

**Національна академія наук України
Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна**

В.П. Нагорний

**Імпульсні методи
відновлення продуктивності
водозабірних свердловин:
Довідник**

Київ – 2011

Імпульсні методи відновлення продуктивності водозабірних свердловин: Довідник / В.П. Нагорний; НАН України, Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна. – Київ, 2011. – С. 187, іл. 61, табл. 36, бібл. 58.

Викладені відомості про основні способи буріння водозабірних свердловин. Представлені різні види конструкцій та схем цементування водозабірних свердловин. Розглянуті причини кольматації фільтрів водозабірних свердловин та прифільтрової зони продуктивного пласта. Викладені імпульсні методи відновлення продуктивності водозабірних свердловин шляхом руйнування кольматанта. Дано опис устаткування, викладені питання технології і розрахунку основних параметрів. Показана ефективність імпульсних методів і області можливого їх використання.

Для інженерів і техніків, які займаються питаннями експлуатації водозабірних свердловин.

Рекомендовано до друку Робочою секцією геодинаміки вибуху Вченої ради Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України (протокол № 3 від 30.03.2011 р.).

ISBN 978-966-02-6119-8

© Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна
НАН України, 2011
© В.П. Нагорний, 2011

Зміст

Передмова	5
Розділ 1. Буріння водозабірних свердловин	7
1.1. Елементи свердловини	7
1.2. Способи руйнування гірських порід	9
1.3. Ударно-канатне буріння	11
1.4. Обертальне буріння	35
1.4.1. Сутність буріння	36
1.4.2. Буріння з прямою промивкою	37
1.4.3. Буріння із зворотною промивкою	43
Розділ 2. Конструкція водозабірних свердловин	58
Розділ 3. Цементування водозабірних свердловин	82
Розділ 4. Кольматація фільтрів водозабірних свердловин та прифільтрової зони пласта	92
4.1. Причини забруднення фільтрів та прифільтрової зони продуктивних пластів	92
4.2. Чинники, що впливають на тривалість роботи водозабірних свердловин	95
4.3. Інтенсивність кольматаційних процесів	99
4.4. Виявлення кольматації свердловин	102
4.5. Профілактичні заходи щодо уповільнення кольматаційних процесів в свердловинах	103
Розділ 5. Імпульсні методи відновлення продуктивності свердловин на воду	105
5.1. Загальна характеристика імпульсних методів	105
5.2. Основні положення вибухового очищення фільтрів та прифільтрової зони пласта	114
5.2.1. Відновлення продуктивності водозабірних свердловин вибухом торпед з детонуючого шнура (ТДШ)	116
5.2.2. Торпедування свердловин фугасними торпедами	123
5.2.3. Використання газової детонації	127
5.2.4. Розрив пласта тиском порохових газів	131
5.2.5. Очищення фільтрів свердловин, що знаходилися в експлуатації	137
5.2.6. Специфіка вибухових робіт в свердловинах	144
5.3. Електрогідроударний метод	148
5.4. Пневмовибуховий метод	155
5.5. Імплозійний метод	158

5.6.	Вібраційний метод	161
5.7.	Акустичний метод	166
5.8.	Метод вакуумування	168
5.9.	Комбіновані методи	170
5.10.	Вибухові роботи в свердловинах з неміцними фільтрами . .	180
Список використаної літератури		185

ПЕРЕДМОВА

Досвід експлуатації водозаборів підземних вод показує, що їх проектна продуктивність може істотно знижуватися в часі. Однією з причин цього явища можуть бути різні види кольматажу фільтрів та прифільтрових зон свердловин. Для збільшення терміну служби фільтрів виникає необхідність проведення заходів щодо декольматації і відновлення продуктивності водозаборів.

Для відновлення продуктивності свердловин використовуються імпульсні, реагентні та комбіновані методи.

Даний довідник призначений для широкого кола фахівців, що займаються питаннями підвищення дебіту водозабірних свердловин із застосуванням імпульсних методів. Появі цієї книги передували аналіз ефективності стимулювання роботи водозабірних свердловин імпульсними методами, а також дослідження з виявлення впливу різних чинників на успішність і ефективність обробок.

