додатком до них згинальних моментів. Конструкції стиків між секціями фундаментів залежать від багатьох факторів. Робочі стики повинні бути рівноміцними з основним матеріалом стіни.

Арматурні каркаси повинні мати довжину, яка буде дорівнювати глибині траншеї. Для забезпечення необхідного захисного шару арматури слід ширину арматурних каркасів приймати на 150-250 мм менше, ніж ширина траншеї. Розміри каркаса залежать також від прийнятої технології влаштування фундаменту або підземної споруди, величини секції-захватки і конструкції стику між секціями. В арматурних каркасах повинні бути передбачені отвори для пропуску бетонолитних труб, які огорожені вертикальними стрижнями з гладкої арматури, і обмежувачів, які фіксують проектне положення арматурного каркаса в траншеї для створення необхідної товщини захисного шару. При довжині захватки до 4 м необхідно влаштовувати один отвір в середині каркаса, при довжині захватки 4–6 м – два отвори (при радіусі розтікання бетонної суміші не менше 1,5 м).

Залежно від глибини траншеї обсяг захватки повинен становити не більше 50–60 м. Конструкція обмежувача повинна виключати можливість попадання бетонної суміші з однієї захватки в іншу і забезпечувати водонепроникненість робочих стиків бетонування.

Неробочі стики виконують з використанням гладких інвентарних або стаціонарних (які залишаються в тілі бетону) обмежувачів захваток без перепуску через них горизонтальної арматури. При неробочих стиках захватки між собою не з'єднуються і в прямолінійних фундаментах кожна захватка працює як окремий стовп.

Робочі стики між секціями виконують з перепуском арматури на 30 діаметрів з однієї секції в іншу через залізобетонні елементи або металеві листи, які залишаються в тілі фундаменту.

1.7 Глинисті суспензії, їх склад, властивості та способи приготування

При будівництві методом «стіна в ґрунті» для кількісної характеристики властивостей глинистої суспензії прийнята вироблена досвідом сукупність її експлуатаційних параметрів, яка включає щільність, умовну в'язкість, статистичну напругу зсуву, показник водовіддачі, товщину глинистої корки, стабільність.

Одним з основних вимог до глинистих суспензій є забезпечення ними стійкості стін траншей як в період їх розробки, так і в період подальшого зведення в них стінових конструкцій.

Глиниста суспензія, яка заповнює траншею, що розробляється, або вже готову траншею, повинна запобігати обвалення останньої, створюючи необхідний гідростатичний протитиск, який перевищує в будь-якій точці на стінці траншеї активний тиск навколишнього ґрунту і ґрунтових вод. Для цього суспензія повинна мати необхідну щільність, яка досягається відповідним підбором складу суспензії. Контроль за щільністю суспензії в польових умовах і лабораторії здійснюється за допомогою *ареометра*.

Умовну в'язкість суспензії, яка характеризує її рухливість, вимірюють часом закінчення (в секундах) 500 мл глинистої суспензії через воронку віскозиметра. Вимоги до в'язкості глинистої суспензії суперечливі. Для зменшення опору робочих органів землерийних машин ця в'язкість повинна бути за можливістю меншою, а для того, щоб глиниста суспензія утримувала в підвішеному стані частки ґрунту, який розробляється і запобігала їх осадження на дно траншеї, в'язкість повинна бути досить великою. Одночасно для забезпечення необхідної товщини заглинізованого шару екрану суспензія повинна бути рухливою, малов'язкою, а для забезпечення міцності цього шару – досить в'язкою. На практиці цим вимогам зазвичай задовольняє умовна в'язкість суспензії T , яка дорівнює 20–25 с.

Статична напруга зсуву (СНС) характеризує міцність структури суспензії та сприяє утворенню міцного екрану на стінці траншеї, а також кращому зважуванню ґрунтових частинок суспензії, але знижує продуктивність землерийних машин з швидко обертається робочим органом, які розробляють траншеї. Статична напруга зсуву, яка виражається в $Па$, визначається за допомогою приладу, заснованому на вимірюванні опору обертання циліндра в в'язкій суспензії. Статичну напругу зсуву визначають через 1 хв. і 10 хв. після перемішування суспензії. Прийнятне значення через 10 хв. після перемішування знаходиться в межах 2–5 $КПа$, причому верхня межа цієї величини відноситься до розробки траншей в великих пісках.

Показник водовіддачі суспензії є також важливим і висловлює її здатність віддавати воду оточуючим траншею водопроникним ґрунтам і породам. Водовіддача вимірюється приладом під тиском 0,1 $МПа$ за 30 хв. на площі 100 $см^2$. Вона не повинна перевищувати 25–30 мл.

Товщина глинистої корки на стінках траншеї, яка створюється під глинистою суспензією, має особливо важливе значення. Якщо ширина або діаметр свердловини невеликі та в результаті фільтрації чистої води з них в навколишній ґрунт на стінках вироблення утворюється глиниста кірка великої товщини і просвіт, який залишається, виявиться менше необхідного. Показник «товщина глинистої кірки» визначається на фільтрувальному папері одночасно з визначенням показника «водовіддача глинистої суспензії» і приймається рівним 3–4 мм.

Важливим також є *показник стабільності глинистої суспензії*, який характеризує її здатність не розшаровуватися, залишаючись в спокої. Цей показник визначається в посудині ємністю 800 мл через 24 години після його наповнення як різниця об'ємних мас верхніх і нижніх шарів глинистої

суспензії. Цей показник не повинен перевищувати $0,02 \text{ г / см}^3$. Стабільність глинистої суспензії вимірюється також відносною величиною так званого відстою, тобто ставленням обсягу чистої прозорої води до загального обсягу суспензії після добового перебування її в спокої в градуйованому циліндрі місткістю 100 мл. Якщо показник стабільності вище зазначеної величини, такі глинисті суспензії називаються тими, що розшаровуються або нестабільними.

Водневий показник (pH), який виражає концентрацію водневих іонів в суспензії, важливий для її тиксотропних властивостей і найбільш яскраво проявляються при pH 8–10. Максимальна стабільність суспензії має місце при pH 10,5–11,5.

Зміст піску і недиспергированих частинок в глинистої суспензії визначають в приладі-відстійнику та виражають у відсотках від об'єму суспензії. Допустимий вміст піску приймають рівним 4%. Надлишок піску в суспензії видаляється: великий – проціджуванням, а середній і дрібний – в відстійниках або гідроциклонах.

Для приготування високоякісних тиксотропних суспензій застосовують бентонітові високодисперсні та місцеві глини, які повинні мати такі попередні характеристики:

- щільність – $2,7\text{--}2,75 \text{ г / см}^3$.
- число пластичності – не менше ніж 20.
- набухання – не менше 15–20%.
- вологість на межі розкочування – не менше 25%.
- гранулометричний склад піщаних частинок розміром 1,0–0,05 мм.

Місцеві глини можуть бути облагороджені добавками привізних якісних глин. В кожному конкретному випадку вибір глини для приготування глинистих суспензій повинен бути обґрунтований лабораторними дослідженнями та техніко-економічним розрахунком.

Застосування суспензій з дешевих глин дає великий економічний ефект, так як це не тільки знижує загальну вартість будівництва заглиблених споруд, а й розвантажує залізничний транспорт, скорочує обсяг перевезень високоякісних бентонітових глин, родовища яких розташовані далеко від місць їх споживання.

Для приготування глинистої суспензії, її зберігання та подачі в траншею при проходці, а також для відкачування зайшламованої суспензії з траншей на поверхню, очищення від забруднюючих її домішок, служить глинисте господарство.

В складі глинистого господарства передбачені спеціальні установки і обладнання:

- гліномешалкі для приготування глинистих розчинів, а також диспергатори глинистих частинок;
- трубопроводи та лотки для перекачування суспензій і виконання технологічних процесів;
- обладнання для перекачування чистої і зайшламованої суспензії –

насоси, ерліфти, елеватори;

– установки для очищення суспензії;

– склади, вантажно-розвантажувальні та розтарочні установки для комової глини та глинопорошків.

Приготування тиксотропної суспензії здійснюють з використанням гліномешалок ємністю 2–4 м³; швидкохідних розчиномішалок; трьох-вальних гліномешалок; гідравлічних змішувачів; фрезерно-струменевих млинів.

Подачу суспензії в траншею та відкачування її разом із розробленим ґрунтом здійснюють поршневыми грязьовими самовсмоктуючими насосами і розчинонасосами.

Вузол очищення глинистого розчину обладнується вібраторами та ситогідроциклонними установками.

1.8 Способи та пристрої для влаштування та укладання у траншею нетвердіючих заповнювачів

Існуючі способи приготування та укладання заповнювача засновані на механічному перемішуванні його початкових компонентів та подавання отриманої таким шляхом маси в зону формуємого тіла завіси. Вирішальний вплив на протифільтраційні властивості завіси дає правильний підбір компонентів та процентне співвідношення.

Вибір обладнання та способу виконання робіт при влаштуванні протифільтраційної або несучої траншейної стінки визначається інженерно-геологічними умовами траси та параметрами стінки.

При складній геології та значній глибині траншеї для її розбирання рекомендовано застосовувати ударне або грейферне буріння. В легких ґрунтах при незначній глибині траншеї для її розробки можуть бути застосовані методи обертального буріння, а також грейферна виїмка.

Безперервні траншейні стінки утворюють шляхом безперервної розробки траншеї під шаром бетнтонітового розчину і заповнення їх твердіючим або нетвердіючим матеріалом. Траншеї для таких стінок розробляють установками типу «Зальцгіттер», «Титанія», а також екскаваторами.

Траншеї протифільтраційних та несучих стінок заповнюють шляхом подавання матеріала під глиняний розчин крізь вертикально переміщувані труби, насосом, бульдозером або безпосередньо з транспорту. Найбільш широко застосовують метод вертикально переміщуваної труби та подавання насосами, які забезпечують менші перерви в роботі та менше забруднення бетонної суміші. Витиснутий при цьому бентонитовий розчин використовують вдруге.

Матеріал, який укладають в траншею, не повинен змішуватися з бентонітовим розчином.

У якості заповнювача траншей використовують бетонну суміш, цементно-піщані та суглинисто-цементні розчини, бітумні та вапняні суміші,

гідратон, глини, суглинки, а також піщані ґрунти, збагачені глинистими фракціями.

Для протифільтраційних стінок використовують маловодопроникнений матеріал, який має деяку податність та незначну міцність. Така стінка, не руйнуючися, допускає обмежену осадку бетонної споруди.

Врізання замикаючих елементів траншеї в секції першої черги повинно бути виконано без їх руйнування. Для цього матеріал заповнення повинен мати певну пластичність. Зазвичай цим вимогам відповідають деякі глино-цементні або суглинисто-цементні розчини з домішками піска, а іноді гравія. В залежності від дальності подавання, способу укладання та інтенсивності робіт в розчин вводять уповільнювачі або прискорювачі тужавіння, а також суперпластифікатори.

Для влаштування стінок в агресивних середовищах суміш готують на бітумном в'язучем (бітум + пісок + гравій + вапно) або взагалі без в'язучого.

У безперервні траншейні протифільтраційні завіси зазвичай укладають маловодопроникнений матеріал (глину, мул, суглинок) або здобутий з траншеї та заглинизований ґрунт, а також найрізноманітніші спеціально приготовлені нетвердіючі суміші з ґрунту та бентоніту. Матеріал для заповнення таких траншей не повинен бути дуже стискаємим, для чого в нього вводять крупні скелетні частки. Крім того він повинен укладатися без розшарування (при значній вологості) та без утворення окремих комів (при малій вологості).

При проходці траншеї екскаватором під захистом глинистої суспензії відбувається значне її забруднення, що призводить до випадіння осадів на дно траншеї (до 2–3 м).

Загальне забруднення суспензії дрібними частками може призвести до втрати її властивостей та визвати обвалення ґрунту. Тому потрібно проводити очищення суспензії.

Траншея перед заповненням повинна бути очищена від сторонніх предметів та осівших на дно піщаних фракцій. При необхідності в ній повинні бути встановлені арматура та контрольно-вимірювальні прибори. Консистенція глинистого розчину, який знаходиться у траншеї, повинна бути мінімально припустимою.

1.9 Контроль за якістю влаштування стінок траншейним способом

Контроль за якістю влаштування протифільтраційних та несучих стінок траншейним способом здійснюється поопераційно із складанням на кожну операцію акта на приховані роботи.

При проходці свердловини та розробці траншеї періодично вимірюють їх глибину та розміри в плані. Не доведена до водопору або до проектної позначки завіса може визвати втрати води з водосховища, а зменшення її товщини підвищує градієнт напора в ній, що може привести до

фільтраційних її деформацій. Габарити розробки контролюють за допомогою шаблона або бурового інструмента. Одночасно перевіряють вертикальність свердловин, а також торців секцій першої черги траншеї.

У процесі робіт ведуть систематичний контроль за якістю бентонітового розчину, перевіряють вихідний бентонітовий матеріал при постачанні його на будівництво, підбирають в лабораторії склад бентонітового розчину та контролюють стабільність параметрів цього розчину (щільності, в'язкості, водовіддавання тощо) як і при приготуванні та видаванні його на розчинному вузлі, так і в місцях його використання. Для цього на всіх ділянках беруть проби розчину та виконують їх лабораторний аналіз.

При розробці траншей ведуть безперервне спостереження за рівнем розчину та рівнем ґрунтових вод, оскільки зниження першого або підвищення другого може призвести до обвалення відкосів. При підвищенні рівня ґрунтових вод зазвичай вимушено підвищують рівень бентонітового розчину в траншеї.

Лабораторія будівництва веде підбір матеріалів для заповнення траншей та свердловин, визначає їх гранулометричний склад, межу пластичності, вологість, необхідну в'язкість розчину, міцнісні та протифільтраційні властивості, перевіряє забруднення розчину, повноту просочування бентонітом вийнятого з траншеї ґрунту в випадку, якщо його передбачено для використання у вигляді заповнювача, а також наявність в ньому каменів, линз із просоченого ґрунту та інше. Контроль ведеться безперервно як при приготуванні суміші, так і при її укладанні під бентонітовий розчин.

При заповненні траншеї перевіряють відповідність обсягу матеріалу, яким заповнюють, її обсягу.

Після завершення споруди виконують огляд стінки, визначають її міцність та протифільтраційні властивості. Огляд здійснюють при вскритті котлованів або із спеціально виконаних виробіток.

1.10 Техніка безпеки при виконанні робіт по влаштуванню стінок

Основну небезпеку при виконанні траншейних стінок уявляє обвалення відкосів траншеї у процесі її розробки та заповнення. Для виключення цієї небезпеки необхідно мати детальні інженерно-геологічні відомості щодо створу стінки та використовувати бентонітові розчини відповідної якості. Основні параметри розчинів (щільність, в'язкість, водовіддавання) повинні знаходитися в межах, які забезпечують вертикальне положення відкосів розробленої траншеї.

Необхідно постійно підтримувати заданий рівень розчину в траншеї та забезпечити її циркуляцію. Слід як можна менше часу тримати траншею під захистом бентонітового розчину, проводячи всі роботи безперервно та зразу

після виконання розробки траншеї на проектну глибину здійснювати її заповнення.

Роботи по влаштуванню траншеї потрібно організовувати таким чином, щоб скоротити перебування людей та механізмів поблизу неї. Виходячи з цього, дуже зручна схема розробки та заповнення траншеї з торців та менш довершена схема заповнення траншеї з використанням розподільчих перегородок. Вздовж траншеї, яка розробляється, слід влаштовувати настили, містки, а для її виконання бажано використовувати механізми з широкою базою та з незначним тиском на ґрунт.

Для виключення підрізання вищерозташованого масиву ґрунту та підвищення його стійкості необхідно суворо дотримуватися вертикальності розробки.

Контрольні запитання

1. Описати сутність методу «стіна у ґрунті».
2. Проаналізувати переваги застосування методу «стіна у ґрунті» порівняно з методом опускного колодязя.
3. Дати класифікацію та проаналізувати параметри «стінок в ґрунті».
4. Проаналізувати основні способи зведення заглиблених споруд методом «стіна в ґрунті».
5. Визначити ефективну область застосування метода «стіна в ґрунті».
6. Проаналізувати сучасні методи та засоби механізації розробки траншей під глинистою суспензією.
7. Проаналізувати виконання робіт по влаштуванню стінок.
8. Описати глинисті суспензії, їх склад, властивості та способи приготування.
9. Описати способи та пристрої для влаштування та укладання в траншею нетвердіючих заповнювачів.
10. Проаналізувати контрольні заходи щодо якості влаштування стінок траншейним способом.
11. Проаналізувати контрольні заходи щодо техніки безпеки при виконанні робіт по влаштуванню стінок.

2 СПОСОБИ ЗАКРІПЛЕННЯ ОСНОВ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

2.1 Загальні відомості щодо ущільнення і закріплення гірських порід

Для забезпечення стійкості та нормальних умов експлуатації гідротехнічних споруд постійно приходиться застосовувати інженерні заходи щодо поліпшення властивостей гірських порід в їх основі та примиканнях до схилів долин.

Одним з головних і майже обов'язкових заходів, здійснюваних при будівництві споруд на будь-яких водопроникних породах, є пристрій протифільтраційних завіс. З цією метою вздовж визначеної зони під греблею і на ділянках її примикань роблять ущільнення та зміцнення корінних порід способом цементації або іншими на визначену глибину або до практично водонепроникних порід. Протифільтраційна завіса перепиняє шлях підземним водам, в результаті чого знижуються їх витрати, швидкість руху та напір.

Протифільтраційні завіси можуть бути висячими та перекривати підземний потік тільки частково або врізаними, тобто перекривати підземний потік цілком і врізатися в практично водонепроникні породи. В окремих випадках влаштовують протифільтраційні завіси у виді бетонних стінок, споруджених в траншеях або шляхом буріння суцільного ряду свердловин великого діаметру, які перекривають одна одну.

Одним з розповсюджених заходів щодо поліпшення умов стійкості гірських порід в основі споруд є їх дренавання. Для цього застосовують горизонтальні та вертикальні дренажі та зворотні фільтри в основі низового укосу земляних гребель.

При проектуванні гребель в гірничо-складчастих областях в глибоких долинах, часто виникає необхідність в ущільненні та закріпленні гірських порід в межах схилів на ділянках примикання до них гребель. Для цього застосовують різні способи: цементацію, пристрій підпірних споруд, анкерні кріплення та ін.

Будівництво гідровузлів з водонапірними та водоутримуючими греблями завжди пов'язано зі створенням водоймищ. Місце розташування створу греблі звичайно вибирають з урахуванням багатьох умов, серед яких одна з першочергових полягає в тому, щоб при рівних положеннях нормального підпірного рівня води в греблі обмежити до мінімуму площі затоплення та підтоплення територій, великих населених пунктів, відповідальних підприємств й споруд. Проте, створення водоймищ, особливо великих, завжди впливає на навколишню природу і вносить істотні зміни в інженерно-геологічні умови прилягаючих до нього територій.

Водоймища великої ємності з величезними площами водного дзеркала звичайно утворюються при будівництві великих гідровузлів на рівнинних ріках. Саме в зоні їх впливу і виникають великі зміни та складності

інженерно-геологічних умов. В районах гірських водоймищ також відбуваються зміни інженерно-геологічних умов, іноді дуже істотні, в зв'язку з їх впливом на підвищення сейсмічної активності району.