Імпульсні методи відновлення продуктивності і освоєння свердловин на воду засновані на створенні всередині фільтра і в привибійній зоні миттєвого перепаду тиску, що призводить до ударних навантажень різної інтенсивності і створення фільтраційних потоків змінного напрямку при значних градієнтах. Сукупна дія ударних і фільтраційних сил спричиняє руйнівний ефект на кольматант, що цементує фільтр і привибійну зону свердловини. Ці методи застосовують частіше за інші, що пояснюється простотою використововуваного устаткування і значним ефектом, що досягається після відносно нетрудомістких робіт. Для відновлення дебіту водозабірних свердловин в них здійснюють вибух торпед із детонуючого шнура, електрогідралічний удар, пневмовибух, імпульзію. Подібну дію свердловини зазнають при пульсуючому прокачуванні ерліфтом, пусаках–зупинках заглибинних насосів, свабуванні, гідралічних ударах у фільтрах, що викликаються скиданням в них желонки або якого-небудь іншого вантажу, а також створенням вибухової суміші газів безпосередньо над вибоєм відновлюваних свердловин.

Найбільш тривалий час (більше 25 років) застосовується імпульсний метод із використанням вибуху торпед із детонуючого шнура. Широкий розвиток отримав також імпульсний метод з електрогідралічним ударом, що здійснюється за допомогою установок, що випускаються серійно. Пневмовибухова обробка

свердловин пов'язана з вихлопом у фільтрі стисненого повітря. Імплозійна дія здійснюється шляхом створення розрідження в зоні фільтра водозабірної свердловини.

При написанні книги були використані матеріали численних досліджень, опублікованих в науково-технічній літературі, Інтернет-виданнях, а також рекомендаціях з різних способів імпульсної обробки фільтрів і привибійної зони водозабірних свердловин, розроблених інститутами НДІ ВОДГЕО, АЗНДІ водних проблем, Раменського відділення НДІ геофізика, Миколаївського СКБ НПО «Агроприлад», ІГФ ім. С.І. Субботіна НАН України з підвищення дебіту водозабірних свердловин із застосуванням імпульсних методів. Викладений матеріал слід розглядати як довідково-методичний, а тому остаточне рішення з вибору технології і режимів обробки водозабірних свердловин повинна приймати геолого-технічна служба після вивчення всіх умов роботи свердловин.

Всі зауваження і побажання, висловлені по роботі, слід направляти на адресу видавництва. Автор буде щиро вдячний і використовуватиме їх в своїй подальшій діяльності.

Автор висловлює вдячність Я.О. Юшиній за підготовку комп'ютерної верстки книги.

Розділ 1

БУРІННЯ ВОДОЗАБІРНИХ СВЕРДЛОВИН

Бурові свердловини є найбільш економічними і ефективними спорудами для видобування підземних вод. В окремих випадках, за відсутності централізованого водопостачання, свердловини можуть бути єдиною можливим способом забезпечення потреби у водопостачанні. Водопонижувальні (дренажні) свердловини споруджуються при необхідності пониження рівня ґрунтових вод для захисту від підтоплення заглиблених споруд виробничих підприємств, при розробці корисних копалин і меліорації.

1.1. Елементи свердловини'

Буровою свердловиною називається штучна циліндрична гірська виробка в земній корі, що має малі поперечні розміри в порівнянні з глибиною. Діаметри свердловин змінюються від 25 до 1 000 мм і більше (при проходці шурфів і стовбурів шахт їх діаметри досягають 8 000 мм). Глибина свердловин змінюється від 5 м до 10 км і більше.

Найглибші свердловини бурять з метою пошуків і розвідки нафти і газу та вивчення глибинної будови земної кори. При розвідці родовищ твердих корисних копалин глибина свердловин, пробурених з відбором керна, перевищила 4 000 м.

Елементами бурової свердловини є (рис. 1.1) [1]:

- вибій – дно свердловини, що заглиблюється в процесі її проходки; вибій може руйнуватися по всій площі 8 або по кільцю 6 із залишенням в центральній його частині незруйнованого стовпчика породи – керна 7, що є наглядним геологічним зразком;
- стінки 9 – бічна поверхня бурової свердловини;
- гирло 1 – лінія пересічення бічної поверхні свердловини із землею поверхнею;
- стовбур – простір, обмежений стінками свердловини (2 – обсаджений трубами 3; 5 – не обсаджений);
- вісь свердловини 4 – траєкторія, що описується в просторі центром вибою, що заглиблюється.

'При викладенні матеріалу підр. 1.1, 1.2 використано роботу [1].

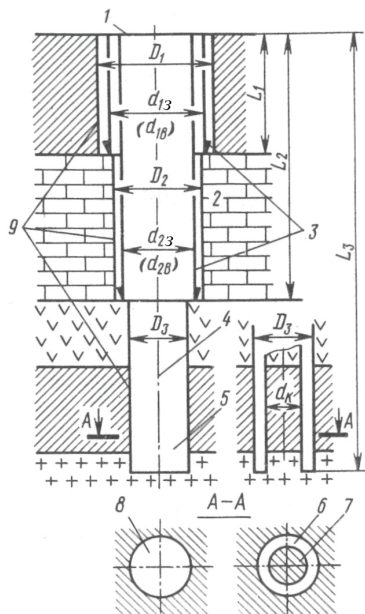


Рис. 1.1. Елементи бурової свердловини

Свердловина, що є інженерною спорудою, характеризується конструкцією, тобто її будовою в земній корі. Конструктивні параметри свердловини:

- діаметри стовбура D_1 , D_2 , D_3 – прийнято діаметр свердловини приймати рівним діаметру породоруйнуючого інструменту;
- загальна глибина L_3 ;
- інтервали закріплення стовбура L_1 , L_2 , складеного нестійкими породами; вказані інтервали перекриваються трубами, що називаються обсадними;
- діаметри d_{13} , d_{23} , d_{16} , d_{26} (зовнішній «з» і внутрішній «в») обсадних труб;
- інтервали заповнення затрубного простору (кільцевий зазор між стовбуром свердловини і зовнішнім діаметром обсадних труб) непроникним матеріалом для відокремлення пластів, що пересікаються;
- при бурінні свердловин на рідкі корисні копалини (нафта, прісні і мінеральні води) в поняття «конструкція свердловини» входить також її будова в межах продуктивного пласта.

1.2. Способи руйнування гірських порід

Для поглиблення свердловини на її вибій необхідно передавати певну кількість енергії. Залежно від виду енергії, що передається, розрізняють такі способи руйнування гірських порід: механічні, електромагнітні, термічні, термомеханічні і хімічні. У свою чергу кожен із вказаних способів руйнування диференціюється на методи передачі енергії породі [1].

При *механічних способах* гірська порода руйнується різанням, стиранням, сколюванням, дробленням і ущільненням. Вибій руйнується шляхом дії на його поверхню зовнішніх механічних навантажень, які можуть передаватися такими методами: за допомогою контакту твердого тіла (породоруйнуючого інструменту) або рідини чи газу, що мають велику енергію; за допомогою комбінованої дії породоруйнуючого інструменту, рідини чи газу на породу вибою.

В даний час руйнування вибою дією породоруйнуючого інструменту є основним методом передачі енергії. На практиці застосовуються наступні його різновиди (рис. 1.2).

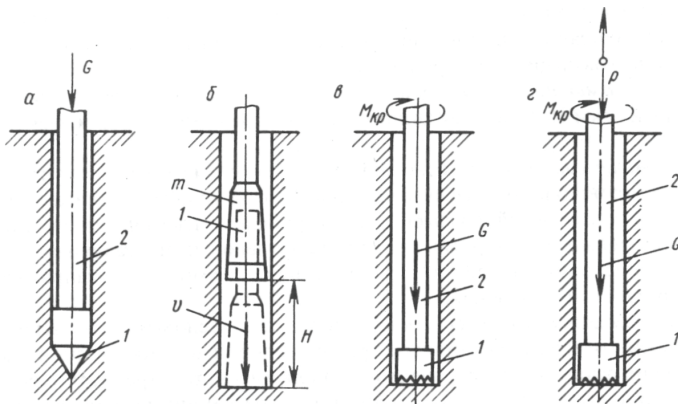


Рис. 1.2. Методи передачі зовнішніх навантажень на вибій свердловини при механічних способах руйнування

Утисування полягає в дії на вибій породоруйнуючого інструменту 1, до якого через проміжну ланку 2 прикладене осьове статичне навантаження G значної величини (рис. 1.2, а). Під дією вказаної сили м'які породи ущільнюються в стінки свердловини, в результаті відбувається поглиблення вибою.

Ударний метод (рис. 1.2, б) полягає в тому, що снаряд великої маси m з породоруйнуючим інструментом I , що має форму клину, періодично піднімається над вибоєм на висоту H і скидається. При зустрічі із вибоєм породоруйнуючий інструмент, набуваючи передударної швидкості v , має енергію $E = mv^2 / 2$ і передає частину її породі, викликаючи руйнування. Подальші удари інструменту завдаються незруйнованим ділянкам вибою, формуючи його круглу форму.

Обертальний метод (рис. 1.2, в) реалізується при дії на породу породоруйнуючого інструменту I , до якого через проміжну ланку 2, що представляє собою колону сталевих труб, прикладені осьове статичне навантаження G і крутний момент $M_{кр}$. Під дією вказаних навантажень відбувається різання, сколювання і стирання породи вибою. Обертальний спосіб в даний час найбільш універсальний і застосовується при бурінні порід будь-якої твердості.