У зоні впливу великих водоймищ можуть відбуватися наступні несприятливі та небезпечні явища:

1) постійне затоплення територій міст і населених пунктів, промислових підприємств, залізних і автомобільних доріг та інших відповідальних споруд, а також великих площ сільськогосподарських угідь;

2) більш значне і більш тривале затоплення територій при повенях і паводках, чим до створення водоймища;

3) підтоплення територій і розташованих на них будинків і споруд внаслідок підпору рівня підземних вод;

4) підтоплення і заболочування територій, а в районах недостатнього зволоження – засолення ґрунтів і підґрунтових шарів гірських порід при підпорі та підйомі рівня підземних вод;

5) переливи води через низькі вододіли, які викликають обводнювання, заболочування і затоплення територій;

6) тимчасові та постійні втрати води з водоймища при насиченні товщ гірських порід в бортах долини і при її витокі через вузькі вододіли, які складені водопроникними і сильно водопроникними породами, які викликають порушення нормальних умов роботи гідровузла;

7) підмиви та руйнування берегів і їх переробка під впливом вітрових хвиль;

8) порушення стійкості мас гірських порід на схилах і утворення осипів, обвалів, зсувів або пожвавлення деформацій на ділянках старих зсувів внаслідок підтоплення та підмиву схилів;

9) замулення водоймищ і, як наслідок, зменшення їх ємності, погіршення умов судноплавства та рибництва, утворення мілководь і боліт і погіршення загальної санітарної обстановки;

10) спливання торф'яних покладів, могильників, розмиви складів побутових відходів, які викликають порушення нормальних умов роботи водопропускних споруд гідровузлів і погіршення загальних санітарних умов;

11) підвищення сейсмічної активності територій в зв'язку зі штучним заводненням гірських порід у верхніх шарах земної кори.

При обґрунтуванні технічного проекту гідровузла в районі водоймища, яке проектується, виконують детальні інженерні вишукування на всіх ділянках, які представляють практичний інтерес, де можливий розвиток несприятливих і небезпечних явищ, для оцінки ступеню їх загрози й обґрунтування проектів захисних заходів. З досвіду випливає, що ділянки, на яких необхідно здійснювати захисні заходи, за інших рівних умов, звичайно розташовуються там, де рівнинний режим ріки при її підпорі змінюється більше.

Площа територій, які затоплюються водоймищем, визначають звичайно за топографічним планом $M 1:10000-1:50000$ (в залежності від важливості

ділянки), на якому проводять кордон виклинцювання нормального або максимального підпірного рівня води. Площі ділянок, які підтоплюються, визначати сутужніше. Для цього необхідно виконувати відповідні інженерні вишукування.

Захисні заходи можуть бути пасивними й активними. Перші складаються у виключенні територій з числа корисних для подальшого господарського використання і переміщенні розташованих на них будинків, споруд і інших об'єктів за межі зони впливу водоймища. Другі складаються з будівництва спеціальних споруд або реконструкції існуючих для попередження небезпечних і несприятливих явищ, обмеження їх дії або для повного захисту від них. З цією метою роблять підсипання або наживи територій і підйом планувальних ділянок поверхні землі, будують дамби, створюють додаткові водоймища для регуляції стоку і попередження затоплення територій, виконують гідроізоляцію підземних частин будинків і споруд, які попадають в зону підтоплення, роблять протизсувні та берегоукріплюючі роботи, підйом дорожніх насипів, опор і пролітних будівель мостових переходів, днопоглиблювальні роботи та ін.

Головними задачами детальних вишукувань на ділянках водоймища, яким загрожує небезпека розвитку тих або інших геологічних процесів, є:

- 1) вивчення інженерно-геологічних умов кожного з них, встановлення масштабу розвитку небезпечних явищ і ступеня їх загрози;
- 2) вибір видів і комплексів захисних заходів і одержання необхідних даних і матеріалів для їх проектування.

Для рішення цих задач необхідно виконувати:

- 1) детальну інженерно-геологічну зйомку;
- 2) розвідувальні роботи;
- 3) дослідні роботи;
- 4) режимні стаціонарні спостереження;
- 5) лабораторні та камеральні роботи.

Найважливішою задачею детальних інженерних вишукувань для обґрунтування технічного проекту гідровузла є роботи з пошуків, розвідки та промислової оцінки родовищ:

- 1) гірських порід, придатних для будівництва гребель, дамб, перемичок і інших земляних споруд;
- 2) піску, гравію, галечника та щебеня для готування бетону, дренажів, фільтрів і для баластового покриття доріг;
- 3) будівельного та лицевального каменя для різних споруд і берегоукріплення;
- 4) глини, суглинків, торфу для протифільтраційних пристроїв.

2.2 Спосіб цементації в гідротехнічному будівництві

Вперше цементація тріщинуватих порід почала проводитися при проходці шахт і здійснювалася, починаючи з 1864 р. шляхом простого

заливання цементного розчину в тріщини порід. З 1878 р. починає застосовуватися нагнітання розчину під тиском, а в 1895 р. з'являється перший офіційний технічний звіт, присвячений результатам використання цього способу.

У 1907 р. цементация порід вперше була застосована для крупної гідротехнічної споруди з метою боротьби з фільтрацією в основі греблі Нью-кротон (США), заввишки 72 м.

Починаючи з цього часу, на протязі понад 50 років, спосіб цементации у виробничому відношенні отримав значний розвиток. Пневматичний спосіб нагнітання цементного розчину поступається місцем гідравлічній ін'єкції, яка здійснюється із застосуванням циркуляційного методу нагнітання. Виникає високонапірна цементация при широкому діапазоні консистенцій цементацийних розчинів, які нагнітаються. В зв'язку з цим удосконалюється різне устаткування для приготування та нагнітання розчинів і створюється спеціальна вимірювальна апаратура, яка дозволяє контролювати досягнення небезпечних величин тиску цементацийних розчинів в породах. Для цементации тонких тріщин розроблено вживання спеціальних домішок і відповідної методики робіт.

Значний розвиток ці дослідження отримали в колишньому СРСР у післявоєнний період в зв'язку з широким вживанням способу цементации на різних відновлюваних роботах, де цей спосіб виявився вельми ефективним і приніс велику користь народному господарству.

Так, наприклад, при відновленні споруд Днепрогесу імені В.І.Леніна, спосіб цементации був застосований як один з основних відновлюючих заходів; цим способом було проведено зміцнення близько 200 000 м³ кладки бетону та залізобетону.

В гідротехнічному будівництві спосіб цементации в теперішній час застосовується:

- а) для створення протифільтраційних завіс в основі споруд і для зміцнення основ;
- б) для надання монолітності та водонепроникності бетонній кладці споруд;
- в) для ущільнення та обтискання тунельних обделок і для зміцнення породи, яка оточує тунель.

В сучасному гідротехнічному будівництві немає майже жодного крупного об'єкту, який зводився б на тріщинуватих скельних породах або пористих піщаних ґрунтах без застосування цементации або іншого ін'єкційного способу.

Принципова цінність висновків і рекомендацій, зроблених Б.Е.Веденєвим ще на зорі вітчизняного гідробудівництва, зберігається і до наших днів. На Днепробуді він розробив і представив у 1928 р. технічній раді будівництва свій проект цементации основи греблі на противагу проекту, запропонованому представниками американської консультації. Б.Е.Веденєв незмінно приділяв велику увагу питанням захисту основи гідроспоруд від

фільтрації та надавав особливе значення способу цементації як одному з важливих заходів, які забезпечують ефективний захист основи.

Головні переваги способу цементації, які сприяють значному поширенню його в будівництві, полягають в технічній простоті, зручності вживання та високої надійності результатів, що досягаються. Крім того, спосіб цементації досить економічний (він дешевше, наприклад, ніж силікатизація чи бітумізація) і не вимагає складного устаткування. В даний час спосіб цементації набув великого поширення в ряді областей будівельної техніки.

Окрім гідроенергетичного та іригаційного будівництва, спосіб цементації багато разів застосовувався в умовах морського гідротехнічного будівництва для ремонту бетонних і кам'яних кладок (доків, молів, набережних тощо).

На будівництві споруд залізничного транспорту – при ремонті та відновленні мостових опор і інших споруд – спосіб цементації також широко використовувався. Російські інженери одними з перших почали застосовувати цементацію для зміцнення бетонної кладки стоянів мостів. За опублікованими даними можна бачити, що вже до 1913 р. спосіб цементації в Росії був досить добре розроблений і застосований на деяких об'єктах залізничного будівництва. В гірських роботах – при проходці шахт, штолень і інших виробіток – спосіб цементації відомий найдавніше. Роботи по цементації гідротехнічних тунелів в даний час отримали значний розвиток.

В промисловому будівництві цементацію застосовують для зміцнення, головним чином, галечникових і гравелістих порід під фундаментами важких споруд, а також для зменшення водопроникненості цих порід.

2.2.1 Основні технічні вимоги, які висувають до способу цементації та його призначення в гідротехнічному будівництві

До основних завдань гідротехнічного будівництва відноситься забезпечення міцності та щільності ґрунтів основи з метою досягнення стійкості споруд і запобігання фільтрації під ними або в обхід споруд.

Зважаючи на статичні умови роботи бетонних гідроспоруд слід розрізняти дві основні групи завдань, вирішення яких переслідує істотно різні цілі укріплення та ущільнення ґрунтів.

Перша група завдань відноситься до протифільтраційного захисту верхової частини основи (поблизу напірної грані споруди), де напруга, яка передається на ґрунт, зазвичай невелика, і навпаки, фільтраційний тиск досягає найбільшого значення, причому зважаючи на наявність дренажних пристроїв тут створюються небезпечні для ґрунтів фільтраційні градієнти.

В зв'язку з цим вирішення першої групи завдань ставить своєю основною метою ущільнення ґрунтів, запобігання їх розмиву або суффозії¹

¹ *Суффозія* (від лат. suffosio - підкопування) - винос дрібних мінеральних часток породи водою, яка фільтрується через неї. Процес близький до карсту, але відрізняється від нього тим, що суффозія є

та забезпечення надійного зв'язку між спорудою та ґрунтом основи щоб уникнути розвитку фільтрації за контактом між ними.

Друга група завдань відноситься до зміцнення ґрунтів в низовій частині основи, де напруга, яка передається бетонною греблею на ґрунт (при наповненому водосховищі), досягає найбільшого значення, тоді як фільтраційний тиск тут зазвичай невеликий.

Відповідно до цього, рішення другої групи завдань ставить своєю основною метою забезпечення потрібною міцністю ґрунтів основи і підвищення їх модуля пружності, тоді як питання боротьби з фільтрацією на даній ділянці основи практично не ставляться. Лише за піщаних ґрунтів перевіряються вихідні градієнти, щоб уникнути суффозії та випору ґрунту.

Особливості цементації основ високих гребель залежать від геологічних і гідрогеологічних умов основи і полягають у наступному:

- а) підвищення щільності протифільтраційних завіс;
- б) влаштування протифільтраційних завіс, як правило, значної глибини;
- в) посилення зчеплення між бетоном і скельною основою;
- г) підвищення міцності та модуля пружності основи в зоні максимальної стискуючої напруги, яка передається від споруди на ґрунт;
- д) раціональне поєднання спільної роботи завіси і дренажу в основі для забезпечення найбільш ефективного зниження фільтраційного тиску.

Як показала практика гідротехнічного будівництва, сучасні методи підготовки основ за допомогою цементації дозволяють зводити споруди в складних інженерно-геологічних умовах, які відрізняються не лише сильною тріщинуватістю порід, але інколи й наявністю скидань, розвиненого карсту, вмістом в породах акварозчинних мінералів, заляганням піщано-гравійних відкладень і тому подібне. В даний час є ряд прикладів високих гребель, які збудовані або будуються у вказаних складних геологічних умовах. В цих випадках застосовувалися вдосконалені методи влаштування глибоких завіс підвищеної щільності, а також в потрібних випадках виконувалася укріпна цементація порід.

Сучасна техніка цементації має в своєму розпорядженні ряд нових, ефективних методів, які дозволяють значно поліпшити якість ущільнення тонких тріщин і пір. До таких методів належать: пластифікація ін'єкційних розчинів шляхом введення спеціальних добавок, вживання тонко дисперсних цементів, які пройшли спеціальне подрібнення, вживання цементно-глинистих розчинів, оброблених спеціальними реагентами і тому подібне.

В результаті вживання цих методів вдається досягти різкого зниження проникності порід. При цьому в тілі завіси забезпечується зменшення коефіцієнтів фільтрації менше 10^{-6} см/сек. Практика показала, що при успішній цементації тонких тріщин і пір можливе ще більше зниження коефіцієнтів фільтрації.

Багаточисельними експериментальними спостереженнями, проведеними на ряду гребель, переконливо доведено також, що завдяки наявності завіси величина протитиску за площиною завіси помітно зменшується. Залежно від властивостей порід основи і якості виконаної цементациї падіння натиску безпосередньо за площиною завіси досягає 60–90%. Це, зокрема, послужило підставою до того, що коефіцієнт площадкової пористості, який враховує зниження величини протитиску за рахунок неповноти передачі його на підшву споруди, рекомендують в даний час приймати рівним одиниці.

При будівництві високих гребель особливо важливе значення має створення в основі вельми щільних завіс, здатних протистояти розвитку фільтрації при великих градієнтах натиску.

В завдання укріпної цементациї входить консолідація порід і підвищення модуля пружності основи, зменшення непружних деформацій порід і додання ним монолітності. Особливо відповідальну роль укріпна цементация грає при зведенні споруд в складних геологічних умовах, при яких ця цементация може проводитися на всій площі основи.

Укріпна цементация, яка здійснюється в основі греблі нижче за завісу, не повинна збільшувати протитиск на підшву споруди і, отже, не має бути перешкодою для фільтраційного потоку, який уловлюється дренажем або йде до нижнього б'єфу. У зв'язку з цим укріпна цементация виконується шляхом ін'єкції переважно густих розчинів з низькими В/Ц відношенням, чим обумовлюється заповнення головним чином крупних тріщин і одночасно забезпечується утворення високоміцного цементного каменю. Велика частина тонких тріщин при цьому залишається практично незацементованою і здатна проводити воду в нижній б'єф, не збільшуючи протитиск. Вказана особливість укріпної цементациї контролюється шляхом завдання підвищених норм допустимої проникненості порід після проведення цементациї.

Окрім вказаних вище основних видів цементациї, особливо виділяють єднальну цементацию, в завдання якої входять додання міцності та водонепроникненості контактному шву між бетоном і породою. Єднальна цементация необхідна в зоні, де є небезпека появи розтягуючої напруги в шві. При наповненому водосховищі такою небезпечною ділянкою є верхова частина контактного шва. Тут особливо часто виконують єднальну цементацию.

Інше завдання цементациї контактного шва полягає в запобіганні так званої контактної фільтрації, яка може розвиватися при порушенні зчеплення в шві внаслідок різниці температурних режимів і деформацій бетону та скельної основи.

Єднальна цементация виконується як частина укріпної цементациї порід, але її основна відмінність полягає в тому, що до неї пред'являються також вимоги досягнення водонепроникненості, в зв'язку з чим всі тонкі тріщини мають бути зацементовані. Для виконання єднальної цементациї

використовуються свердловини укріпної цементації, але інколи задають спеціальну систему свердловин, які бурять через шар укладеного бетону.

Спосіб цементації порід знайшов собі вживання при будівництві багатьох типів гребель: гравітаційних, арочних, залізобетонних, земляних, з кам'яного накидання та ін. Можна визнати доведеним, що цементация з успіхом застосовна у вельми всіляких породах і за самих різних умов їх залягання. Наявні дані показують, що цементация застосовувалася в багатьох скельних породах: осадових (вапняки, доломіт, піщаники, мергелі та ін.) інтрузивних (граніти, сиєніти, діоріти, габбро та ін.) ефузивних (андезити, діабазы, базальти, доллеріти), метаморфічних (гнейси, сланці) і ін. Цементация застосовується також в гравійно-галечникових і піщаних ґрунтах.

У районах карсту спосіб цементації набуває особливе значення. Тут для створення завіс доводиться застосовувати спеціальні прийоми робіт, які включають інколи проходку свердловин великого діаметру поряд з цементациєю суміжних зон порід. При цьому, залежно від міри збереження порід, спосіб цементації може переслідувати мету не лише ущільнення порід, але й їх зміцнення.

Повне запобігання фільтрації та зняття протитиску може бути досягнуте лише вживанням методу заморожування. Інші протифільтраційні заходи, у тому числі і цементация, в змозі лише в тій або іншій мірі понизити фільтрацію, додавши їй безпечний або організований характер.

Досить сказати, що цементация порід із застосуванням цементу звичайної тонкості помелу, є ефективною лише при певній ширині тріщин. В даний час вважають, що цементация дає сприятливий результат, коли тріщиноватість породи характеризується розкриттям тріщин шириною понад 0,1 мм. Тим часом розмір найтонших тріщин, за якими ще може передаватися гідростатичний тиск, складає приблизно 0,0002 мм.

Звідси зрозуміле прагнення до дослідження таких доріг, які дозволили б зменшити діапазон тріщин, невіддатливих цементациї.

До таких доріг належать наступні:

1. Вживання спеціальних пластифікуючих добавок, які вводяться в ін'єкційний розчин з водою замішування. Такими добавками є поверхнево-активні речовини та електроліти, вміст яких за відношенням до ваги цементу дуже невеликий і складає зазвичай долі відсотка. Розчини з вказаними добавками володіють меншою в'язкістю і тому здатні краще проникати в тонкі тріщини та пори.

2. Збільшення тонкості помелу цементу, для чого може застосовуватися вібрдомол цементу в спеціальних млинах, який забезпечує в короткі терміни збільшення вмісту часток дрібніше 10 мкм в 2–2,5 рази.

3. Вживання глини для здобуття таких цементно-глинистих розчинів, які не розшаровуються, однорідні, зручні для перекачування і в той же час не викликають значного зносу ін'єкційного устаткування. В цементно-глинистих розчинах вміст глини залежно від цілей цементациї може складати

від 30 до 70% від суми вагів цементу та глини, чим досягається значна економія цементу.

4. Вживання високошвидкісних турбулентних змішувачів, які забезпечують повніше перемішування та активізацію цементу в водному середовищі та здобуття розчинів колоїдного типу, які володіють тиксотропними властивостями та більшою проникаючою здатністю.

Слід зазначити, що такі заходи, як вібродомол цементу або перемішування розчину у високошвидкісному змішувачі, сприяють одночасно й підвищенню міцності отримуваного цементного каменя. Вони вельми корисні для проведення укріпної та єднальної цементації як в породах, так й в бетонній кладці.

2.2.2 Проектування цементаційних завіс

Проект цементаційних завіс є складовою частиною загального проекту споруд гідровузла та розробляється одночасно з ним.

Складанню проекту споруд гідровузла, його протифільтраційній центаційній завісі або закріплюючій цементації, а також проектуванню інших способів закріплення ґрунтів передують інженерно-геологічні вишукування та дослідження, для здійснення яких проходять розвідочні штольні, шахти, свердловини, шурфи у всіляких напрямках і навіть під руслом річки (рис.11).

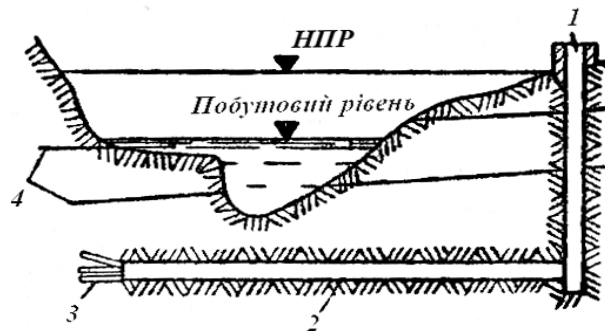


Рисунок 11 – Попередні виробітки при вишукуваннях для гребель:
1– шахта; 2 – штрек; 3 – свердловини; 4 – межі залігання пластів породи

При проектування цементаційної завіси обирають її тип, призначають розміри, щільність, схему розміщення свердловин, тиск нагнітання, визначають обсяги робіт, методи їх виконання та контролю, встановлюють способи суміщення завіси із спорудою. Більшість параметрів (із перелічених вище) уточнюють в процесі виконання завіси.

При визначенні глибини та товщини протифільтраційної завіси виходять з наступних положень. При близькому заліганні водоупору завісу слід доводити до нього, дещо заглиблюючи в водонепроникнені породи, а при глибокому заліганні водоупору або при відсутності даних щодо його положення до порід з питомим водопоглинанням $0,03 - 0,05$ л/хвил при висонапірних спорудах та $0,05 - 0,1$ л/хвил при середньо- та низьнапірних спорудах, що зазвичай дорівнює одному-двом напорам на греблю. Якщо під

шаром малопроникненої породи залягає сильно тріщинуватий масив, то необхідно розглянути питання о заглибленні завіси в цей масив. Товщина завіси залежить від припустимого в ній градієнта напора, властивостей пород основи, матеріала завіси та умов ін'єкційних робіт. Допустимі градієнти в цементацийних завісах можна приймати за даними таблиці 1.

Таблиця 1 – Допустимі градієнти в цементацийних завісах

Грунт	Критерії щільності завіси		Гранично допустимий градієнт в цементацийних завісах
	Питоме водопоглинання, л/хвил, не більш	Коефіцієнт фільтрації м/добу, не більш	
Скельний	0,05	$0,86 \cdot 10^{-1}$	10
	0,03	$5,1 \cdot 10^{-2}$	15
	0,01	$1,7 \cdot 10^{-2}$	20
Пісок: крупний	—	—	3
	—	—	2,5
	—	—	2

Завіси бувають одно- та багаторядні. Товщину багаторядної завіси зазвичай зменшують з глибиною в зв'язку зі зменшенням діючого на неї напору. За товщину завіси умовно приймають 0,7–0,8 середньої відстані між свердловинами при однорядній завісі та відстань між крайніми рядами свердловин плюс 0,4 відстані між свердловинами в крайніх рядах з кожної сторони при багаторядній завісі.

Основними показниками якості цементациї є її суцільність та щільність.

Досягнення необхідної суцільності та щільності завіси залежить в основному від правильного вибору відстані між свердловинами та їх напрямком. Відстань між свердловинами в завісі приймають з урахуванням властивостей порід, типу завіси, напору на споруду та вимог, які висувають до її щільності.

При цементациї міцних порід, нагнітання розчинів в які можна вести при значному тиску, відстань між свердловинами може бути прийнята більшою ніж при цементациї слабких порід. У слабких породах, де високий тиск застосовувати небезпечно, відстань між свердловинами зменшують та влаштовують багаторядні завіси.

Відстань між свердловинами на перших стадіях робіт можна приблизно визначити користуючися формулою Маага для піщаних ґрунтів:

$$R = \sqrt[3]{\frac{3k_{\phi}\tau Hr}{n} \cdot \frac{\mu_1}{\mu_2}} \quad (1)$$

та формулою А.Н. Адамовича для тріщинуватих скельних порід:

$$R = \sqrt{\frac{2k_{\phi}\tau\sqrt{Hr}}{n} \cdot \frac{\mu_1}{\mu_2}}, \quad (2)$$

де k_{ϕ} – коефіцієнт фільтрації породи при цементзації;

τ – час просування розчину в породі на відстань R ;

H та r – відповідно напор у свердловині та її радіус;

n – пористість породи;

μ_1 та μ_2 – кінематичні в'язкість відповідно води та розчину.

В подальшому відстань уточнюють при спробній цементзації. Відстань між свердловинами в деяких здійснених завісах наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Середня відстань між свердловинами

Гребля	Основа греблі	Середня відстань між свердловинами, м
Агуа Фриа (Венесуела)	Сланець	2,3
Бер Крик (США)	Кварцит	6
Братська (Росія)	Діабаз	4
Бухтармінська(Казахстан)	Габбро	1,5
Грейт Фоллс (Канада)	Вапняк	2
Гюар (Іспанія)	Гранодіорит	3
Дуглас (США)	Вапняк	2,4
Женіссіа (Франція)	Вапняк	3,5
Іркутська (Росія)	Гравелисто-галечнікові відкладення	1
Камараса (Іспанія)	Вапняк	5,1
Кастильон (Франція)	Вапняк	3,4
Кентуккі (США)	Вапняк	3,5
Ладжанурська (Грузія)	Вапняк	2
Мареж (Франція)	Вапняк	3,5
Майка (Канада)	Сланець	4,5
Слой (Шотландія)	Сланець	2,3
Старокримська (Україна)	Піщаник	1,5
Теребле-Рикська (Україна)	Сланець, піщаник	2
Усть-Каменогорська (Росія)		
Чіхкамауга (США)	Габбро	1,4
Шастан (Франція)	Вапняк	3
Егль (Франція)	Вапняк	3,6
	Сланець	3,5

Глибину свердловин закріплюючої цементациї призначають з урахуванням стану порід, а також затухання напруг за глибиною. Зазвичай при цьому керуються положенням зони, де найбільші стискючі напруги зменшені вдвічі.

Свердловини закріплюючої та зв'язної цементациї розташовують на поверхні основи за квадратною сіткою або в шаховому порядку на відстані 3–6 м одна до одної. Цю відстань призначають в залежності від тріщинуватості порід, ступеня їх вивітреності та збереженості.

Напрямок свердловин задають із розрахунку, щоб вони перетнули найбільшу кількість тріщин.

Напрямок завіси призначають за нормаллю до гідроізогіпсів потоку ґрунтових вод в берегах. Протяжність берегової завіси визначається відстанню від греблі до місця виклінювання водоупора або пород водоупора або пород із заданим питомим водопоглинанням на позначку НПР. Іноді вважають достатньою врізання завіси в берег до місця виклінювання рівня ґрунтових вод на позначку НПР. У випадку видаленого виклінювання водоупорних порід або рівня ґрунтових вод на позначку НПР протяжність берегової завіси визначають розрахунками бокової фільтрації в обхід греблі.

Глибина берегової завіси визначається або положенням водоупора при доведенні завіси до нього або положенням пород з заданою водонепроникністю. При високих греблях берегову завісу проектують в декількох ярусів і виконують із штолен, які пройдені в площині завіси для кожного ярусу.

2.2.3 Склад робіт при цементациї основ та способи їх виконання

Цементация основ гідротехнічних споруд включає комплекс наступних робіт:

- 1) розбивка вісей рядів цементацийних свердловин;
- 2) прив'язка цементацийних свердловин на місцевості;
- 3) буріння свердловин;
- 4) обладнання свердловин;
- 5) промивання свердловин;
- 6) обстеження тріщин на стінках свердловин;
- 7) визначення питомого водопоглинання породи;
- 8) попереднє нагнітання розчину;
- 9) цементация;
- 10) визначення питомого водопоглинання породи після цементациї;
- 11) ліквідація свердловин.

Всі ці роботи можна виконувати з природної поверхні землі, з дна котловану, крізь тіло споруди та з підземних виробіток.

Цементацию з природної поверхні землі виконують до початку основних робіт по зведенню гідровузла, що виключає труднощі, пов'язані з

одночасним проведенням різних робіт в котловані. Однак виконана таким чином цементацийна завіса частково руйнується в місцях примикання її до бетонної споруди при розробці котловану вибухами і в подальшому потребує ремонту. *Виконання цементацийної завіси з природної поверхні землі ускладнюється необхідністю організації цементного господарства до початку робіт у котловані.* Зазвичай цей спосіб застосовують тільки при влаштуванні берегових завіс.

Цементацийні роботи з дна котловану виконують лише в деяких випадках при влаштуванні закріплюючої (площадної) цементациї. Зазвичай закріплююча цементация одночасно виконує роль єднальної цементациї для з'єднання бетону споруди з основою та виконується крізь шар укладеного бетону товщиною 2–3 м.

Цементацию крізь тіло бетонної споруди можна здійснювати наступними способами:

а) з поверхонь частково зведеного об'єкту. В цьому випадку одночасне проведення цементацийних та будівельно-монтажних робіт знижує темпи їх виконання та ускладнює їх організацію, крім того поверхня бетону споруди забруднюється, що потребує додаткових витрат ресурсів та часу на її очищення та затруднює зчеплення бетону та сусідніх блоків;

б) з поверхонь повністю зведеної споруди. Цей спосіб менш економічний і його можна застосовувати лише в греблях з низьким водозливним порогом. Одним із різновидів цього способу є влаштування ін'єкційного ядра із місцевих матеріалів;

в) з галерей, які влаштовують в споруді для спостереження за її станом і роботою в процесі експлуатації та для виконання ремонтів. Цей спосіб дозволяє виконувати цементацийні роботи ізольовано від інших робіт, та не впливати на їх інтенсивність. Крім того, цементацийні роботи не залежать від пори року та погодних умов. Галереї в спорудах зазвичай мають висоту до 4–5 м, ширину 3–4 м та товщину шару бетону під ними до 4–5 м. Для зменшення обсягу буріння в бетоні під підлогою галереї ще в процесі бетонування споруди на всю товщу бетону закладають труби, крізь які й виконують буріння цементацийних свердловин до проектної глибини в основі;

г) крізь виступаючу у верхній б'єф залізобетонну плиту. В цьому випадку так само, як і з галерей в бетон заздалегідь закладають труби з відстанню, яка дорівнює кроку цементацийних свердловин.

Цементацию з підземних виробіток здійснюють головним чином при влаштуванні глибоких берегових завіс. Зависи в цих випадках влаштовують в декілька ярусів із спеціально пройдених для цього штолен та штреків. Окремим варіантом цього способу є закріплююча цементация з тунелю за облицюванням. Ін'єкцію розчина при цементациї з підземних виробіток виконують в першу чергу в штольних нижнього ярусу, а потім в вищерозташованих. Породу навкруги штолен цементують за всім

периметром. Це покращує з'єднання ярусів завіси та захищає штольню від притока фільтраційних вод.

2.2.4 Буріння свердловин для цементації

Проходження свердловин для цементації можна здійснювати всіма відомими способами та прийомами буріння. Перевагу слід віддавати тим способам, при яких менше забруднюються гирла тріщин буровим дріб'язком, формуються свердловини з гладенькими стінками та мінімальними викривленнями, а також потребуються менші витрати часу та засобів на їх здійснення.

Відхилення свердловин від заданого напрямку не повинно перевищувати $\frac{1}{4}$ відстані до найближчої свердловини. При більшому відхиленні свердловину бракують та ліквідують, пробурюючи поблизу неї нову.

При влаштуванні завіси в породі, де переважають вертикальні або крутонахилені тріщини, свердловини пробурюють з кутом нахилу та напрямком, який забезпечує перетинання основних тріщин.

Ударно-канатне буріння є вельми ефективним та економічним для закарстованих та дуже міцних порід (з коефіцієнтом міцності по Протод'яконову ≥ 16). Воно краще забезпечує заданий вертикальний напрямок свердловин ніж обертальне буріння, але не дозволяє проходити нахилені свердловини.

В скельних породах частіше застосовують обертальне колонкове буріння, яке дозволяє отримувати свердловини в будь-якому напрямі, навіть знизу вгору, з чистими гирлами тріщин та гладенькими стінками.

Діаметр свердловин обирають у відповідності з їх глибиною, а також з умов забезпечення пропускання необхідних витрат розчину для ін'єкції. При рівних тисках нагнітання поглинання цементного розчину крізь свердловини великого діаметру значно вище, ніж через свердловини малого діаметру. Однак цементні суспензії зберігають однорідність тільки при перемішуванні або русі з швидкостями, які виключають випадіння твердої складової – седиментацію. У свердловинах великого діаметру при тривалій ін'єкції може відбуватися седиментація, яка приведе до перекриття гирл тріщин у нижній частині зони цементації та якщо ці тріщини не будуть заповнені розчином при ін'єкції сусідньої свердловини, – до порушення суцільності завіси. Седиментація зменшується при нагнітанні розчину через свердловини малого діаметру. Оскільки обсяг стовбуру свердловини малого діаметру та обсяг розчину, що в ній знаходиться незначний, то навіть при малому поглинанні розчину породою відбувається швидке заміщення розчину в свердловині новими порціями. В цьому випадку швидкість руху розчину і, відповідно, інтенсивність його переміщення достатньо великі, що виключає випадіння часток.

Седиментація (осадження) — направлений рух часток в полі дії гравітації або відцентрових сил разом з рідиною або газом. Швидкість седиментації залежить від маси, розміру, форми та щільності речовини частки, а також від в'язкості та щільності середовища, а також від прискорення вільного падіння або діючих на частинку відцентрових сил. У гравітаційному полі седиментують досить великі частинки, не схильні до теплового (броунівського) руху; в полі відцентрових сил можлива седиментація колоїдних частинок і макромолекул – молекул природних і синтетичних полімерів. Седиментацію використовують у промисловості для аналізу мінеральних дисперсних продуктів при збагаченні корисних копалин, розділенні продуктів хімічної та нафтохімічної технології, для очищення та гідравлічної класифікації різних порошкоподібних матеріалів.

Діаметр цементацийних свердловин орієнтовно може призначати у наступних межах, мм:

– при перфораторному бурінні – 35 – 56

При інших способах буріння, мм:

– в зонах цементації – 46 – 76

– в нецементуємій товщі – 76 – 89

2.2.5 Підготовка свердловин та породи до цементації

Підготовка до цементації включає наступні роботи: видалення шламу із свердловин, промивання тріщин, обстеження поверхні стінок свердловин та пробне нагнітання води за зонами.

Видалення шламу здійснюється промиванням водою в процесі буріння (так звана зворотна промивка) і після його закінчення.

Тріщини породи, які цементуються, майже завжди заповнені глиною, дрібнозернистим піском та іншими матеріалами. Заповнювач тріщин перешкоджає розповсюдженню цементного розчину та отриманню цементації доброї якості. Тому зазвичай передбачено промивання тріщин водою або водою з повітрям перед початком ін'єкції розчину. Тріщини у поодиноких свердловин промивають циркуляційним способом. Промивання можна здійснювати і крізь групу свердловин (дві – чотири), коли останні перетинають систему взаємозв'язаних тріщин. При цьому в свердловинах, які пройдені на відстані 1 – 2 м одна від одної, ізолюють одну й ту ж зону. Промивну воду нагнітають крізь одну з свердловин, а виливання її відбувається крізь відкрите гирло другої. Всі інші свердловини в цей час щільно закриті зверху заглушками, які накручені на труби. Аналогічно роблять з іншими свердловинами цієї групи.

Послідовне або одночасне нагнітання в свердловину води та повітря збільшує розмивний ефект потоку, прискорюючи тим самим видалення відкладень з тріщин.

При наявності 3-х тріщин в групі промивання здійснюють зазвичай таким чином: в одну нагнітають воду, в другу – повітря. А третю залишають відкритою для виливання промивної води. При наявності у групі 4-х свердловин повітря нагнітають зазвичай у дві з них.

Промивання тріщин слід вести до висвітлення зворотної води, або до отримання незмінної при постійному тиску витрати води, що вказує на припинення розмиву шламу або заповнювача у тріщинах.

Тиск при промиванні не повинен викликати значних переміщень породи та утворення нових тріщин. Невизначеність та змінність властивостей породи не дозволяє попередньо розрахувати безпечний тиск. Тому промивання тріщин на кожній ділянці свердловини рекомендовано вести при декількох ступенях послідовно збільшуваного тиску, наприклад при 0,2; 0,4; 0,6; 1; 1,5 МПа тощо.

Для визначення місця розташування тріщин по закінченні їх промивання поверхня стінок обстежується за допомогою звичайного перископу, або перископом з фотоапаратом у необводнених свердловинах та механічним тріщиношукачем або щупом у обводнених свердловинах.

2.2.6 Тиск нагнітання

Цементацію слід проводити при максимально припустимому тиску, бо високий тиск є важливою умовою отримання високоякісної завіси. Високий тиск полегшує видалення надлишкової води у момент тужавіння цементного розчину, розширюючи занадто вузькі тріщини, роблячи їх доступними для заповнення цементним розчином, покращує заповнення тріщин цементом, дозволяє отримати більш щільний цементний камінь та збільшує зчеплення осаду із стінками тріщин. Крім того, при високому тиску збільшується радіус розповсюдження розчину за тріщинами, дозволяє скоротити обсяг буріння. Часто ін'єкція цементного розчину при відносно невеликому тиску (1–2 МПа) приводить до негайної відмови у разі закоркування гирл тріщин частками цементу. Застосування великого тиску як би розриває ґрунт, розкриваючи при цьому раніше існуючі тонкі тріщини та забезпечуючи проникання до них цементного розчину.

Для забезпечення високої якості протифільтраційної цементаційної завіси слід нагнітати розчин при тиску не менш 5 – 6 МПа. При більш низькому тиску потрібно наближувати свердловини.

2.2.7 Визначення глибини та товщини протифільтраційної завіси

Глибина закладання протифільтраційної завіси в основі гідроспоруд визначається в залежності від фільтраційних властивостей порід, які складають основу, значення напору на споруду та вимог, які висувають до захисту від фільтрації та суфозії, та до зменшення протитиску на споруду.

Раніше існувала думка, що глибина завіси повинна призначатися як деяка однозначна функція величини напору і для більшості випадків може складати $0,4 - 0,6 H$. Практика гідротехнічного будівництва виключає це положення. Глибина завіс в залежності від інженерно-геологічних умов основи може коливатися у широких межах, досягаючи значень від $1,0$ і навіть $2,5 H$ (останнє для карстових порід).

При значній товщі водопроникнених порід рекомендується протифільтраційну завісу доводити до покрівлі водоупорних порід (практично з деяким заглиблення у них).

При глибокому заляганні водоупорних порід або при відсутності даних о положенні водоупору протифільтраційну завісу в руслі річки рекомендується доводити в основі високо напірних споруд до порід з питомим водопоглинанням $0,03 - 0,05$ л/хвил, а в основі середньо-та низьконапірних споруд – до порід з питомим водопоглинанням $0,05 - 0,1$ л/хвил. При цьому слід мати на увазі, що водопроникненість тіла завіси в верхніх ярусах повинна бути передбачена менш високою, ніж у нижніх, а саме $0,01 - 0,03$ л/хвил для виключення для середньо та низьконапірних споруд.

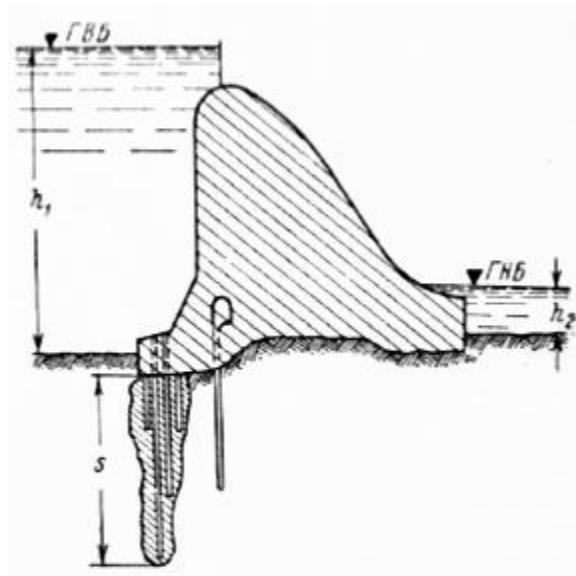


Рисунок 12 – Цементна завіса ярусного устрою

2.2.8 Метод струменевої цементації

Утворення протифільтраційних завіс в основі греблі є складною задачею. В процесі її вирішення перш за все стикаються із питанням вибору способу влаштування завіси. При цьому першочергове значення мають інженерно-геологічні характеристики основи, тип греблі, яка зводиться та інші фактори.

Попередній досвід застосування завіс в алювіальних ґрунтах свідчить про те, що технології, які застосовуються в останній час, такі як ін'єкційні (цементацийні) завіси, хімічне ущільнення за допомогою силікатизації, застосування полімерних розчинів, спосіб «стіна у ґрунті», вельми трудомісткі та потребують значних матеріальних витрат. Це пов'язано в першу чергу з тим, що для забезпечення необхідної щільності ін'єкційних композицій (до 0,5–0,6 м), потребується великий обсяг бурових робіт, використання для нагнітання спеціальних манжетних колон та інше. Спосіб «стіна у ґрунті» потребує застосування важкого обладнання, яке дорого коштує, його доцільно застосовувати при влаштуванні завіс відносно невеликої глибини при значній протяжності споруди.