Ударно-обертальний метод (рис. 1.2, г) полягає в передачі через проміжну ланку 2 породоруйнуючому інструменту I , окрім осьового статичного навантаження і крутного моменту, ударних імпульсів з силою P певної енергії і частоти (900–5 000 уд./хв.). Генераторами ударних імпульсів служать спеціальні машини (гідро- або пневмоударники, вибійні вібратори), що встановлюються безпосередньо над породоруйнуючим інструментом або проміжною ланкою. Ударно-обертальний метод підсилює ефект руйнування твердих порід.

При *гідромоніторному методі* на вибій постійно діє високонапірний струмінь, під дією якого в породі виникає руйнівне зсувне напруження. Створено інструмент для гідравлічного буріння гідрогеологічних свердловин в м'яких породах, що використовує для руйнування струмінь води під тиском 1–3 МПа. При тиску 70–100 МПа струмінь рідини руйнує і тверді породи.

Гідроерозійно-обертальний метод полягає в дії на вибій породоруйнуючого інструменту, що обертається, і двофазного потоку: струменю рідини, що витікає з насадки гідромонітора при перепаді тиску до 35 МПа з швидкістю понад 200 м/с, і абразивних часток (кварцовий пісок, сталевий дріб).

Гідромоніторно-обертальний метод полягає в комбінованій дії на вибій породоруйнуючого інструменту і високонапірного струменя рідини.

Електромагнітні способи засновані на передачі енергії породи електричним пробоем, дією електричного або магнітного полів.

Термічні способи засновані на прямому або непрямому нагріванні породи, що призводить до її руйнування. До цієї групи відносяться: вогнеструминний, плазмовий, плазмо-вогнеструминний, електродуговий, електронагрівальний, лазерний, електронно-променевий та ін. Руйнування породи відбувається від дії виникаючої термічної напруги або в результаті плавлення.

Термомеханічні способи руйнування засновані на передачі певному об'єму гірської породи теплової і механічної енергій. Найчастіше теплова енергія використовується для попереднього зниження міцності породи, а остаточне руйнування здійснюється механічною дією породоруйнуючого інструменту.

Хімічні способи засновані на розчиненні і вилугуванні гірських порід і самостійно не застосовуються.

В даний час при бурінні в переважній більшості застосовуються різновиди механічного способу руйнування, засновані на дії породоруйнуючого інструменту на гірську породу. Механічна енергія передається вибоєм за рахунок прикладення зовнішніх навантажень безпосередньо до породоруйнуючого інструмента або через проміжну ланку (наприклад, через колону бурильних труб). Інші механічні способи (гідромонітор, гідромоніторно-обертальний, гідроерозійно-обертальний) застосовуються значно рідше. Надалі розглядатимуться лише способи буріння, засновані на механічному руйнуванні вибоєм свердловин за допомогою породоруйнуючих інструментів.

В практиці буріння свердловин на воду найбільш широке застосування отримали наступні способи буріння:

- ударно-канатний;
- обертальний з прямою промивкою;
- обертальний з продувкою повітрям;
- обертальний із зворотною промивкою.

1.3. Ударно-канатне буріння'

Бурові установки ударного буріння

Найбільше застосування отримали станки ударно-канатного буріння УГБ-3УК та УГБ-4УК. Конструкції цих станків аналогічні.

При викладенні основ ударно-канатного буріння свердловин використаний матеріал роботи [2].

Буровий станок УГБ-3УК змонтований на двовісному колісному причепі (рис. 1.3). Привід здійснюється від електродвигуна, за відсутності електроенергії у якості приводу може використовуватися трактор. Від електродвигуна обертання через клиноремінну передачу передається на головний вал, а від нього за допомогою фрикційних муфт і зубчастих коліс приводяться у дію ударний механізм, талевий та желонковий барабани. Інструментальний барабан має привід у вигляді ланцюгової передачі.

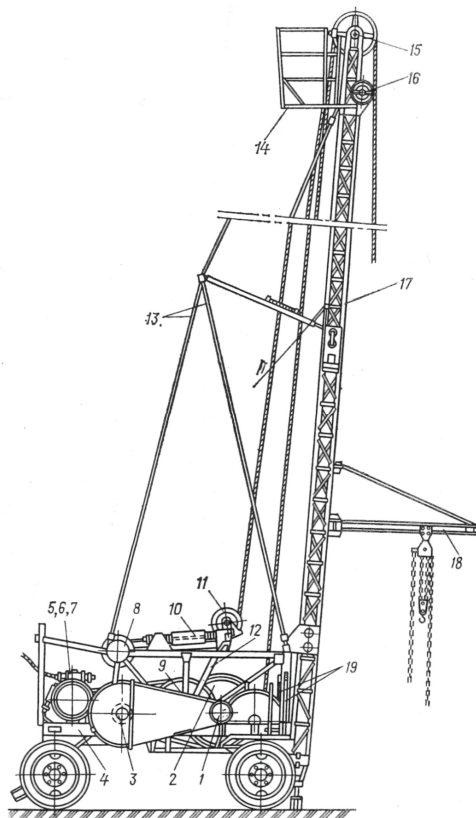


Рис. 1.3. Буровий станок УГБ-3УК:

- 1 – головний вал; 2 – приводний шків; 3 – інструментальний барабан; 4 – рама станка;
 5, 6, 7 – електродвигун, магнітний пускач, трансформатор понижуючий; 8 – направляючий
 ролик; 9 – ударний вал; 10 – відтяжна (балансирна) рама; 11 – відтяжний ролик;
 12 – шатун; 13 – трубчасті розтяжки щогли; 14 – помости; 15, 16 – ролики
 інструментального і желонкового барабанів і талевої системи; 17 – щогла; 18 – кран-косяк

Ударний механізм складається з відтяжної рами, шатунів і кривошипа (рис. 1.4). Висота підйому бурового снаряда над вибоєм регулюється перестановкою пальця кривошипа. Швелерні балки відтяжної рами закріплені з одного боку на осі і вільно обертаються в підшипниках, встановлених на стійках рами станка; також на осі розташований направляючий ролик. Протилежна частина рами сполучена з віссю, що зв'язана з шатунами, на цій осі встановлений відтяжний ролик. Для зниження динамічних навантажень на ударний механізм на відтяжному ролику є пружинні амортизатори. При русі рами вгору відтяжний ролик разом з коромислом, що коливається, також повертається вгору, що забезпечує збереження швидкості долота до моменту початку удару; компенсаційні пружини при цьому стискаються. Після удару долота об вибій натягнення канату слабшає, пружини подовжуються і переміщують відтяжний ролик вниз. Ударна рама починає рухатись вниз і процес повторюється. Щоб усунути удари штоків, на їх кінцях встановлені короткі амортизаційні пружини, що обмежують зворотний хід коромисла.

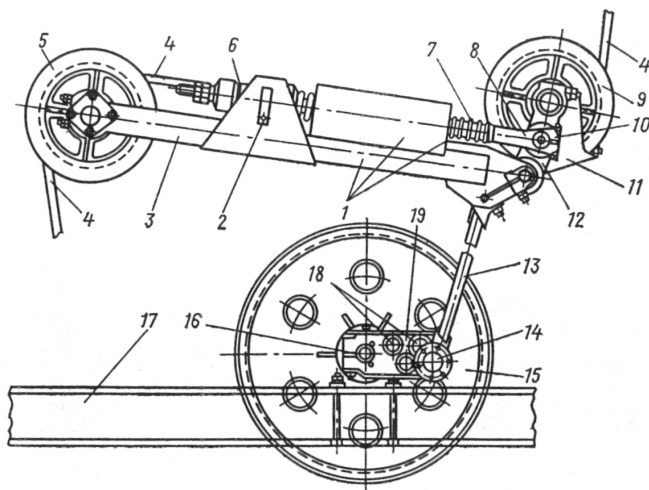


Рис. 1.4. Ударний механізм станка УГБ-ЗУК:

- 1 – відтяжна рама; 2 – опора для пружини; 3 – швелерні балки відтяжної рами; 4 – канат;
 5 – направляючий ролик; 6 і 7 – пружини амортизатора; 8 – шток; 9 – відтяжний ролик;
 10 – вісь; 11 – запобіжна скоба; 12 – коромисло; 13 – шатун; 14 – палець; 15 – шестерня
 ударного механізму; 16 – вал ударного механізму; 17 – рама станка

Частота ударів регулюється трьома змінними шківками клиноремінної передачі.

Інструментальний барабан служить для спуску і підйому бурового снаряду. Кінець каната закріплений спеціальним затискачем, робоча частина каната відокремлена від решти частини диском. Стрічкове гальмо призначене для регулювання швидкості спуску бурового снаряду. Подача снаряду при бурінні здійснюється періодичним обертанням інструментального барабана шляхом розгальмування гальма. Желонковий барабан служить для спуску і підйому желонки, а також спеціальних інструментів при ліквідації аварій.