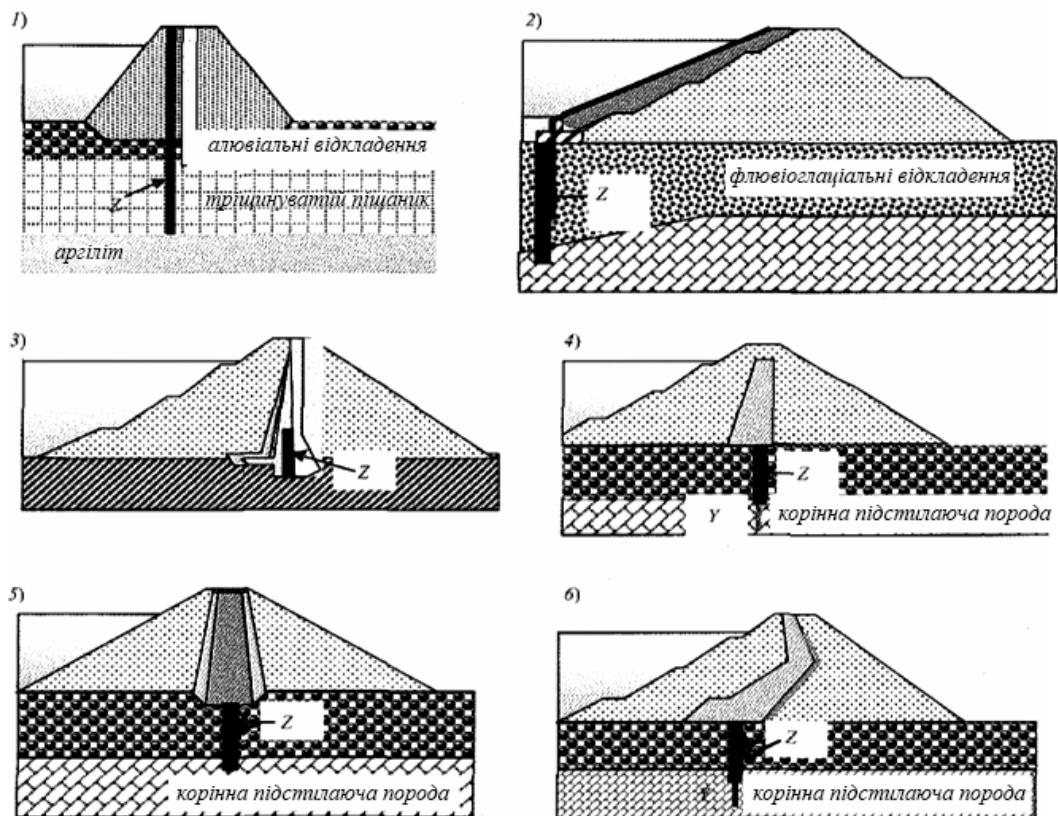


Рисунок 13 – Поперечні перерізи гребель, в яких протифільтраційні завіси виконані методом струменевої цементації:

Z – завіси, виконані методом струменевої цементації, Y – цементацийна завіса у корінних підстилаючих породах;

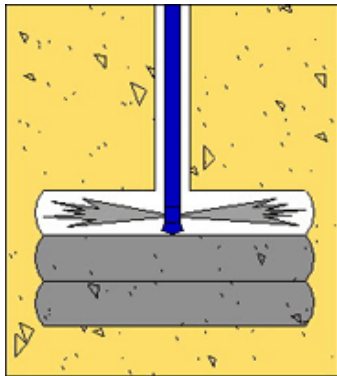
1 – Бромбах (Німеччина), 2 – Форколетта (Італія), 3 – Сосе (Німеччина), 4 – Тіка – (Кенія), 5 – Кодбек (Велика Британія), 6 – Етан (Китай).

В останні роки у гідротехнічному будівництві отримав розповсюдження ще один метод створення протифільтраційних завіс (стінок) – метод струменевої цементації.

Технологія струменевої цементації ґрунтів з'явилася практично одночасно у трьох країнах – Японії, Італії та Англії. Освоєння струменевої цементації в колишньому СРСР почалося у 1976–1982 р.

В гідротехнічному будівництві за кордоном цей метод часто застосовували в останні 10–15 років як при будівництві нових ґрунтових гребель, так і при ремонті вже збудованих. Такими об'єктами є греблі Джон Харт (Канада), Пергау (Малазія), Тіка (Кенія), Сайнт Маргуєріта-3 (Турція), Етан та Сіалонгді (Китай), Падулі, Суіо Руф та Форколетта (Італія), Сосе (Німеччина) та інші.

2.2.9 Сутність технології струменевої цементації



Сутність технології полягає у використанні енергії високонапірного струменя цементного розчину для руйнування та одночасного перемішування ґрунту з цементним розчином в режимі «mix-in-place» (перемішування на місці).

Після твердіння розчину утворюється новий матеріал – ґрунтобетон, який має високі міцнісні та деформаційні характеристики.

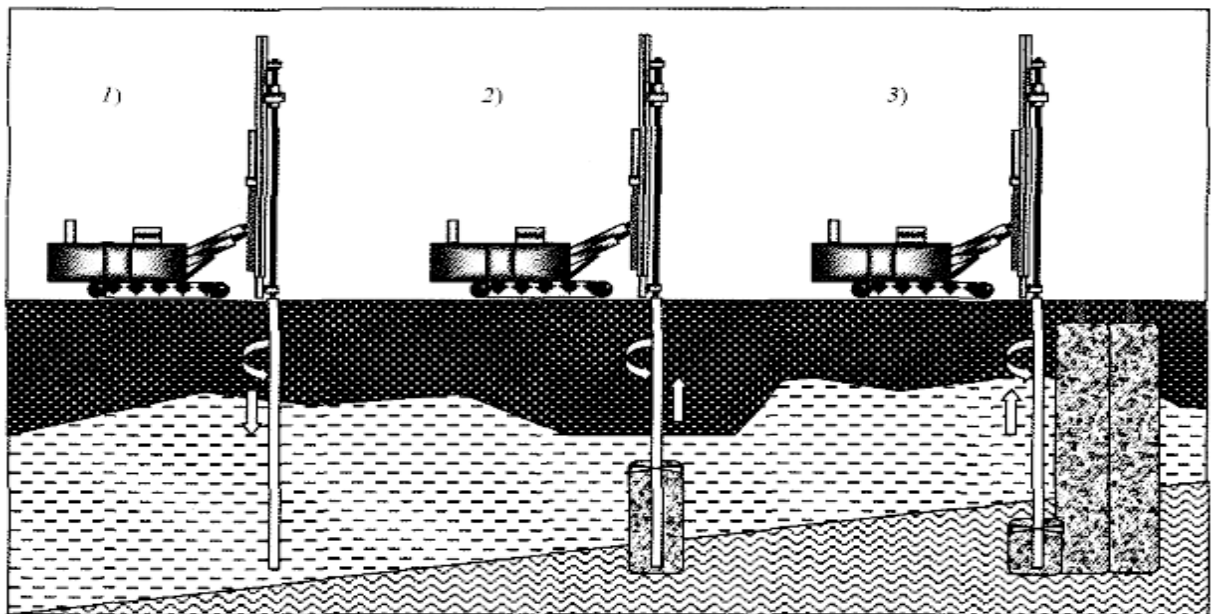


Рисунок 14 – Схема виконання робіт методом струменевої цементації:

- 1 – буріння свердловини (прямий хід), 2 – влаштування в ґрунті квазіциліндричного елемента з ґрунтобетону (зворотний хід),
- 3 – влаштування в ґрунті суміщених колон – стіни у ґрунті.

Переваги технології у порівнянні з іншими технологіями:

– у порівнянні з традиційними технологіями ін'єкційного закріплення ґрунтів струменева цементація дозволяє закріплювати практично *увесь діапазон ґрунтів* – від гравійних відкладень до дрібнодисперсних глин та мулів.

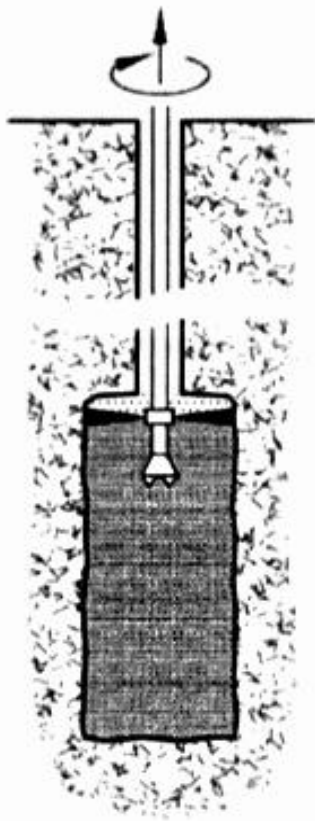
– другою важливою перевагою технології є надзвичайно висока передбачуваність результатів укріплення ґрунтів. Це дає можливість вже на етапі проектування та заключення підрядних договорів достатньо точно розрахувати геометричні та міцнісні характеристики створюваної підземної конструкції.

2.2.10 Основні різновиди струменевої цементації

Струменева цементація:

- однокомпонентна технологія (Jet 1);
- двокомпонентна технологія (Jet2);
- трьохкомпонентна технологія (Jet 3).

Однокомпонентна струменева цементація (Jet1)



Однокомпонентна струменева цементація (Jet1) характеризується розмиванням, перемішуванням та закріпленням ґрунтів виключно струменем цементного розчину. В цьому випадку можливо досягнення діаметра колони обробленого ґрунту у межах 0,4 – 0,8 м.

Як правило, цементний розчин має водоцементне співвідношення $ВЦ = 0,8 - 1,0$. Однокомпонентна струменева цементація найбільш проста у виконанні, потребує мінімального комплекта обладнання, однак діаметр отриманих паль також є найменшим у порівнянні з іншими варіантами технології.

У глинистих ґрунтах діаметр ґрунтоцементних паль не перевищує 600 мм, а у піщаних ґрунтах діаметр паль складає 700–800 мм.

Двокомпонентна струменева цементація

Повітряна система. Коли струмінь цементного розчину вміщується усередину струменя стиснутого повітря і за рахунок цього енергія розмиву суттєво зростає. В цьому варіанті для збільшення довжини водоцементного струменя використовують енергію стиснутого повітря. Для роздільного подавання в монітор цементного розчину та стиснутого повітря застосовують подвійні порожнисті штанги. За внутрішніми штангами подають цементний розчин, а за зовнішніми – стисле повітря.

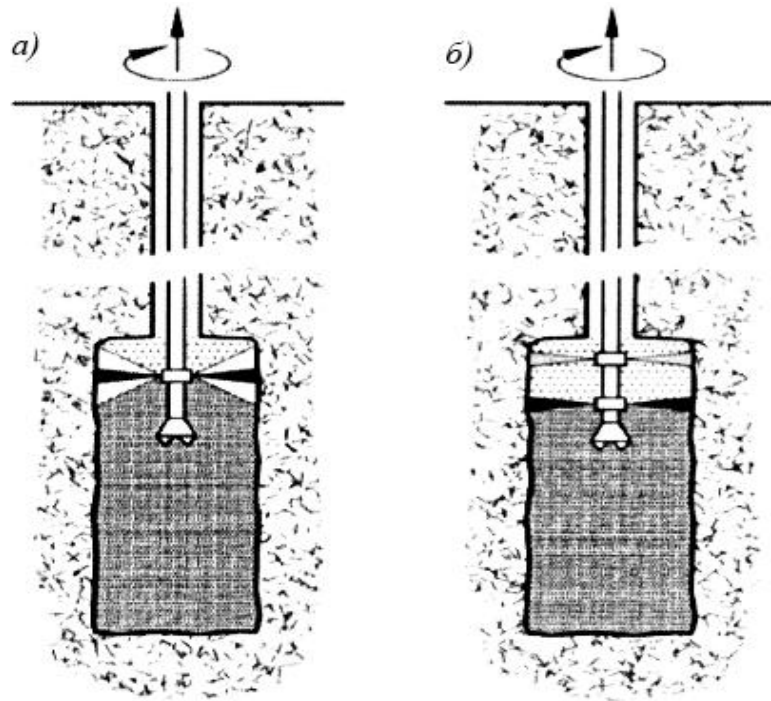
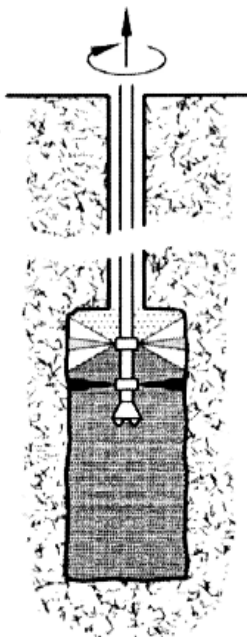


Рисунок 15 – Двокомпонентна технологія (Jet2):
а) повітряна система; б) водна система

Водна система. В цьому варіанті за допомогою окремого струменя води при обробці ґрунтів використовується режим попереднього розмивання.

Можливо досягнення діаметра колони обробленого ґрунту у межах 0,8 – 1,8 м. Діаметр паль, які отримують за цією технологією, в глинах досягає 1200 мм, а у пісках – 1500 мм. При виконанні протифільтраційних завіс додатково у розчин додається бентонітовий порошок у межах 2% від маси цементу, який використовується.

Трьохкомпонентна струменева цементация (Jet3)



Трьохкомпонентна струменева цементация (Jet3) характеризується розмивом, перемішуванням та закріпленням ґрунтів за допомогою трьох струменів. Струмінь води розташовується всередині струменю стиснутого повітря та подається через верхнє сопло, що дозволяє не тільки збільшити енергію розмивання, але й використовувати відомий ефект «ерліфту» для виносу на поверхню легких часток ґрунтів, які розмиваються. Струмінь цементного розчину подається через нижнє сопло та слугує для перемішування розмитих, як правило, важких часток ґрунтів. Перевагами даного варіанта є отримання колон з чистого цементного розчину. До недоліків слід віднести складність технологічної схеми, що

потребує застосування потрійних штанг, а також додаткового технологічного обладнання. При трьохкомпонентній струменевій цементації можливо досягнення діаметра колони ґрунту, що обробляється в межах 0,8 – 2,0 м.

Ламінарна струменева цементація

Ламінарна струменева цементація – це формування вертикальних та похилих панелей з обробленого ґрунту шириною 2,5 – 4,5 м та товщиною 5 – 10 см.

Обробка ґрунтів ламінарною цементацією виконується з гребнею насипів та дамб в їх товщі під кутами до вертикалі, більш крутішими, ніж кути нахилу їх відкосів. При цьому формуються в ґрунті нахилені діафрагми, які змикаються під гребенями насипів та дамб. За необхідністю для дамб з боку дзеркала води в їх основі влаштовуються ще й вертикальні протифільтраційні завіси з січних ґрунтоцементних колон, які виконані вищеописаним способом.

Протифільтраційні завіси (ПФЗ), які виконуються струменевим методом, утворюються за рахунок січних колон, зведених в один або декілька рядів, або з використанням панелей, які отримують при ламінарній цементації.

При ламінарній струменевій цементації підйом монітору здійснюють без обертання і струмінь працює в одному напрямі. Товщина панелей в залежності від складу ґрунту та технологічних параметрів складає 5 – 30 см.

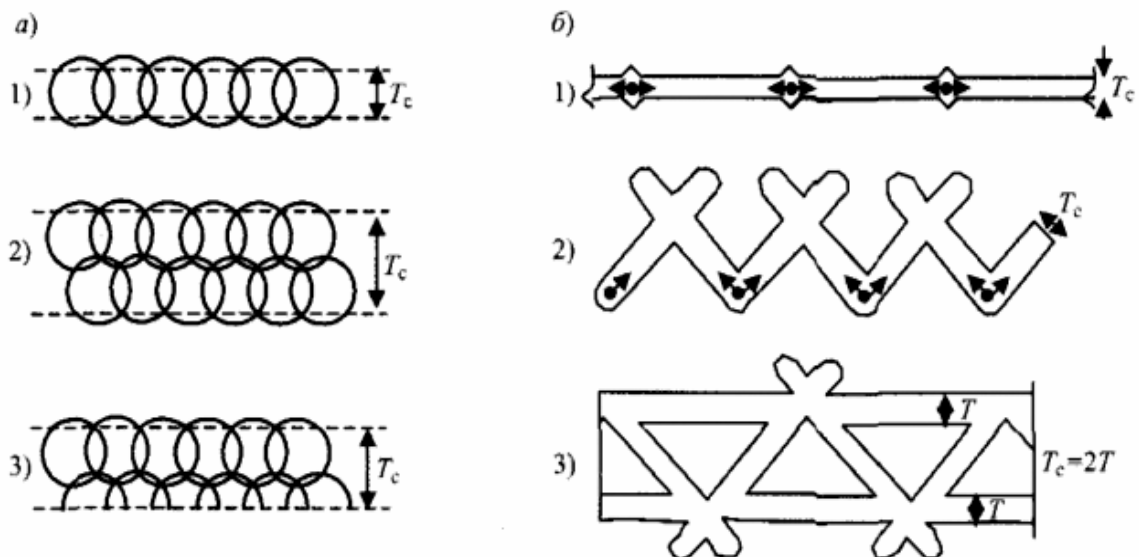
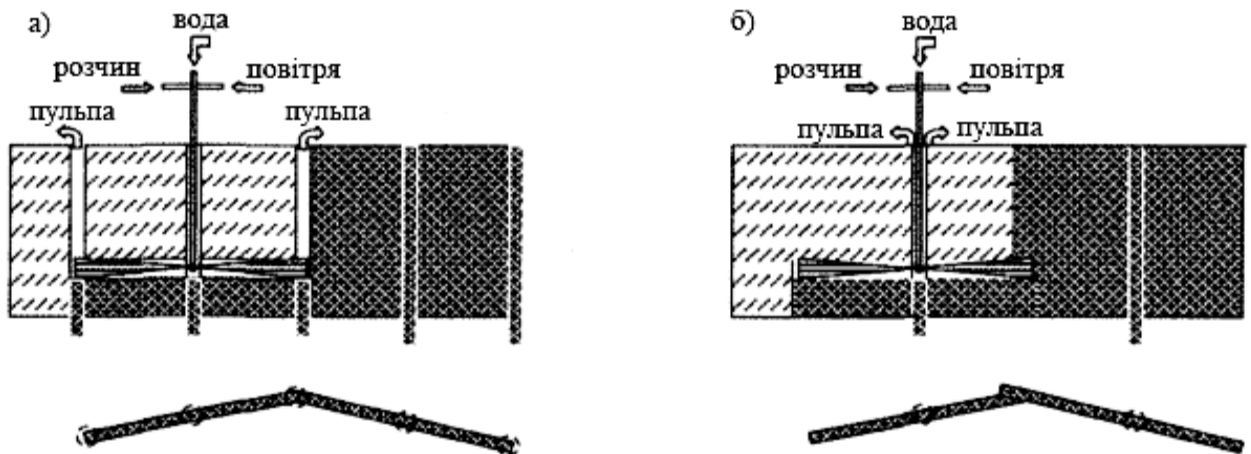


Рисунок 16 – Типові ряди колон та панелі, які виконані струменевим методом:

а – колони, 1 – один ряд, 2 – два ряди, 3 – півтора ряди; *б* – панелі, 1 – поодинокі лінійна, 2 – поодинокі, виконані у нахльостування, 3 – подвійна ніздрювата (T_c – ефективна товщина завіси)

Ламінарна струменева цементация може бути виконана у двох варіантах – по крізній та тупиковій схемі.



зображення 17 – Крізна (а) та тупикова (б) схеми влаштування протифільтраційних завіс (ламінарна струменева цементация)

Ламінарна струменева цементация здійснюється багатьма західними компаніями при формуванні протяжних протифільтраційних споруд. В Японії тонкі панелі виконують за допомогою трьохкомпонентної технології. Максимальна довжина однієї секції, спорудженої за крізною схемою, складає 1,25–1,8 м.

Європейські компанії споруджують плоскі панелі, як правило, за однокомпонентною технологією та за тупиковою двобічною схемою. При чому довжина однієї секції не перевищує 0,6 м. Так, німецькою компанією „ГНК Келлер” на греблі Сосе (Німеччина) була виконана протифільтраційна мембрана, яка примикала за всією боковою поверхнею до раніш спорудженої неякісної бетонної діафрагми в тілі земляної греблі. Товщина двобічних січних секцій мембрани була 20 см, максимальна глибина – 55 м. На спорудження мембрани витрачено 550 т цементу та 93 т бентоніту. Коефіцієнт фільтрації мембрани склав $1,3...3,3 \cdot 10^{-7}$ см/с. У разі спорудження мембрани витрати води крізь діафрагму зменшилися на 87–92%.

За допомогою струменевої технології формують також завіси, які відіграють роль не тільки протифільтраційного, але й антисейсмічного захисту. Подібні роботи були виконані в Канаді у 1987 році при реконструкції греблі Джон Харт. Гребля Джон Харт представляє собою комбіновану конструкцію, яка включає залізобетонну, гравітаційну та насипну споруду. Вона була побудована у 1946 році в 5 км від гирла р.Кемпбелл.

Виходячи з високої сейсмічності регіону існувала небезпека розрідження слабких ґрунтів в основі греблі внаслідок сейсмічної дії і, як наслідок, аварійного утікання води з водосховища. Ґрунти в основі греблі були представлені дельтовими відкладеннями з низьким зчепленням, нижче

розташовувався шар піщано-гравійних ґрунтів, а нижче водоупорний піщано-суглинистий шар. Водоупор розташовувався на глибині 50 м від підосви бетонної дамби.

Спорудження завіси включало наступні етапи:

– буріння свердловин скрізь тіло греблі висотою 23 м та занурення напрямних труб до підосви фундаментної плити;

– виконання подвійного ряду ґрунтобетонних колон з утворенням протифільтраційної та антисейсмічної завіси площею 1980 м².

Усі роботи виконували без припинення функціонування гідроелектростанції та без пониження води у водосховищі. При цьому завдяки спеціальним технічним рішенням ризик великої втрати води був повністю виключений.

Застосовувалася однокомпонентна технологія. Склад розчину включав 12% цементу та 4% бентоніту за масою, що забезпечувало пружні властивості завіси та виключало її руйнування при сейсмічних діях.

Усього було виконано 203 ґрунтобетонні колони. Довжина ґрунтобетонної завіси склала 60 м, висота ґрунтобетонних колон – 114 м, діаметри ґрунтобетонних колон – 80 см. Відстань між вісями рядів ґрунтобетонних колон прийнято 60 см, а між центрами колон – 625 мм.

Таблиця 3 – Параметри технологічного контролю

Параметри технологічного контролю	Метод			
	Одно-компонентний	Двокомпонентний (повітряна система)	Двокомпонентний (водна система)	трьохкомпонентна
Діаметр сопл для ін'єкцювання, мм	1,5–4	2–4	2–4	2–4
Кількість сопл, шт	1–2	1–2	1–2	2–4
Тиск подавання розчину, МПа	35–45	35–45	5–8	5–8
Витрати розчину, л/хвил	50–150	50–180	50–100	50–100
Тиск подавання води, МПа	–	–	40–60	40–60
Витрати води, л/хвил	–	–	80–120	80–120
Тиск подавання повітря, МПа	–	0,7–1,7	–	0,7–1,7
Витрати повітря, м ³ /хвил	–	8–12	–	8–12
Швидкість підйому монітора, см/хвил	25–50	15–25	4–7	4–7
Частота обертання монітору, об/хвил	10–30	7–15	3–10	3–10
Водоцементне відношення, за вагою	1,5–0,8	1,5–0,8	1,5–1,2	1,5–1,2

2.3 Бітумізація основ гідротехнічних споруд

Розрізняють два види бітумізації – *гарячу* та *холодну*.

Гарячу бітумізацію застосовують для поліпшення основ, які складені тріщинуватою скелею, гравійно-галечниковими та піщаними ґрунтами, шляхом утворення в них протифільтраційних завіс в випадках, коли значні швидкості фільтрації ґрунтових вод або значна їх агресивність перешкоджають застоюванню цементациї. Бітумні мастики або асфальтові розчини, що нагнітаються при гарячій бітумізації в основу крізь свердловини розігрітими до рідко-текучого стану, розтікаючися від свердловин, потрапляють у тріщини та пори порід, замінюючи в них повітря та воду, і поступово охолоджуючися перетворюються на твердий малопластичний матеріал.

Остигання бітуму у великих тріщинах та порожнинах відбувається повільно, тому що у бітума слабка теплопровідність, і тому радіус розповсюдження значний.

У цього способу є один значний *недолік*. Він полягає у тому, що на протязі наступного часу за наявності ґрунтових вод спостерігається видавлювання бітуму з тріщин.

Досвід застосування гарячої бітумізації показав також, що виходячи із значної в'язкості навіть розтоплений бітум не може повністю заповнити тріщини з розкриттям менше 1 мм, а радіус бітумізації коливається від 0,75 до 1,5 м, хоча водонепроникненість повністю не знімається.

Всі ці явища призвели до того, що спосіб гарячої бітумізації став застосовуватися достатньо рідко і в гідротехнічному і в промисловому будівництві.

Для надання водонепроникненості піщаним ґрунтам був розроблений спосіб *холодної бітумізації*. Цей спосіб доцільно використовувати в тих випадках, коли потрібно надати ґрунту тільки водонепроникненість. В Радянському Союзі спосіб холодної бітумізації був успішно застосований при влаштуванні водонепроникненої завіси Мінгечаурської греблі. За наявності інших способів, наприклад силікатизації та смолізації, спосіб бітумізації не так широко застосовується, тому, що технологія приготування бітумної емульсії значно складніше технології приготування розчинів для силікатизації та смолізації.

Холодну бітумізацію застосовують при влаштуванні протифільтраційних завіс для ущільнення дрібнотріщинуватих скельних порід та піщаних ґрунтів. Бітумну емульсію за холодної бітумізації виготовляють шляхом диспергування бітуму (до 50%) та змішування його з водним розчином емульгатора (гашене вапно, глина, трепел, суглинок тощо). Емульгатор огортує роздрібнені частки бітуму та попереджає їх коагуляції та випадінню. Завдяки високому ступеню диспергування (до 1–3 мкм) бітумна емульсія потрапляє в дуже тонкі тріщини. Під дією електролітів, які вводяться у емульсію, вона коагулюється у тріщинах, де бітумні частки

випадають в осад, та тампонує порожнини масива. У якості коагулянтів використовують розчини хлориду натрію, кальцію та соляної кислоти.

Дисперсна система – це суміш, що складається як мінімум з двох речовин, які абсолютно або практично не змішуються одна з одною і не реагують одна з одною хімічно. Перша з речовин (дисперсна фаза) дрібно розподілена в другій (дисперсійна середа). Фази можна відокремити одну від одної фізичним способом (центрифугувати, сепарувати і т.д.).

Коагуляція (від лат. *coagulatio* – згортання, згущення), так само старіння – об'єднання дрібних частинок дисперсних систем в більші під впливом сил зчеплення. Веде до випадання з колоїдного розчину пластівчастого осаду або до застигання. *Коагуляція* – природний, мимовільний процес розшаровування колоїдного розчину на тверду фазу та диспергатор.

Влаштування бітумної протифільтраційної завіси включає наступний комплекс робіт: буріння та обладнання свердловин, випробовування їх на питоме водопоглинання, приготування бітумних мастик, асфальтових розчинів та емульсій. Нагнітання їх під тиском у ґрунт та контроль якості робіт.

Переріз свердловин повинен забезпечувати необхідні витрати матеріалу, який ін'єкціюють. Зазвичай їх діаметр призначають у межах 66 – 115 мм.

Відстань між свердловинами у скельних породах орієнтовно можна прийняти за рекомендаціями Б.П. Шрейбера (таблиця 4):

Таблиця 4 – Відстань між свердловинами у скельних породах

Розкриття тріщин, мм	>20	20–10	10–5	5–2	< 2
Відстань між свердловинами, м	4–2	3–2	2–1	1–0,8	0,8–0,5

В скельних ґрунтах з розкриттям тріщин до 60 мм при середньому тиску нагнітання 0,8–1 МПа та максимальному тиску до 2,5 МПа радіус розповсюдження бітуму складає 6–10 м, а при розкритті тріщин до 2,5–3 мм при середньому тиску 0,8 – 1,5 МПа та максимальному тиску до 3 МПа цей радіус складає 2,5 – 3 м. Замулені гравійно-галечникові відкладення бітумізуюються за тиском 0,5 – 0,6 МПа з радіусом розповсюдження бітуму до 1,75 м.

Бітум перед початком нагнітання розігрівають у спеціальних котлах до рідинно-текучого стану при температурі 200°C. При варці бітум зневоднюється. До свердловини бітум подається плунжерним насосом, що розвиває тиск до 12 МПа.

Розрізняють первинне та півторне нагнітання бітуму. Оскільки при остиганні та твердінні бітуму у тріщинах його обсяг зменшується на 8 – 11%,

бітум нагнітають з перервами – в декількох прийомів та циклів, з попереднім прогріванням перед кожним циклом. Проведені дослідження показали, що слід здійснювати нагнітання не менш ніж у три цикла, а іноді навіть у сім циклів з загальною тривалістю 18–25 годин, а при розкритті тріщин до 2,5–3 мм тривалість нагнітання потрібно збільшувати до 30 годин.

Півторне нагнітання виконують після перерви на протязі якої бітум у тріщинах остигне та відбудеться його усадка.

Для надання бітумній завісі механічної міцності та теплостійкості слід нагнітати замість чистого бітуму бітум з домішкою мінеральних наповнювачів та вапняка, доломіту, цементу (при бітумізації тонких тріщин) або дрібного піску (при бітумізації крупних тріщин).

У процесі бітумізації ведуть безперервний контроль за якістю її виконання, враховують та співставляють з розрахунковим кількість матеріалу, що ін'єкціюється у свердловину, а також кількість повторних нагнітань у кожному свердловині.

2.4 Глинизація основ гідротехнічних споруд

Спосіб глинизації був розроблений у Радянському Союзі у 1931 році та успішно застосований для заповнення порожнин при проходці шахт на Уралі та в інших районах де зустрічалися закарстовані вапняки.

На відміну від цементації глинизація може застосовуватися для заповнення карстових порожнин *тільки у сухих породах*, здатних після нагнітання вбирати з них воду. У зв'язку з цим, після заповнення порожнин розчин повинен знаходитися на протязі декількох діб під гідравлічним напором. Прикладом успішного застосування цього методу є глинизація закарстованої гірської гряди довжиною біля 3 км, яка розташована уздовж берега створюваного в той час Меденського водосховища.

Глинизацію застосовують для ущільнення тріщин та порожнин гірських порід у якості постійної та тимчасової міри в випадках, коли влаштування цементаційних завіс недоцільно із-за значного водопоглинання цементного розчину та можливих втрат його у крупних тріщинах, кавернах та карстових порожнинах, коли тріщини й полості заповнені глинистим матеріалом, який важко піддається видаленню при промиванні, а також при наявності агресивних ґрунтових вод.

При глинизації у тріщини та порожнини крізь систему свердловин під великим тиском нагнітають глинистий розчин (суспензію) щільністю 1200 – 1400 кг/м³. Під дією високого тиску відбувається віджимання води з суспензії, опресування та ущільнення осаду. Крім того глинисті частки, набухаючи, поліпшують тампонування тріщин (пустот) та знижують тим самим водонепроникність порід.

Вартість робіт по глинизації гірських порід нижче вартості їх цементації, однак глинисті протифільтраційні завіси менш довговічні.

Можливість здійснення глинизації визначається наявністю в глинистій суспензії кольматуючих часток, здатних проникнути під тиском до порожнин гірської породи.

Кольматацією називається процес заповнення порового простору дрібними (пиловатими та глинистими) частками, які знаходяться в зваженому поляганні у воді, що фільтрується, результатом якого є зменшення активної пористості ґрунтів і матеріалів і різке зниження фільтраційних властивостей.

Для глинизації крупнозернистих пісків, а також тріщинуватих та з кавернами порід рекомендується застосовувати суглінки та полімінеральні тощі глини каолінового або гідролюдистого складу (таблиця 5):

Таблиця 5 – Суглінки та полімінеральні тощі глини каолінового або гідролюдистого складу

Розмір часток, мм	0,01 – 0,05	0,05 – 0,005	< 0,005
Склад фракцій, %	< 40	35 – 65	15 – 30

При цьому часток менше 0,001 мм повинно бути не більш 10%. Крім того бажано, щоб у глинах були відсутні гіпс та карбонати. Не рекомендуються для глинизації жирні високопластичні тонкодисперсні гідрофільні глини монтмориллонитового складу, тому що вони погано віддають воду у ряді випадків мають тиксотропні властивості.

Концентрацію глинистих розчинів підбирають в залежності від характеру та розміра тріщин та порожнин. Орієнтовно її можна прийняти у наступних межах (таблиця 6):

Таблиця 6 – Концентрація глинистих розчинів

Питоме водопоглинання породи, л/хвил	< 0,1	0,1 – 3	> 3
Щільність глинистого розчину кг/м ³	1100 – 1250	1250 – 1400	1400 – 1600

Глинистий розчин ін'єкціюють в гірські породи під тиском 1,5 – 3 МПа та більше крізь ряд пробурених з певним кроком свердловин в масиві, який закріплюється. За шляхом руху розчину глинисті частки випадають з нього, тампонує порожнини у породі.

Для прискорення осадження глинистих часток з розчину в нього в процесі приготування або ін'єкції додають коагулятори, наприклад, хлорний кальцій в кількості 5% маси сухої глини або рідке скло в кількості 2% її маси.

Крім того, коагулятори знижують в'язкість розчину, полегчуючи проникнення в тонкі тріщини.

2.5 Силікатизація ґрунтів

Силікатизація є хімічним способом зміцнення піщаних та лесових ґрунтів неорганічними в'язучими. Полягає у нагнітанні крізь систему забитих у ґрунт перфорованих трубок розчину силікату натрію (рідке скло) у поєднанні з розчинами затверджувачів. У разі хімічної реакції між цими розчинами виділяється гель кремнієвої кислоти, який заповнює пори ґрунту та перетворює його у зв'язний, достатньо міцний водонепроникнений та водостійкий масив.

Цей спосіб дозволяє надійно з заданою міцністю закріплювати сухі та водонасичені піщані ґрунти з коефіцієнтом фільтрації більш 0,1 м/добу та лесові просадочні ґрунти з вологістю до 16 %.

Межа міцності на стиск закріплених силікатизацією піщаних ґрунтів може бути доведена до 4 – 6 МПа, а лесових – до 0,8 – 2,5 МПа. Останні втрачають при цьому здатність до просадок.

Зараз застосовують два методи силікатизації – однорозчинний та дворозчинний.

При однорозчинному методі у лесові ґрунти нагнітають чистий розчин силікату натрію (у піщані ґрунти – суміш з розчинів силікату натрію та фосфорної кислоти або силікату натрію, сірчаної кислоти та сернокислого алюмінію). Цей метод застосовують для влаштування завіс у дрібних та пильоватих пісках з коефіцієнтом фільтрації від 0,5 до 5 м/добу та в розташованих вище рівня ґрунтових вод лесових ґрунтах з коефіцієнтом фільтрації від 0,1 до 2 м/добу.

При дворозчинному методі у ґрунт нагнітають послідовно або одночасно рідке скло та розчин хлористого кальцію. Цей метод застосовують для зміцнення та ущільнення ґрунтів з коефіцієнтом фільтрації від 2 до 80 м/добу. Нижня межа відноситься до дрібнозернистих пісків, верхня – до великозернистих піщано-гравелистих ґрунтів.

2.5.1 Силікатизація дворозчинним методом

Хімічна сутність дворозчинної силікатизації, необхідні реагенти та технологія були встановлені ще у 1931 році дослідями, проведеними під керівництвом Б.А. Ржаніцина.

Процес заповнення пор та зміцнення піску відбувається за наступною схемою. Рідке скло, що нагнітається до свердловини, заповнює пори ґрунту, витискаючи з них воду. При цьому рідке скло розбавляється водою, та його концентрація зменшується. Розчин хлористого кальцію, який потім нагнітається до свердловини, витісняє з пор рідке скло, за виключенням тонких плівок його навкруги мінеральних часток. У разі реакції між рідким

склом та розчином хлористого кальцію на межі розділу цих рідин утворюється плівка гелю кремнієвої кислоти. Крізь цю плівку з рідкого скла дифундує луга, яка взаємодіє з хлористим кальцієм, утворюючи гідрат окислу кальція та хлористий натрій. Цей процес за даними Б.А. Ржаніцина та В.А. Каргіна, можна представити так:



Збіднене лугою рідке скло поступово же латинізується та цілком переходить у гідрогель кремнієвої кислоти з адсорбованим на ньому гідратом окислу кальцію. Цей процес закінчується у плівці товщиною до 1 мм лише через 10 діб.

У процесі реакції вихідних розчинів в осад випадають гель кремнієвої кислоти та окис кальцію, заповнюючи пори ґрунту, а адсорбційне поєднання кремнієвої кислоти та гідрату окислу кальцію утворює на поверхні часток піску цементуючу плівку. Хлористий натрій залишається у розчині та уноситься новими порціями розчину $CaCl_2$ у віддалені зони, частково змішуючись з ним та розбавляючи розчин силікату натрію, що приводить до поступового зменшення міцності ґрунту, який закріплюється, обмежуючи радіус закріплення.

Значення модуля закріплення визначається концентрацією рідкого скла та розчину хлористого кальцію, а також модулем рідкого скла. Із зменшенням цих характеристик радіус зміцнення ґрунту зменшується, при чому зменшення концентрації розчину хлористого кальцію та зростання кількості луги відбувається інтенсивніше у ґрунтах, які мають значну площу сумарної поверхні мінеральних часток. Тому у великозернистих ґрунтів радіус зміцнення більше ніж у дрібнозернистих.

На основі досліджень процесів дворозчинної силікатизації Б.А.Ржаніцин рекомендує визначати максимальний радіус закріплення пісків у межах застосування метода за наступною формулою:

$$R = 0,25 \cdot \sqrt[3]{k_\phi}, \quad (4)$$

де – k_ϕ коефіцієнт фільтрації піска, м/добу.

2.5.2 Силікатизація однорозчинним методом

Однорозчинну силікатизацію застосовують для зміцнення як хімічно неактивних ґрунтів – дрібних та пильоватих пісків з коефіцієнтом фільтрації 0,3 – 5 м/добу, так і для ґрунтів хімічно активних – лесів.

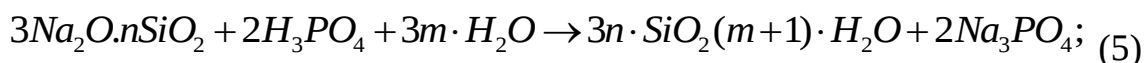
Однорозчинна силікатизація дрібних пісків була запропонована у СРСР у 1939 р. В.Е. Соколовичем. Полягає у наступному. У ґрунт крізь систему свердловин нагнітається силіказоль (колоїдний розчин) з розрахунковим часом гелеутворення, який знаходиться у стані слабозв'язаної рідини. При цьому вода витискується з пор та заміщується золем, який у подальшому

перетворюється у гель та цементуючи частки піску закріплює породу. Оптимальна тривалість гелеутворення складає 1 – 3 години.

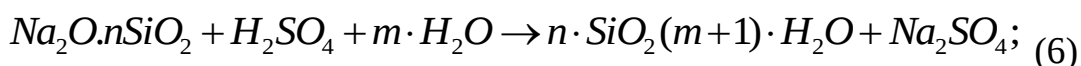
У якості коагулянта використовують сірчаноокислий алюміній, фосфору, сірчану, кремнієфтористоводородну та інші кислоти.