Талевий барабан призначений для виконання операцій по спуску і підйому обсадних колон. Щогла станка баштового типу. При транспортуванні станка верхня частина щогли телескопічно опускається і щогла укладається в горизонтальному положенні. Висування верхньої частини щогли і приведення її в робоче положення здійснюється шляхом опору ланки на кулачки і закріплення її болтами. До щогли кріплять кран-косяк, який використовують для допоміжних робіт, збирання і розбирання бурового снаряду.

На загальній осі розташовані ролики інструментального і желонкового барабанів, нижче яких встановлено три талевих ролики. Для безпечного обслуговування верхніх роликів на щоглі є огорожений майданчик. При бурінні щогла закріплюється канатними розтяжками, в нижній її частині розташований гвинтовий домкрат.

Управління станком здійснюється рукоятками важелів, які виведені на лицьову сторону станка. Електродвигун включається магнітним триполюсним контактором типу КТ-33. Кнопкове управління електродвигуном знаходиться біля пульта бурильника. Три реле типу РЕ 211/01 забезпечують захист електродвигуна від струмів короткого замикання. Реверсування електродвигуна здійснюється триполюсним перемикачем. Корпуси електродвигуна і шафи мають бути надійно заземлені.

Буровий станок УГБ-4УК. Конструкція цього станка (рис. 1.5) відрізняється від конструкції УГБ-3УК тим, що він має вищу щоглу, яка дозволяє успішно працювати з довгими обсадними трубами. Крім того, у нього досконаліша конструкція компенсаторів на ударному

механізмі. Короткі технічні характеристики станків УГБ-3УК і УГБ-4УК приведені в табл. 1.1.

Використання вібромолотів і вібраторів для витягання обсадних труб створює додаткові навантаження на щоглу станка, тому у деяких організаціях застосовують додаткові опори під щоглу.

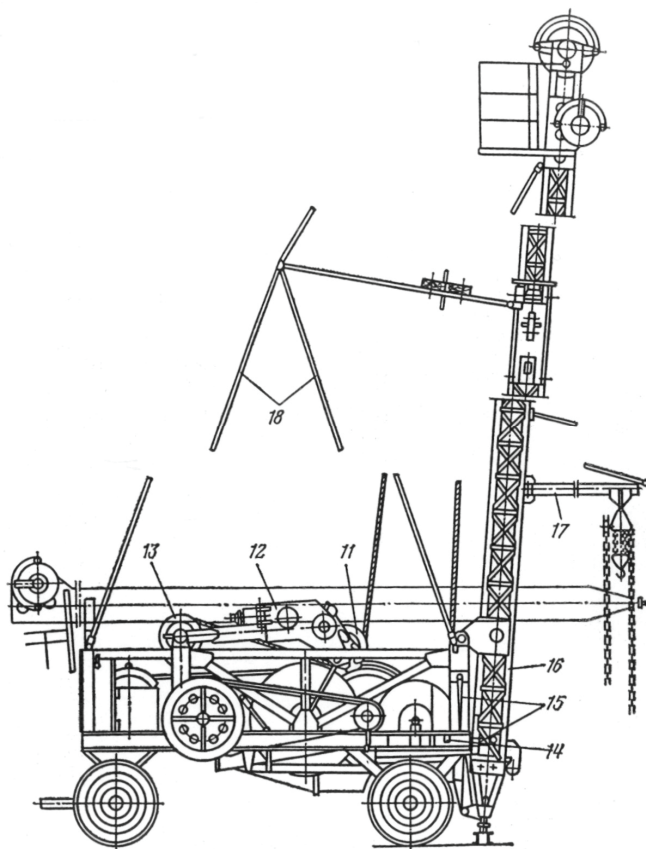


Рис. 1.5. Буровий станок УГБ-4УК (вигляд збоку):

- 1 – головний вал; 2 – клиноремінна передача; 3 – електродвигун; 4 – інструментальний барабан; 5 – станина станка; 6 – вал ударного механізму; 7 – важіль гальма талевого барабана; 8 – важіль гальма інструментального барабана; 9 – талевий барабан; 10 – желонковий барабан; 11 – відтяжний ролик; 12 – відтяжна рама; 13 – направляючий ролик; 14 – кнопковий пускач; 15 – важелі управління станком; 16 – щогла; 17 – косяк з блоком

Таблиця 1.1. Технічні характеристики станків [2]

Показники	УГБ-ЗУК	УГБ-4УК
Глибина буріння, м:		
максимальна	300	500
рекомендована	100	<150
Максимальний діаметр свердловини, мм	600	900
Максимальна маса бурового снаряду, кг	1 300	2 500
Тип електричного двигуна	АО-73-6	АО-93-08
Частота обертання, об./хв.	980	735
Потужність двигуна, кВт	20	40
Привід від двигуна	Клиноремінний	
Кількість ударів бурового снаряду за 1 хв.	40, 45, 50	
Висота підйому бурового снаряду над вибоєм, м	0,35–1,0	0,5–1,0
Вантажопідйомність барабану, кг:		
інструментального	2 000	3 000
желонкового	1 300	2 000
талевого	1 500	3 000
Середня швидкість навівки канатів на барабан, м/с:		
інструментального	1,1–1,37	1,1; 1,25; 1,42
желонкового	1,26–1,56	1,21; 1,38; 1,68
талевого	0,8–1,02	0,95; 1,08; 1,22
Діаметр каната, мм:		
інструментального	22	26
желонкового	15,5	17,5
талевого	15,5	22
Канатоемність барабанів, м:		
інструментального	350	500
желонкового	350	500
талевого	135	210
Висота щогли, м	12,25	16,0
Вантажопідйомність щогли, т	12,0	25,0
Габаритні розміри станка, м:		
у робочому положенні	5,80×2,30×12,75	10,00×2,64×16,30
в транспортному положенні	8,67×2,30×2,75	8,00×2,64×3,50
Маса станка, т	7,6	16,3

Бурова установка БУГ-100М дозволяє здійснювати ударне буріння у поєднанні з обертанням обсадної колони. Установка розроблена на базі станка БУК-75-2М і відрізняється від неї досконалішою конструкцією. До складу установки входять: буровий станок, металева вежа, трубні ключі, підкочувальні осі і буровий інструмент. Станок (рис. 1.6) складається з двигуна Д-37, коробки

передач, лебідки, відтяжного пристрою і механізму розходжування труб. Всі вузли змонтовані на рамі. Вишка баштового типу дозволяє використовувати одно- або триструнне талеве оснащення; піднімається і опускається за допомогою лебідки станка. Обсадні труби розходжуються спеціальними ключами, що приводяться в дію кривошипно-важільним пристроєм. В комплект устаткування входять ключі для розходжування труб діаметрами 426, 377, 325, 273, 219 і 168 мм. Підкочувальні осі ПО-6 застосовують для перевезення станка. Бурова установка БУГ-100М використовується для проходки в крихких незв'язних та крупноуламкових породах. Склад бригади – буровик і робітник. Установка БУГ-100М розроблена Гідропроєктом. Технічні характеристики бурового станка БУГ-100М приведені в табл. 1.2.

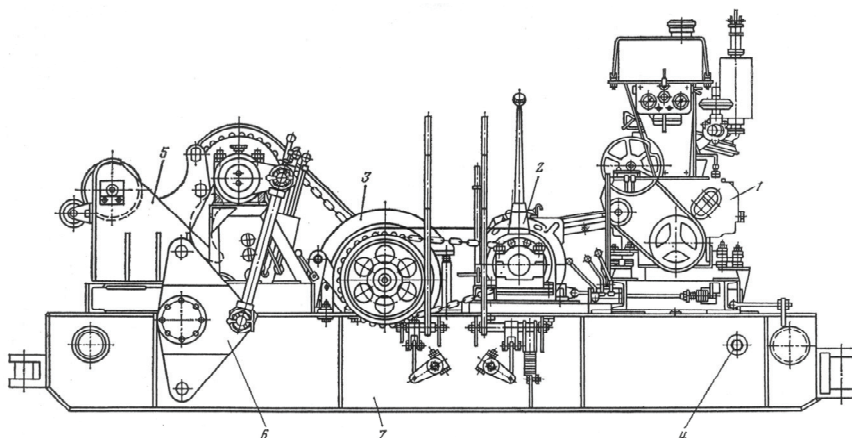


Рис. 1.6. Буровий станок БУГ-100М:

- 1 – двигун Д-37МС-2; 2 – коробка передач; 3 – планетарна лебідка; 4 – болт;
5 – відтяжний пристрій; 6 – механізм розходжування; 7 – рама

Буровий станок «Супер ЕДФ-55 Беното» (Франція) відрізняється від звичайних станків ударного буріння тим, що у якості породоруйнуючого інструмента в ньому використовуються грейфер і спеціальні желонки. Технічні характеристики даного станка приведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.2. Технічні характеристики бурового станка БУГ-100М [2]