Реакція солеутворення за різних коагуляторів йде за наступними схемами:

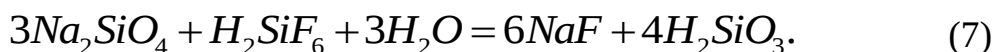
1) за використання фосфорної кислоти (пропозиція Б.А.Ржаніцина та Г.Ф.Вайсфельда):



2) за використання сірчаної кислоти (пропозиція В.Е.Соколовича та Н.Ш.Белевитиної):



3) за використання кремнієфтористоводневої кислоти (пропозиція Б.А.Ржаніцина, В.Е.Соколовича та М.Н.Ібрагімова):



Силікозоль на основі рідкого скла має в'язкість, що наближується до в'язкості води, що дозволяє ін'єкцювати її у малопроникнені піски. Межа міцності на стиск закріплюваного таким способом піску складає 1 – 4 МПа і навіть більше.

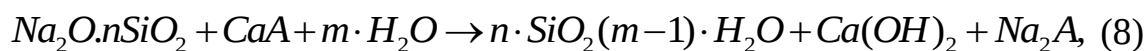
Радіус закріплення дрібних та пильоватих пісків при однорозчинній силікатизації залежить від їх коефіцієнта фільтрації та може бути рекомендован у наступних межах (таблиця 7):

Таблиця 7 – Радіус закріплення дрібних та пильоватих пісків

Коефіцієнт фільтрації, м/добу	0,3 – 0,5	0,5 – 1	1 – 2	2 – 5
Радіус закріплення ґрунту, м	0,3 – 0,4	0,4 – 0,6	0,6 – 0,8	0,8 – 1

Однорозчинна силікатизація леса була запропонована В.В.Аскалоновим як засіб боротьби з просадочністю.

Рідке скло в'язкістю 1,5 – 2 МПа добре проникає у лесовий ґрунт з розвиненою мережею мікро та макрокапілярів навіть при невеликому тиску (0,2 – 0,3 МПа). У капілярах завдяки реакції розчину з водорозчинними солями та обмінним комплексом ґрунту швидко утворюється плівка гелю кремнієвої кислоти, яка цементує лес. Роль другого розчину при цьому методі виконує сам ґрунт і особливо солі, які в ньому знаходяться, реакція з яким йде за схемою:



де A – аніонна частина солей, які присутні в ґрунті.

Плівка геля кремнієвої кислоти спочатку має мікроскопічну товщину та не перешкоджає заповненню капілярів силікатним розчином. У подальшому, через 1 – 3 діб, увесь розчин у ґрунті переходить у гель, закупорюючи капіляри. У разі чого лесовий ґрунт цементується, набуваючи міцність до 1,8 МПа та непроясочність. Додавання у рідке скло 2 – 3 % хлористого натрію підвищує розчинність гіпсу, прискорюючи тим самим гелеутворення (у 2 – 3 рази) та інтенсифікуючи процес силікатизації леса.

Незважаючи на малу товщу плівки геля кремнієвої кислоти, вона вже у початковий період насичення ґрунту розчином забезпечує збереження його природного стану.

Міцність леса особливо інтенсивно зростає на протязі перших 15 – 30 діб.

Оскільки концентровані розчини погано проникають у лес, для його силікатизації застосовують розчини з в'язкістю, яка наближується до води. Таку в'язкість має рідке скло з щільністю 1300 кг/м³ з модулем 2,5 – 3.

Радіус закріплення леса R залежить від його коефіцієнта фільтрації та орієнтовко може бути прийнятий у наступних межах (таблиця 8):

Таблиця 8 – Радіус закріплення леса R

Коефіцієнт фільтрації, м/добу	0,1 – 0,3	0,3 – 0,5	0,5 – 1	1 – 2
Радіус зміцнення ґрунту, м	0,3 – 0,4	0,4 – 0,6	0,6 – 0,9	0,9 – 1

2.5.3 Виконання робіт при силікатизації

Силікатизацію ґрунтів виконують у відповідності з проектом організації та виконання робіт. Проект складають на підставі комплексу вишукувань щодо масиву, який підлягає закріпленню. При вишукуваннях відбирають зразки ґрунту, вивчаючи за них фізико-механічний склад, визначають рівень ґрунтових вод, напрямок та швидкість їх руху, коефіцієнт фільтрації ґрунту та його пористість, хімічний склад ґрунтових вод тощо.

В проекті по силікатизації встановлюють розміри масиву, який підлягає закріпленню, розташування ін'єкторів в плані та глибину їх занурення, склад сумішей розчинів, режим тиску, тривалість нагнітання на кожній заходці, загальний обсяг розчинів, що закачуються, схему виконання робіт тощо.

На робоче місце доставляють концентрований розчин силікату натрію щільністю 1420 – 1450 кг/м³, розбавляючи його тут до потрібної концентрації водою.

Ін'єктори розташовують за всією площею, яка закріплюється рядами з чергуванням їх у рядах у шаховому порядку (рис. 20,а). відстань між 60н'єкторами приймають рівною:

$$a = 1,75 \cdot R. \quad (9)$$

Відстань між рядами

$$b = 1,5 \cdot R. \quad (10)$$

За мірою забивання ін'єктор нарощують додатковими ланцюгами труб.

У піщані ґрунти ін'єктор забивають зазвичай на глибину 12–15 м, а в окремих випадках на глибину до 30 м, у гравелисті ґрунти на глибину не більш 3 – 4 м.

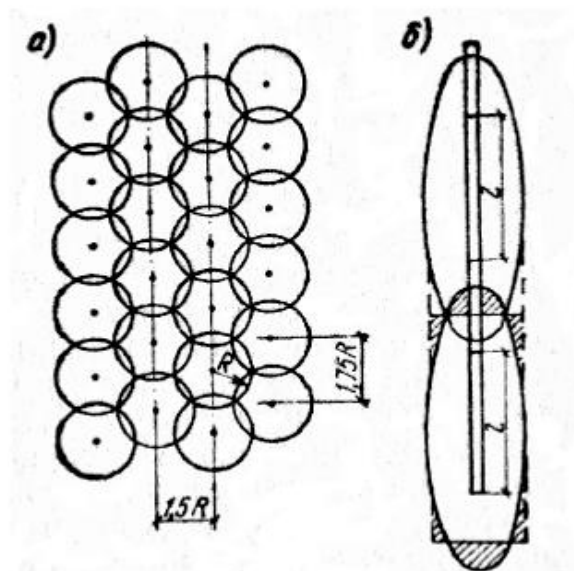


Рисунок 20 – Перетинання зон закріплення:

а) – у плані; б) – в розрізі; l – довжина перфорованої частини ін'єктору

Існує три способи нагнітання розчину при дворозчинній силікатизації: *послідовний, послідовно-сумісний та сумісний*.

Послідовний спосіб застосовують при швидкості руху ґрунтових вод до 1 м/добу. При цьому способі ін'єктор забивають на глибину першої заходки та крізь нього під тиском ін'єкціюють у ґрунт розрахунковий об'єм рідкого скла. Потім ін'єктор заглиблюють на глибину наступної заходки та знову нагнітають у ґрунт рідке скло, продовжуючи таким чином до досягнення проектної глибини закріплення. Після цього ін'єктор виймають, а замість цього забивають наступний, на глибину останньої заходки, та переміщуючи знизу до гори за заходками нагнітають крізь нього у ґрунт необхідний обсяг розчину хлористого кальцію.

Послідовно-сумісний спосіб застосовують при швидкості руху ґрунтових вод 1 – 3 м/добу. При цьому способі на глибину кожної заходки

забивають спочатку один ін'єктор, нагнітаючи крізь нього у ґрунт розрахунковий об'єм рідкого скла, а потім після його виймання другий ін'єктор, крізь який у ґрунт нагнітають необхідний обсяг розчину хлористого кальцію. Почергове забивання та виймання ін'єкторів з нагнітанням обох розчинів за заходками виконують до досягнення проектної глибини силікатизації.

Цей спосіб доречно застосовувати виконуючи роботи знизу до гори, що виключає необхідність проходження зон закріпленого ґрунту. Для цього перший ін'єктор забивають спочатку на повну глибину масиву, що закріплюється, та починають нагнітання з нижньої заходки.

При послідовно-сумісному способі ґрунт у кожній заходці закріплюється швидше, тому що розбавлення та винесення рідини скла водою зменшуються. В зв'язку з цим цей спосіб можна застосовувати при більшій ніж при першому способі швидкості руху ґрунтових вод.

Перерва між нагнітанням рідкого скла та розчину хлористого кальцію не повинна бути більше ніж наведено нижче (таблиця 9):

Таблиця 9 – Перерва між нагнітанням рідкого скла та розчину хлористого кальцію

Найбільша швидкість фільтрації ґрунтових вод, м/добу	0	0,5	1,5	3
Максимально припустима Перерва між нагнітанням Рідкого скла та розчину хлористого кальцію, год	24	6	2	1

Обсяг розчину q , л, який витрачається на одну заходку, визначають за формулою:

$$q = \pi R^2 L n a \quad (11)$$

де R – радіус закріплення, м;

L – довжина заходки, м;

n – пористість ґрунту, %;

a – коефіцієнт, який дорівнює для пісків 5, для пливунів 12, для лесу 8.

При сумісному способі нагнітання розчинів у ґрунт забивають зразу два ін'єктора на відстані 0,15 – 0,2 м один від одного. Рекомендується забивати ін'єктори спочатку на всю глибину масиву, який закріплюється, починаючи з нижньої заходки. Спочатку крізь ін'єктор, що розташований вище за течією ґрунтових вод, нагнітають рідке скло, а згодом через

10–15 хв, необхідних для переміщення рідкого скла, крізь другий ін'єктор нагнітають розчин хлористого кальцію.

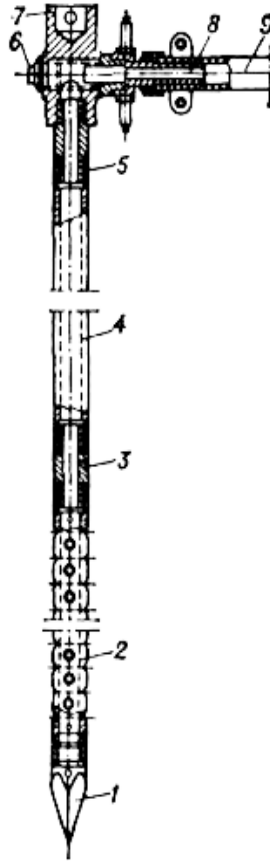


Рисунок 21 – Ін'єктор:

1 – накінецьник; 2 – перфорована ланка; 3 и 5 – поєднальні ніпелі; 4 – труби та заглушка; 7 – наголовник; 8 – штуцер; 9 – шланг

Для силікатизації дрібних та пильоватих пісків, а також лесів розчини спочатку нагнітають в зовнішній ряд ін'єкторів, а потім у другий і так далі.

При зміцненні крупних та середньої крупності пісків рідке скло та розчин хлористого кальцію нагнітають спочатку у непарні ряди ін'єкторів, а потім у парні, або навпаки.

Зазвичай крупні та середньої крупності піски закріплюють при тиску не вище 1,5 МПа, а лесові ґрунти не вище 0,5 МПа.

Розчини можна нагнітати тільки при позитивній температурі ґрунту в зоні зміцнення. При температурі зовнішнього повітря нижче 15°C розчини підігрівають до температури плюс 40 °C.

Загальний обсяг розчинів W , л, необхідний для силікатизації ґрунтів, Б.А. Ржаніцин рекомендує визначати за наступними формулами:

а) обсяг рідкого скла для закріплення пісків:

$$W = 5Vn; \quad (12)$$

обсяг розчину хлористого кальцію повинен бути таким як і обсяг рідкого скла;

б) обсяг гелеутворюючої суміші для закріплення дрібних та пильоватих пісків:

$$W = 12Vn; \quad (13)$$

в) обсяг рідкого скла для закріплення лесових ґрунтів:

$$W = 8Vn; \quad (14)$$

де V – обсяг масиву ґрунту, який закріплюється, м^3 ;

n – пористість ґрунту.

За малої глибини заглиблення ін'єктора його можна витягати вручну, а за глибиною заглиблення більш 4 – 5 м – за допомогою талі, а у стиснених умовах – домкратами. Обладнання, яке використовують для силікатизації (насоси, штанги, баки) періодично під час роботи та після її завершення промивають гарячою водою. Ін'єктори після витягання з ґрунту очищують металевим ершом та промивають гарячою водою. Після витягання ін'єкторів свердловини тампують цементним розчином у складі *цемент : пісок = 1:3*.

2.6 Заморожування водонасичених ґрунтів

Стабільність ґрунту та рівень ґрунтових вод мають вирішальне значення під час риття котлованів і прокладання тунелів. При виконанні таких робіт часто стикаються з проблемами пов'язаними зі стабільністю ґрунту та відносно високим рівнем ґрунтових вод, які досить важко, а іноді й неможливо вирішити за допомогою традиційних методів стабілізації ґрунту. Ці проблеми часто безпосередньо пов'язані з ризиком не тільки для робочого персоналу, який виконує такі роботи, але і для споруд і населення, особливо якщо роботи ведуться в містах і в безпосередній близькості від промислових і житлових будівель. Там де немає можливості вирішити виникаючі труднощі за допомогою традиційних технологій стабілізації ґрунту на допомогу приходять технології заморозки ґрунту.

Заморожування ґрунтів – це штучне охолодження ґрунтів у природному заляганні до негативних температур з метою їх стабілізації і досягнення водонепроникненості.

Заморожування ґрунтів застосовується для створення тимчасової міцної водонепроникненої перемички, яка перегороджує доступ воді або пливунам ґрунтів у виробіток, при виконанні робіт з будівництва підземних споруд у водоносних ґрунтах.

Цей спосіб широко поширений при будівництві шахт, тунелів, станцій метрополітену, підземних камер, фундаментів, мостів, перемичок та ін. споруд.

Заморожування ґрунтів веде початок від природного заморожування, відомого в світовій гірничо-будівельній практиці під назвою сибірського способу, описаного Олександром Шренка в 1837 році. В Росії природне заморожування ґрунтів застосовувалося в Сибіру для проходки шурфів на золото (В. З. Власов, 1893). В цьому випадку для заморожування водоносних порід використовувалось атмосферне повітря, яке мало природну негативну температуру.

Штучне заморожування ґрунтів запропоновано французьким вченим Мішо в 1852 році, однак промислове використання способу відноситься до 1883 року (рудник «Арчибальд» в Магдебурзькому окрузі). В СРСР штучне заморожування ґрунтів вперше застосовано в 1928 році під час проходження одного із стовбурів Солікамського калійного комбінату.

Сутність даного способу полягає в тому, що через систему свердловин, які заморожують, розташованих за периметром і в тілі майбутнього виробітку, пропускається холодоносій з низькою температурою, який, відбираючи від навколишнього ґрунту тепло, перетворює його в льдопородний масив, який володіє повною водонепроникністю та високою міцністю (див. рис. 22). Цей масив здатний сприймати великий бічний тиск слабких ґрунтів і гідростатичний напір ґрунтових вод. Міцність замороженого ґрунту коливається від 3 МПа (для глин) до 15 МПа (для піщаних ґрунтів). Чим більше вологість ґрунту, тим вище його міцність.

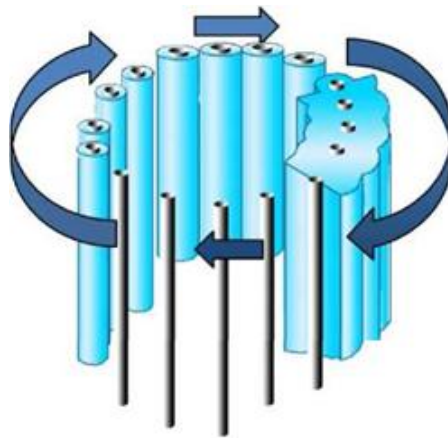


Рисунок 22 – Схема утворення льдопородної перемички

2.6.1 Проектування льдогрунтових завіс

Комплекс робіт по заморожуванню ґрунтів складається з наступних операцій:

- дослідження;
- проектування;
- буріння свердловин;
- опускання та вимір відхилень колонок;
- монтаж заморожуючої станції і розсільної мережі;
- заморожування і контроль;

– відтавання заморожених ґрунтів – витяг колонок, демонтаж обладнання і розсільної мережі.

При вишукуванні повинні бути виявлені напірні водоносні горизонти, артезіанські свердловини, засолені джерела, визначені фізико-механічні та теплофізичні властивості ґрунтів, обстежені наземні та підземні споруди, які розташовані поблизу і в зоні заморожування ґрунтів.

До складу проекту включається розташування свердловин в плані, що визначається конфігурацією виробітку, ситуацією місцевості, геотехнічними умовами, глибиною свердловин і їх відхиленнями, необхідною розрахунковою товщиною замороженої перемички.

Глибина свердловин визначається відміткою закладення підземної споруди, а також відміткою водоупора. Кінці свердловин заглиблюють на 2–5 м в водотривкий ґрунт (глини, щільні безводні сланці, мергелі).

У випадках, коли не представляється можливим заглибити контурні свердловини, які заморожують, в водоупор, ґрунтовий масив заморожують за всім перетином виробітку, який споруджується, для чого свердловини, які заморожують, бурять і всередині контуру виробітку.

Відстані між свердловинами приймаються: для стовбурів шахт – $1,0 \div 1,25$ м; для похилих тунелів – $0,9 \div 1,2$ м; для горизонтальних тунелів і котлованів при створенні суцільного замороженого масиву – $1,2 \div 2,0$ м.

Для контролю за процесом заморожування бурять контрольні свердловини діаметром 75 – 100 мм: гідрогеологічні – для спостереження за коливаннями ґрунтових вод всередині і поза контуру, який заморожується, і термометричні – для спостереження за температурою ґрунтів, в кількості не менше 10% від загальної кількості основних свердловин, розташованих в різних точках і на різних відстанях від контуру, який заморожується.

Товщина льодогрунтової перемички визначається виходячи з допустимої напруги на стиск замороженого ґрунту і зовнішнього тиску ґрунту і води.

За відкритих роботах виїмку ґрунту з котловану в період позитивних температур повітря необхідно вести з захистом стінок льодогрунтової огорожі від дії атмосферних опадів і сонячних променів.

При розробці ґрунту буропідливним способом необхідно дотримуватися запобіжних заходів, не допускати деформації льодогрунтової огорожі та пошкодження колонок, які заморожують.

Після закінчення прохідницьких робіт і зведення постійного облицювання споруди приступають до відтавання заморожених ґрунтів, яке може відбуватися природним шляхом або виконується штучно шляхом нагнітання в свердловини нагрітого розсолу або води (рис. 23).

Залежно від виду холодоносія розрізняють два способи штучного заморожування: розсолем і скрапленням газом (рідким азотом).

При заморожуванні ґрунтів першим способом в колонки, які заморожують, подається холодоносій (розсол), який являє собою висококонцентрований розчин хлористого кальцію, попередньо охолоджений в випарнику

холодильної машини до температури $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

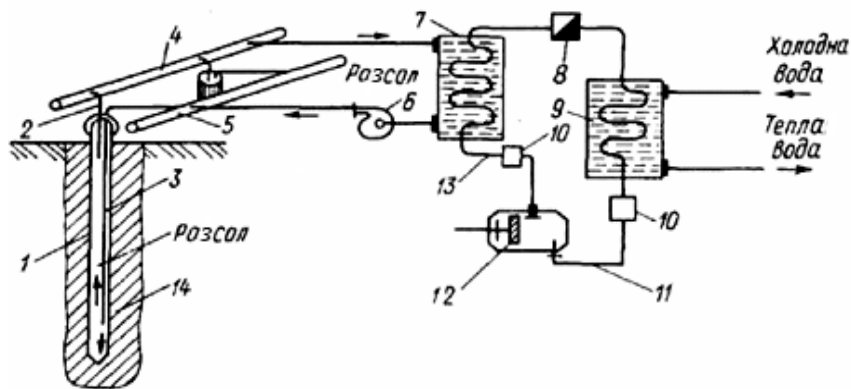


Рисунок 23 – Установка для заморожування ґрунтів розсольним методом:

- 1 – заморожуюча колонка; 2 – відвідна труба; 3 – живляча труба;
- 4 – колектор; 5 – розподільник; 6 – циркуляційний насос розсолу;
- 7 – випарник; 8 – терморегулюючий вентиль; 9 – конденсатор;
- 10 – маслозбірник; 11 – лінія низького тиску аміаку; 12 – компресор;
- 13 – лінія високого тиску холодоносія; 14 – заморожений ґрунт

Холодоносії за допомогою відцентрового насоса (мережевого) з випарника подається в розподільник, до якого приєднані подаючі труби колонок, і через них надходить в нижню частину колонок, потім висхідним потоком повільно піднімається вгору, відбираючи тепло від навколишнього масиву ґрунту. Розсол, який нагрівся на $3 - 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ через відводячі труби збирається в загальний колектор і за зворотної гілки розсольної мережі знову надходить у випарник холодильної установки для повторного охолодження до початкової температури ($-25\text{ }^{\circ}\text{C}$) і т.д.

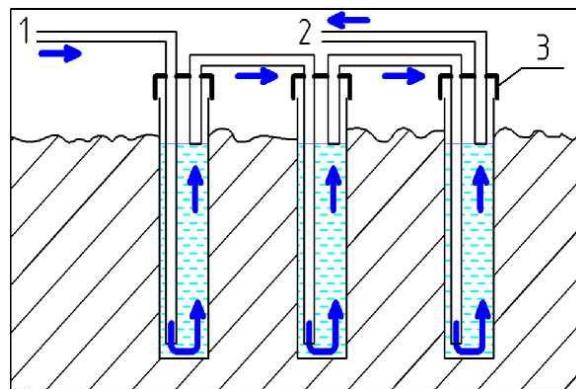


Рисунок 24 – Конструктивна схема заморожуючої колонки:

- 1 – живляча труба; 2 – відвідна труба; 3 – сталевий оголовок колони

Швидкість проморожування ґрунту становить $1 - 2\text{ см / добу}$.

У другому способі в якості холодоносія застосовується скраплений газ, головним чином рідкий азот, який має температуру випаровування $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. При цьому способі заморожувальні колонки з'єднуються гнучкими шлангами за

кілька штук (від 3 до 5) послідовно. В першу колонку зі спеціальної ємності через трубу подачі під надлишковим тиском випускається рідкий азот. Частково випарувавшись, він переходить в другу колонку, потім в наступні. За виходом з останньої колонки газоподібний азот із включенням рідкої фази потрапляє в збірну ємність. Для перекладу відпрацьованого азоту в початковий стан потрібно його стиснення та охолодження в заводських умовах. Допускається випускати відпрацьований газ в атмосферу, при цьому температура газу на виході становить приблизно – 40 °С.

Для закріплення 1 м³ ґрунту потрібно до 600 кг азоту. Швидкість його заморожування становить 10 – 15 см / добу.

Заморожуючі труби, які розраховані на внутрішній тиск до 20 МПа, виготовляють з високоміцних сталей. Труби з'єднують за допомогою муфт, ніпелів або шляхом вгвинчування однієї в іншу. В якості живлюючих застосовують сталеві та поліетиленові труби, діаметром 25–32 мм. Застосування поліетиленових труб спрощує та прискорює спускопідйомні операції за монтажом, знижує гідравлічні втрати за рухом холодоносія.

Відводячі труби виконують зі сталі (діаметр їх, як і у що живлять). Верхня частина заморожуючих колонок (головка) може бути зварена чи знімна. Знімні головки застосовують для заморожування ґрунтів на великі глибини, знімні головки закріплюються на торці заморожуючої труби. В нижній частині заморожуючої труби влаштовують башмак, який представляє литий або зварений сталевий конус, який забезпечений різьбленням для з'єднання з заморожуючою трубою.

Переваги даної технології

1. Дана технологія є універсальним засобом стабілізації ґрунтів і забезпечення можливості ведення робіт у водоносних породах.

2. Можливо застосування в будь-яких водонасичених ґрунтах починаючи від глинистих і кінчаючи скельними тріщинуватими та кавернозними. Обмежуючою умовою є швидкість потоку ґрунтових вод (не більше 200 м / добу).

3. Після спорудження котловану та припинення подачі охолоджуючого розчину ґрунт повертає свій попередній природний стан без будь-яких порушень і змін.

4. Можливо застосування при будь-яких глибинах. Застосування методу заморожування ґрунту стає все більш доцільним в міру збільшення глибини споруджуваного котловану. За глибинами понад 35 м метод заморожування є єдино можливим. В Бельгії заморожування ґрунтів проводилося на глибині 620 м. В Канаді на калійному руднику здійснена проходка стовбура глибиною 914 м.

5. Наявність добре розвиненої науково-технічної бази. Вивчено нестационарні процеси теплообміну в масиві гірських порід, заморожуючих колонках, холодильному обладнанні, розроблені інженерні методи

розрахунку та проектування льдопородних огорож і холодильного устаткування.

Недоліки даної технології

1. Сам процес заморожування тривалий (розсольний метод – 1–2 см / добу, газовий – 10–15 см / добу), вартість таких робіт досить висока.

2. Розсольний спосіб викликає сильне перезволоження навіть тих ґрунтів, які володіли цілком задовільними властивостями. Так як вода при переході в лід збільшується в обсязі на 9%, у замороженій зоні спостерігається інтенсивне обдимання ґрунту. З цієї причини застосовувати даний спосіб в зоні існуючої забудови небезпечно, бо можливі великі та нерівномірні осадки існуючих споруд, розриви комунікацій та інші небажані наслідки. Такий недолік в значній мірі усувається при використанні в якості холодоносія рідкого азоту, який має температуру випаровування – 196 °С. Швидкість його заморожування становить 10 – 15 см / добу і перевищує швидкість водотоку в заморожену зону, тому інтенсивного здимання і водонасичення ґрунту не відбувається.

3. При розробці ґрунту в літніх умовах льдоґрунтового стінку необхідно захищати від дії сонячних променів та атмосферних опадів, а трубопроводи і випарники повинні мати теплоізоляцію.

4. В проекті має бути передбачений захист існуючих споруд і комунікацій (теплоізоляція, перекладка комунікацій та ін.), які потрапляють в зону впливу льодоґрунтової огорожі.

Контрольні запитання

1. Проаналізувати переваги методу струменевої цементації у порівнянні з іншими технологіями.

2. Описати основні різновиди струменевої цементації.

3. Визначити область застосування методу струменевої цементації у гідротехнічному будівництві.

4. Описати сутність методу бітумізації при зміцненні та закріпленні ґрунтів.

5. Описати сутність методу глинізації при зміцненні та закріпленні ґрунтів.

6. Описати сутність методу силікатизації при зміцненні та закріпленні ґрунтів.

7. Описати сутність методу заморожування водонасичених ґрунтів. Проаналізувати переваги та недоліки даної технології.

З ВИКОНАННЯ РЕМОНТНИХ РОБІТ НА ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУДАХ

3.1 Омонолічування бетонних гідротехнічних споруд

3.1.1 Тріщиноутворення у бетонній кладці

Надійна робота бетонних напорних гідротехнічних споруд залежить від монолітності їх конструкцій. Забезпечення монолітності бетонних конструкцій нерозривно пов'язано з вирішенням проблеми попередження шкідливого впливу на неї температурних процесів, які відбуваються у бетонній кладці.

При твердінні бетону в процесі гідратації підвищується його температура і в ньому з'являються стискаючі напруги. Досягнувши максимуму температура починає знижуватися і стискаюча напруга переходить у розтягуючу. При перевищенні цими напругами межі міцності на розтягіння в бетоні з'являються тріщини. Тріщини можуть бути як поверхневими так і внутрішніми.

Надалі при несприятливих температурно-вологісних умовах тріщини розвиваються та проникають у глибину бетонної споруди.

Наскрізні вертикальні тріщини погіршують експлуатаційні якості споруди та знижують її надійність. Ці тріщини перерозподілюють напружений стан масиву, визиваючи появу небезпечних розтягуючих напруг на верховій грані греблі, та знижують стійкість споруди на зсув. Для ліквідації тріщин з метою омонолічування споруди та підвищення її надійності при експлуатації необхідно виконання цементаційних робіт. Низка технологічних заходів, які застосовують під час приготування бетонної суміші, її укладання та твердіння, зменшує вірогідність появи тріщин у споруді, але не виключає її повністю. До таких заходів слід віднести приготування бетонних сумішей на низькотермічних цементах, охолодження її компонентів в літній період, та штучне охолодження бетонної кладки під час її остигання в період інтенсивних екзотермічних процесів.

Поява тріщин може бути визвана нерівномірними осадками або у разі усадкових напруг.

Для зменшення впливу температурно-усадкових напруг на монолітність бетонної споруди та виключення тріщиноутворення її розрізають штучними швами на блоки бетонування та секції.

Розрізняють три типи швів у масивних бетонних спорудах:

- а) постійні деформаційні (температурні або температурно-усадкові);
- б) тимчасові будівельні температурно-усадкові;
- в) будівельні.

Постійні деформаційні зазвичай розрізають споруду на окремі секції з метою забезпечення їх незалежного пересування. Ці шви не заробляють, але перекривають водонепроникними шпонками.

Тимчасові будівельні температурно-усадкові шви вертикальні повздовжні та поперечні служать для розрізання утворених деформаційними швами секцій споруди на окремі частини (блоки). Після припинення усадкових явищ в бетоні ці шви цементують, що забезпечує монолітність споруди в цілому або окремих її секцій.

Будівельні шви вертикальні та горизонтальні, утворюються внаслідок технологічних перерв в бетонуванні; їх при необхідності згодом цементують.

3.1.2 Цементация тріщин та порожнин у бетонній кладці

У бетонних гідротехнічних спорудах для виправлення дефектів бетонування та ліквідації тріщин з метою забезпечення монолітності бетону застосовують цементацию. Розчинами на звичайних цементах можна тампонувати тріщини з розкриттям не менш 0,15 мм. Застосування цементно-колоїдних розчинів дозволяє тампонувати тріщини з меншим розкриттям.

Для визначення необхідності цементации та її обсягів обстежують стан бетонної кладки.

Діаметр свердловин для цементации зазвичай приймають не більш 76 мм, розташовуючи їх таким чином, щоб вони оточували ділянку бетону, яка підлягає омоноличуванню. Свердловини проходять на всю товщу блока, який підлягає цементации.

Цементацию знайдених тріщин слід виконувати до заповнення водосховища та при позитивних температурах, що виключає наявність у тріщинах плівок льоду.

В першу чергу цементують повздовжні та поперечні вертикальні наскрізні тріщини. Потім тампонують глибокі, але не наскрізні вертикальні та горизонтальні тріщини з боку напірної грані. Після цього тампонують короткі (1–1,5 м) тріщини з розкриттям більш 0,15 мм, які виходять на напірну грань. В останню чергу цементують тріщини у своді або в стінках потерн.

Цементацию тріщин та порожнин виконують зазвичай за зонами знизу вгору. Це дозволяє віджимати повітря з порожнин і тим самим покращувати якість ущільнення.

Цементацию зазвичай починають з ін'єкції рідких розчинів для забезпечення заповнення тонких тріщин та пор. Якщо при цьому тиск зростає, слід, продовжуючи нагнітання рідких розчинів, швидко довести його до граничного. Якщо тиск при ін'єкції рідких розчинів не зростає то потрібно переходити до нагнітання більш густих розчинів та до більшого тиску. Закінчують цементацию рідким розчином на граничному тиску. Цементацию вважають закінченою при досягненні відмови у поглинанні розчину на протязі 20 хвилин нагнітання.

Ліквідацію тріщин з метою забезпечення монолітності бетону виконують розчинами на цементах, марка яких повинна бути не нище марки цементів, які використовували для приготування бетонної суміші споруди,

але не нижче 300. Вид цементу для омоноличування бетону обирають в залежності від того, на якому цементі виготовляли бетонну суміш. Так, конструкції, які виготовляли на портландцементі, шлакопортландцементі або пуццолановому портландцементі, омоноличують портландцементом, а за його відсутністю – шлакопортландцементом.

3.2 Цементация тимчасових будівельних температурно-усадкових швів бетонних споруд

Бетонні споруди, які мають значні розміри як у плані, так і за висотою, завжди розподіляють на блоки бетонування та секції. Розрізняють три схеми розподілу споруд на блоки бетонування: стовбчастий, ярусний та гребель аранжованої конструкції.

Після остигання або штучного охолодження бетону відбувається розкриття будівельних швів. Якщо не вжити заходів до їх цементації, то кожен стовп буде працювати під напором як окремий конструктивний елемент споруди, що неприпустимо з умов його стійкості та міцності. В зв'язку з цим, після зниження температури бетону до розрахункових значень, при яких розкриття будівельних швів буде максимальним, їх цементують, поновлюючи монолітність споруди в цілому.

Якість цементації в значній мірі залежить від ширини шва. Максимальне розкриття швів δ , мм, до моменту їх цементації без урахування впливу оберту стовпів від нерівномірного розподілу температури та напружень можна визначити за формулою:

$$\delta = B \cdot \alpha \cdot (t_n - t_o), \quad (15)$$

де B – ширина стовпа, м;

α – коефіцієнт лінійного розширення бетону ($10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$);

$t_n - t_o$ – відповідно початкова та температура омоноличування бетонної кладки, $^\circ\text{C}$.

Природний процес розвіювання тепла бетонної кладки та пониження її температури до температури омоноличування достатньо довгий та може тривати у масивних греблях декількох місяців. Для прискорення цього процесу застосовують різні способи охолодження бетонної суміші та бетону. Наприклад, використовують низькотермічні цементы, охолоджують заповнювачі та воду, частину води затворення замінюють подрібненим льодом.

Найбільш ефективно знижується температура бетону при використанні трубної системи охолодження, яка забезпечує рівномірний відбір тепла за всім перерізом греблі та зменшує тим самим температурні напруження та відповідно небезпеку тріщиноутворення.

Трубна система уявляє собою систему труб (у вигляді зміївіка) з відстанню між трубами 0,75–2 м. За вертикаллю труби розташовують в блоці бетонування крізь проміжки, які кратні його висоті (0,75 – 3 м).

Омоноличування споруди цементацією будівельних швів виконують шляхом нагнітання в них цементного розчину крізь спеціальну систему труб з випусками, що закладаються в бетон при зведенні греблі. Випуски забезпечують подавання розчину в необхідній кількості в будь-яку частину шва.

Для послаблення або повного виключення дії сколюючих напруг у повздовжніх швах греблі влаштовують штраби, грані яких направлені паралельно площадкам головних напружень (рис. 25). За такою формою шва за площинами цих граней не буде сколюючих напруг і цементний камінь буде знаходитися під дією тільки головних стискуючих зусиль.

Будівельні шви кожної секції розділяють шпонками на окремі замкнуті ділянки – карти цементації (рис. 26). Карти цементації, що знаходяться у межах одних й тих же позначок за всією довжиною споруди, утворюють ярус цементації.

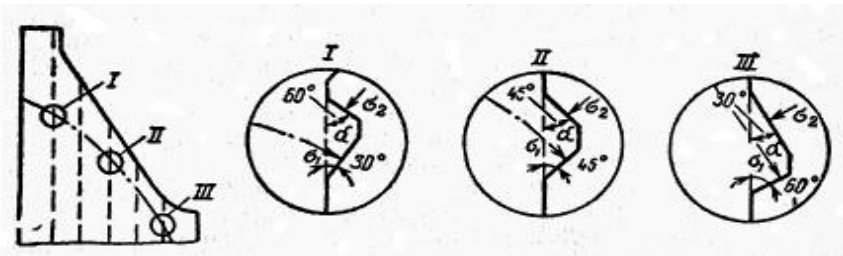


Рисунок 25 – Раціональні форми штраб у повздовжніх швах гравітаційної греблі при стовбчастому розподілі

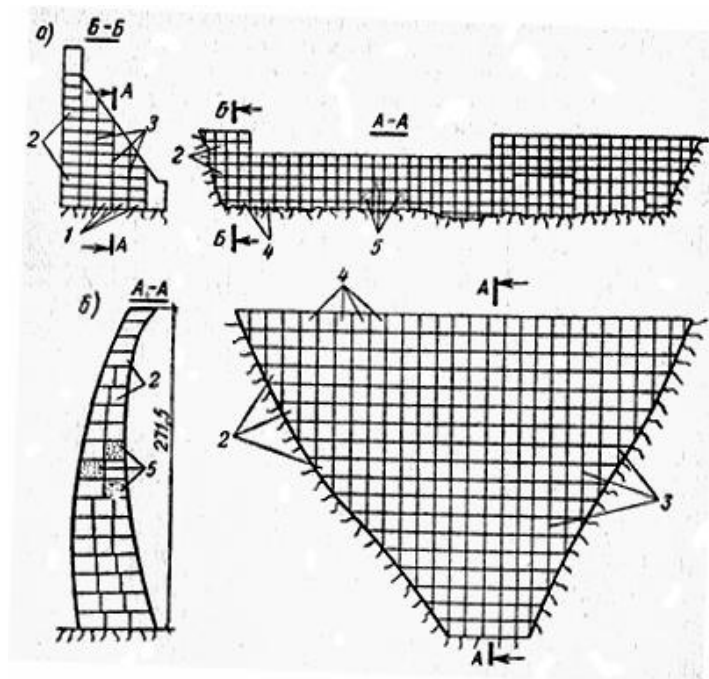


Рисунок 26 – Розбивка на яруси та карти цементації будівельних швів:

a – гравітаційної греблі; *б* – аркової греблі;

1 – стовпи греблі; 2 – яруси цементації; 3 – будівельні шви;

4 – секції греблі; 5 – карти цементації

3.3 Гідроізоляційні роботи. Гідроізоляційні матеріали. Підготовка поверхні

Гідротехнічні споруди великих гідровузлів унікальні як за розмірами, так і за відповідальності їх призначення і розрахункової довговічності. Тому найбільші з них зводяться з залізобетону, який доповнюється різними гідроізоляційними заходами для підвищення їх надійності та терміну служби, особливо в районах з суворим кліматом.

Залізобетонні гідроспоруди потребують гідроізоляційного захисту насамперед для забезпечення водонепроникненості, так як навіть за високоміцних бетонах з витратою цементу до 400 кг/м^3 і особливо щільному їх складі з чотирма-п'ятьма фракціями заповнювачів з точки зору фільтраційної надійності можна допускати в спорудах градієнти напору більше 12, а всередині службових приміщень – навіть 5, що у високонапірних гідровузлах веде до значної перевитрати бетону та цементу, змушує віддавати перевагу гравітаційним греблям перед арочними та контрфорсними.

Досвід застосування асфальтової штукатурної та епоксидної фарбувальної гідроізоляції на греблях Павловської, Інгузької, Саяно-Шушенській та інших ГЕС показує, що при водонепроникненому протифільтраційном екрані представляється можливим споруджувати греблі з малоцементного бетону з витратою цементу $100\text{--}200 \text{ кг/м}^3$, тобто скорочувати його витрату вдвічі, значно знижуючи витрати на приготування та укладання бетонної суміші – приблизно вдвічі.

В районах з суворим кліматом теплогідроізоляція напірних граней гребель захищає бетон від розморожування та надлишкових температурних напруг, причому такий захист потрібно не тільки на греблі зі сторони верхнього б'єфу, але і для всіх напрямних і підпірних стінок зі сторони нижнього б'єфу, де при роботі станції в режимі добового регулювання в бетоні виникають три-чотири цикли заморожування та відтавання на добу, тобто понад 300 циклів на рік, що призводить до його руйнування.

Загальновідомі аварії на греблях Аустін і Сен-Фреїсис (США), які зруйнувалися за відсутністю деформаційних швів, що призвело до утворення тріщин у греблях, підмиву основ, розриву та обваленню частин тіла греблі та прориву водосховищ в нижній б'єф, в результаті чого була затоплена велика територія і загинуло понад 500 осіб. Ці «класичні» приклади повинні стати суворим уроком тим інженерам, які й донині пропонують відмовитися від швів або їх надійного ущільнення. В деяких греблях шви не були доведені до підосви, що спричинило виникнення тріщин (як продовження швів) і вимагає трудомістких цементаційних робіт:

а) перша Асуанська гребля (Єгипет, 1903 р.) довжиною 2120 м була побудована без швів, внаслідок чого в руслової її частини на довжині 900 м утворилося понад 200 великих тріщин, з них 36 наскрізних, що вимагає переробки греблі двічі – в 1912 і 1938 рр., із збільшенням її висоти до 53,2 м

влаштування деформаційних швів при надбудові;

б) на італійських греблях Карданелло (висота 76 м), Кампличчиоли (73 м) та ін., побудованих в 1928–1931 рр., температурні шви були виконані через 43–53 м і не доведені до основи, що призвело до утворення тріщин через 8–10 м і в продовженні некрізних швів, а також до масового протікання і вимагає великого ремонту з цементацією тріщин;

в) на французькій греблі Сен-Марк (1930 р., висота 46 м), греблі Норріс у США (1936 р., 81 м) і ряді інших шви були влаштовані через 20–30 м і не завжди доводилися до основи, що призвело до виникнення тріщин через 6–10 м і зажадало їх неодноразового ремонту шляхом цементації.

Слід підкреслити ці факти, які вже стали історичними, щоб нагадати про необхідність ретельного влаштування деформаційних швів, особливо в малоармованих гравітаційних греблях, оскільки в останні роки поширюється тенденція зведення таких гребель «токтогульским методом», але при недбалому ставленні до деформаційних швів.

Деформаційні шви гідроспоруд потребують ретельного ущільнення, конструкція якого повинна відповідати температурно-деформаційним умовам їх роботи.

1. В гравітаційних бетонних греблях, прямолінійних в плані, треба враховувати значну розбіжність деформаційних швів, особливо в районах з суворим кліматом. Тому ущільнення швів в кожному конкретному випадку необхідно проектувати індивідуально та обґрунтовувати особливим інженерним розрахунком, а гідроізоляцію напірної межі над швами слід переривати, доповнюючи її спеціальним ущільненням, здатним сприймати такі деформації. Наприклад, на греблі Саяно-Шушенській ГЕС фарбувальна епоксидна гідроізоляція була розрахована на розкриття випадкових тріщин до 2 мм і армована двома шарами склотканини. Таким же способом були перекриті виходи деформаційних швів на напірну грань греблі, причому особливі ущільнення не були виконані, що призвело до розривів покриття над швами, розкриття яких сягала 7 мм вже в перший рік експлуатації.

2. Деформаційні шви гравітаційних гребель не слід ущільнювати жорсткими ущільненнями, нездатними до сприйняття значних деформацій. Це стало очевидним вже на перших бетонних греблях, де були зроблені спроби ущільнити шви колодзями з наступним заповненням їх бетоном: Ерраурок (США, 1916 р., висота 106 м), Аггер (Німеччина, 1929 р., 46 м), Шварцах (Німеччина, 1931 р., 43 м) і Барбелино (Італія, 1931 р., 73 м); тут шви були ущільнені колодзями розміром від 1Х1 до 3Х3 м, іноді по три в ряд, що у всіх випадках призвело до протікання від 1 до 5 л/с та потребувало ремонту. Незважаючи на ці загальновідомі факти, на греблі Лох-Шар в Англії в 1952 р. знову була зроблена спроба ущільнити шви колодзями перерізом 3Х1,2 м, які заповнювались бетоном, що знову-таки призвело до протікання.

Дослідження досить переконливо доводять, що у греблях на основах, які стискаються, і високих греблях на скельних основах деформаційні шви

потрібно ущільнювати системою асфальтових шпонок у поєднанні з контурними гумовими стрічками.

3. Гідроізоляція напірних граней великих бетонних гребель, як правило, не влаштовується через відсутність простих і надійних гідроізоляційних покриттів. Це викликано насамперед дуже важкими умовами експлуатації такої гідроізоляції – вона піддається інтенсивному впливу хвильових і льодових навантажень, судів і плаваючих тіл, різкозмінних температурних перепадів, а також дії напору води і вилуговуючої агресії м'якої води водосховища. Все це визначає дуже жорсткі вимоги, яким не задовольняє більшість гідроізоляційних покриттів.

Вже при будівництві перших бетонних гребель для підвищення їх водонепроникненості стали застосовувати цементну торкрет-штукатурку, яка, однак, через низьку тріщиностійкість виявилася недовговічною.

Актуальним стало питання про використання протифільтраційних екранів з асфальтових матеріалів із захистом залізобетонними плитами. Подібні технічні рішення спираються на позитивний досвід експлуатації асфальтових екранів ряду гребель з кам'яної кладки і кам'яної начерки, де вони поєднувалися із залізобетонним захистом. Цей досвід переконливо підтверджує надійність і довговічність асфальтових екранів як з асфальтобетону, так і з рулонних матеріалів.

Таким чином, для протифільтраційних екранів бетонних гребель можна рекомендувати обклеювальну гідроізоляцію з захистом бетонними плитами або дерев'яною опалубкою в підводній зоні, а в надводній – теплогідроізоляцію з асфальтокерамзітобетона, захищену залізобетонними плитами з спеціального бетону високої морозостійкості або плитами, просоченими петролатумом або бітумом.

Протифільтраційні екрани з асфальтових армованих матів з захистом дерев'яною опалубкою з дощок і притискних брусів успішно експлуатуються вже понад 25 років на деяких греблях.

Економічна ефективність протифільтраційних екранів досить висока. Слід підкреслити, що настільки значне скорочення вартості досягається завдяки потоковій технології бетонних робіт і використання екрану в якості опалубки боків бетонування.

Великою перевагою пропонованих конструкцій протифільтраційних екранів є їх висока тріщиностійкість – тріщини в основному бетоні до 5 мм не порушують їх водонепроникненість, а литий асфальтокерамзітобетон має ще й здатність самозаліковування тріщин, що підтверджено натурними спостереженнями.

Застосування полімерних матеріалів для протифільтраційного екранування бетонних гребель досить перспективно.

На великих гідротехнічних спорудах полімерні забарвлення вперше були здійснені в 1961 р. на бетонній греблі д Еш-Сюр-Сюр в Люксембурзі.

Неопрен використовується в гідротехніці як антикорозійний матеріал.

Найбільш поширені для захисту великих гідротехнічних споруд емалі і мастики на основі епоксидних смол. Епоксидні покриття відрізняються підвищеною міцністю та довговічністю, що було встановлено вже при першому досвіді їх застосування.

Накопичено значний досвід пристрої епоксидної гідроізоляції на напірних гранях високих бетонних гребель. З накопиченням досвіду було встановлено, що противо-фільтраційне екранування бетонних гребель епоксидними покриттями може бути скорочено.

Епоксидні композиції для гідроізоляції відповідальних гідроспоруд повинні ретельно підбиратися спеціалізованими лабораторіями в залежності від експлуатаційних умов з обов'язковим введенням до їх складу тривало діючих пластифікаторів

Епоксидні покриття відрізняються високою стійкістю проти кавитаційної ерозії і абразивного зносу за стираючої дії донних насосів, що різко розширює область їх застосування в гідротехніці.

Епоксидні смоли – дефіцитний і дорогий матеріал, а тому їх слід витратити досить економно і тільки там, де вони дійсно ефективні.

На напірних гранях гідроспоруд рекомендується влаштовувати протифільтраційні екрани з епоксидного армованого забарвлення, а при малоцементном бетоні тіла греблі – з асфальтокерамзітобетона із захистом залізобетонними плитами або склопластиком.

3.4 Геосинтетичні матеріали в гідротехнічному будівництві

В останні 35 – 40 років в руках будівельників з'явився цікавий багатообіцяючий матеріал, називаний «геотекстиль» або «геосинтетика». Корінь «гео» вказує на область застосування цих матеріалів: вони використовуються як армуючі сітки або гідроізолюючі мембрани в конструкціях і спорудах, основу яких становлять пухкі гірські породи – ґрунт, пісок, гравійні суміші й т.п. «Синтетика» й «текстиль» – відображають склад матеріалів, спосіб його виготовлення й зовнішній вигляд: тканини, повсть, плівки й інші відносно тонкі легкі матеріали великої площі.

Синтетичні полімери надають геосинтетиці (геотекстилю) специфічні для полімерів позитивні властивості:

- водо й морозостійкість
- універсальна корозійна стійкість
- мала вага (щільність полімерів близько 1 г/см³)
- висока міцність на розтягання.

Недоліки полімерів, такі як швидке старіння при прямому сонячному опроміненні (ультрофіолетовій складовій), різке падіння міцності при нагріванні до 80 – 120 °С та горючість, при використанні в конструкціях, де гнітючу частину об'єму становлять сипучі гірські породи, які захищають полімери від світлових і температурних впливів, виявляються заблокованими.

В цей час частіше використовують термін геосинтетичні матеріали. Область застосування геосинтетичних матеріалів досить широка: дорожнє, гідротехнічне, підземне, природоохоронне будівництво, також доцільне використання в ландшафтному дизайні.

Застосування геосинтетичних матеріалів у будівництві суттєво змінило характер робіт, пов'язаних із закріпленням укосів, пристроєм підпірних стінок, основ доріг. Стають непотрібними більші об'єми бетонних робіт, тому що для одержання необхідного результату використовується пісок й армуючі геосітки, геотканини, георешітки.

У випадку влаштування водойм або сховищ використовуються плівкові геосинтетичні матеріали, сітки й місцевий ґрунт. Таким чином, застосування геосинтетических матеріалів дає чималий економічний ефект, зменшуючи використання таких матеріалів, як бетон, сталь, привізний природний камінь і полегшуючи проведення робіт. Зведене до мінімуму втручання в навколишнє середовище роблять геосинтетичні матеріали екологічно ефективними матеріалами, що в наші дні є найважливішим достоїнством і необхідною якістю матеріалу.

Геосинтетичні матеріали – це група будівельних матеріалів, які призначені для створення додаткових шарів (прошарків) з метою виконання армуючих, дренажних, захисних, фільтруючих, гідроізолюючих, тепло ізолюючих функцій. До цієї групи можна віднести: геомембрани, геотекстильні матеріали, геосітки, геомати, об'ємні георешітки, тощо. Це переважно синтетичні матеріали, але вони можуть виготовлятись також і з мінеральної сировини, скло- або базальтового волокна.

Геомембрани – це рулонний гідроізоляційний геосинтетичний матеріал, виготовлений з поліетилену і призначений для забезпечення гідроізоляції конструктивних елементів. Геомембрана характеризується високою міцністю і стійкістю до впливу навколишнього середовища, захищає і відводить надлишкову вологу, а завдяки численним виступам на поверхні матеріалу створює умови для вентиляції конструктивних елементів (рисунк 25).



Рисунок 25 – Загальний вигляд геомембрани

Геотекстильний матеріал – це суцільне водопроникнене тонке гнучке неткане, ткане або трикотажне полотно, яке виготовляється шляхом скріплення волокон механічним (плетінням, голкопроколюванням), хімічним (склеювання), термічним (сплавлення) способами або їх комбінацією. Цей матеріал характеризується значною механічною міцністю, еластичністю, водопроникненістю, фільтруючою здатністю, стійкістю до агресивних середовищ та довговічністю. Він застосовується при спорудженні насипів підвищеної крутизни із незв'язних матеріалів, зведенні підпірних стінок; захисту об'єктів від зсувних явищ; розподілу конструктивних шарів; зміцненні основ та стабілізації слабких ґрунтів (рисунок 26). Геотекстилі виготовляються з поліефірних смол, поліпропілену, поліакрілу, поліаміду тощо.



Рисунок 26 – Геотекстильний матеріал

Геосітка – це плоский рулонний матеріал з розмірами комірок від 1 до 3 см, яка у складі елементів переважно виконує армуючі функції (рисунок 27).



Рисунок 27 – Загальний вигляд геосітки

Геомат – тривимірна об'ємна сітка яка завдяки хаотичній структурі волокон має відмінну водопроникненість і застосовується для укріплення відкосів земляних насипів чи виїмок. Цей матеріал виготовляється з полімерної сировини, яка переважно з'єднується термічним і рідше

механічним способом. Він легкий, гнучкий та екологічно чистий, який випускається в рулонах на заміну важким бетонним, кам'яним та асфальтним конструкціям (рисунок 28).



Рисунок 28 – Загальний вигляд геомату

Просторова георешітка – це об'ємний матеріал висотою комірок від 3 см, який переважно захищає заповнювач від переміщення та деформації.

Для заповнення її комірок можна використовувати місцеві ґрунти, пористі мінеральні матеріали такі як, щебінь, гравій, шлак з можливим їх обробітком в'язучими матеріалами.

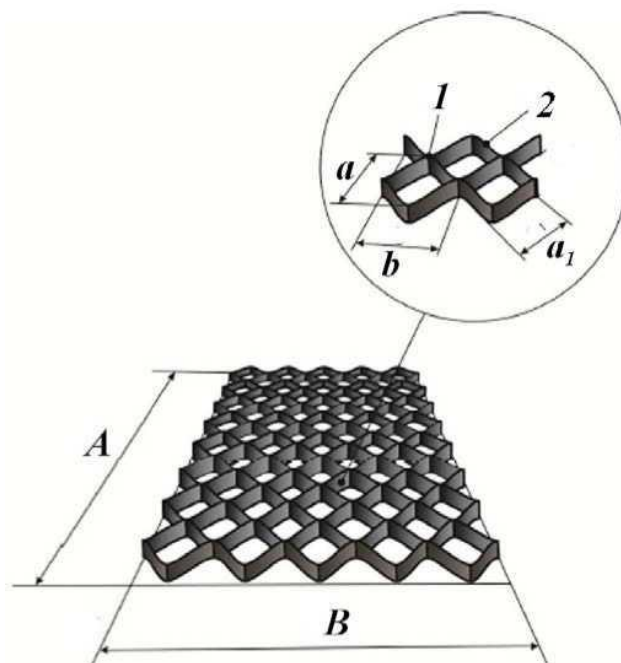


Рисунок 29 – Загальна схема георешітки в розгорнутому стані:
1 – зварні шви; 2 – геосмуги; A , B – довжина і ширина модуля; a і b – розмір комірки за діагоналями; a_1 – розмір сторони комірки.

3.4.1 Дорожнє будівництво

В дорожнім будівництві *геосинтетичні матеріали* застосовуються для влаштування укосів підвищеної крутості, підпірних стінок, посилення основ насипів, а також для захисту конусів шляхопроводів, армування асфальтових покриттів, поділу конструкційних шарів дорожнього одягу і як елементи дренажних систем.

При спорудженні укосів підвищеної крутості або інших армогрунтових конструкцій у якості армуючих матеріалів використовуються високоміцні геосітки, геотканини, а також об'ємні георешітки. Технологія застосування даних матеріалів дає значну економічну вигоду в порівнянні з такими традиційними методами, як будівництво бетонних підпірних стін, шпунтових огорожень, заміна ґрунтів (при будівництві на слабких основах). Для армування асфальтових покриттів застосовуються геосітки, композиційні матеріали на їхній основі й полімерні волокна (дисперсне армування).

3.4.2 Підземне будівництво

В підземному будівництві *геосинтетичні матеріали* в основному застосовуються як гідроізоляція (геомембрани) підземних споруджень, пластового й пристінного дренажів (дренажні мати).

В порівнянні із традиційними гідроізоляційними матеріалами геомембрани мають високу еластичність, стійкість до механічних і хімічних впливів.

Застосування дренажних матів у підземному будівництві дозволяє вирішити три завдання:

- зняття гідростатичного тиску ґрунтових вод за рахунок організації пристінного дренажу.
- зовнішня гідропароізоляція підземної частини спорудження.
- зовнішня незнімна опалубка при бетонуванні стін підземної частини спорудження.

3.4.3 Природоохоронне будівництво

Геосинтетичні матеріали широко застосовуються для запобігання ерозії ґрунту, а також захисту берегів водойм і їхнього озеленення.

Противерозійні мати – альтернатива традиційним методам противерозійного захисту з бетону, каменів або дерев'яних решето. Завдяки своїй структурі противерозійні мати сприяють швидкому утворенню стійкої кореневої системи. Ще однією істотною перевагою цих матеріалів є те, що ще до утворення рослинного шару мати вже перешкоджають виникненню ерозійних процесів.

Широке застосування знайшли геосинтетичні матеріали при будівництві полігонів поховання відходів. Це гідро й газоізоляція, дренажі

для води й збору біогазу, армуючі елементи для забезпечення стійкості основ і укосів.

3.4.4 Гідротехнічне будівництво

У практиці гідротехнічного будівництва *геосинтетичні матеріали*, а саме геомембрани бентонітові мати, застосовуються як гідроізоляція при влаштуванні протифільтраційних завіс, гребель або дамб, а також для організації гідроізоляційних екранів водоймищ, ставків, водойм.

Використання геомембран забезпечує гарантовану гідроізоляцію на тривалий строк (кілька десятків років) навіть в умовах агресивних середовищ.

При виборі того або іншого *геосинтетичного матеріалу* необхідно враховувати його властивості, які багато в чому визначаються видом і структурою полімерів, які використовувались для їхнього виробництва. Те, з якого полімеру виготовлений матеріал, визначає його стійкість до температурних впливів, короточасну й тривалу міцність, стійкість до впливу ультрафіолету, агресивних середовищ та ін. Крім того, дуже важливо строго виконувати рекомендації з технології провадження робіт з використанням геосинтетичних матеріалів.

Контрольні запитання

1. Проаналізувати обумову розбивки масивних гідротехнічних споруд на блоки бетонування.
2. Описати три типи швів у масивних бетонних спорудах, які підлягають цементації.
3. Описати послідовність виконання робіт при цементації тріщин у бетонній кладці.
4. Проаналізувати обумову появи тріщин у масивних бетонних спорудах.
5. Гідроізоляційні роботи. Гідроізоляційні матеріали. Підготовка поверхні.
6. Описати геосинтетичні матеріали в гідротехнічному будівництві.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологія будівельного виробництва /Під ред. О.О. Литвинова, Ю.І. Белякова. – К.: Вища школа, 1985.
2. Зведення споруд методом «стіна в ґрунті». А.Г.Абизов, А.А.Зазулинський, Н.В.Писанко, Р.Н.Ткаченко, А.Л.Филахтов, М.Г.Янкулин. – К.: «Будівельник», 1976. 204 с.
3. Траншейні стінки в ґрунтах. Н.Н.Круглицький, С.І.Мільковський, В.Ф.Скворцов, В.М.Шейнблум. – К.: «Наукова думка», 1973. 304 с.
4. ДБН В.2.4–3:2010. Гідротехнічні, енергетичні та меліоративні системи і споруди, підземні гірничі виробки. Гідротехнічні споруди. Основні положення. / Мінрегіонбуд України. – К., 2010. – 37 с.
5. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Гідроізоляційні роботи в гідротехнічних спорудах (Збірник 41) (РЕКНБ).
6. Машини для будівельно-монтажних робіт: Довідник / Н.С.Болотських, І.А.Ємельянова, О.І.Савченко та ін.; Під. ред. Н.С.Болотських. – К.: Будівельник, 1993. 344 с.

Електронне навчальне видання

ПАЛЬЧЕНКО Олег Леонідович

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОНАННЯ РОБІТ В ГІДРОТЕХНІЧНОМУ БУДІВНИЦТВІ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів другого (магістерського)
рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання
зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво,
водна інженерія та водні технології)*

Відповідальний за випуск *В. А. Александрович*
Редактор *М. О. Гаман*
Комп'ютерне верстання

План 2024, поз. 6Л

Підп. до друку 29.02.2024. Формат 60 × 84/16.
Ум.-друк. арк. 4,7

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.