Глибина буріння, м:	100
Діаметр обсадної колони, мм	168–426
Потужність двигуна, кВт	29
Башта: висота, м вантажопідйомність, кг маса, кг	11, 35 10 000 2 500
Максимальний крутильний момент механізму розходжування труб, кН·м	20
Кут оберту ключів за один хід, градуси	25
Кількість ходів за 1 хв.	30, 60
Підкочувальні осі ПО-6: кількість вантажопідйомність, кг маса, кг	2 4 000–5 000 1 100

Таблиця 1.3. Технічні характеристики станка «Супер ЕДФ-55 Беното» [2]

Діаметр свердловини, мм	430–1 200
Глибина буріння, м	100
Потужність дизельного приводу, кВт	137
Габарити, м: у робочому положенні в транспортному положенні	8,70×3,65×13,50 1,20×2,50×3,80
Маса установки, т	32

Станок має дві лебідки – основну і допоміжну – вантажопідйомністю 2,5 і 1,0 т, відповідно. Всі механізми станка гідрофіковані за допомогою 12 гідроциліндрів і 5 маслonaсосів. Станок пересувається спеціальним гідравлічним пристроєм. Тиск станка на ґрунт складає 0,03 МПа, що дозволяє йому працювати на ґрунтах невеликої міцності. Гідравлічні домкрати здатні задавлювати обсадні труби з силою 100–180 кН і витягувати їх з силою 600 кН. Зворотно-обертальний рух труб двома гідравлічними циліндрами з силою 300 кН дозволяє примусово спускати труби на проектну глибину і витягувати їх. Обсадні труби мають подвійну стінку із зазором 15 і 20 мм, жорстко зв'язану поперечними ребрами. Довжина ланок труб – 2, 4 і 6 м; діаметри труб – 670/600, 880/800, 970/890, 1080/1000, 1180/1100 (у чисельнику – зовнішній діаметр, мм, в знаменнику – внутрішній діаметр, мм). Труби з'єднуються на різьбі.

Башмак завдовжки 750 мм має зуби, які армовані твердим сплавом, і діаметр, що перевищує діаметр труб. Станок забезпечений підйомником для підтягання і піднімання труб та вантажів.

Грейфер залежно від діаметру має масу від 1,150 до 1,415 т.

Станки 20TH і 50TH фірми «Като» (Японія) дозволяють використовувати схеми ударно-канатного і роторного буріння. Станки пристосовані для буріння з прямою і зворотною промивками. При ударному бурінні використовуються долота і грейфери. Технічні характеристики станків 20TH і 50TH приведені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4. Технічні характеристики станків 20TH і 50TH [2]

Показники	20TH	50TH
Глибина буріння, м	30	300
Діаметр свердловини, мм	<2 000	<2 000
Крутильний момент обертання обсадних труб, кН·м	4,6	19,3
Потужність дизельного двигуна, кВт	48	95
Кількість дизелів	2	2
Габарити у робочому положенні, м:		
довжина	7,86	10,30
ширина	3,70	4,50
висота	14,50	15,80
Маса, т	31	50

Станок K1/T100 (Німеччина) призначений для ударного буріння свердловин з обсадними трубами діаметром від 620 до 1 020 мм, глибина буріння – 10 м. Гідравлічна система дозволяє задавлювати і провертати труби з максимальним крутильним моментом 468 кН·м; зусилля задавлювання складає 40, витягання – 580 кН. Габаритні розміри в транспортному положенні: довжина 11,00, ширина 3,50, висота 3,80 м, маса 16,8 т. Станок при діаметрі свердловини 1 000 мм забезпечує високі швидкості буріння: в пісках 1,55, в глинах 1,0–1,26, валунних суглинках і гальці 0,96 м/год.

У ряді установок, що випускаються за кордоном, використовуються погрузні пневмоударники і дешевші зварні обсадні труби. Задавлювання і витягання обсадних труб здійснюють за допомогою поліспастних систем. Анкерні якорі або гідродомкрати подвійної дії кріплять установку до ґрунту із зусиллям до 2 МН. Для охорони підземних вод від забруднення впроваджується затрубне

цементування. Велика частина бурових установок монтується на причепах.

У гравійно-галечникових відкладах широко використовують грейфери різних конструкцій. У складних гірничо-геологічних умовах застосовують установки комбінованого ударно-канатно-роторного буріння. Ротор найчастіше рухливої конструкції. Для збільшення вантажопідйомності шогл можуть встановлюватися додаткові А-подібні опори, що підвищує вантажопідйомність шогли до 1,5 разів.

В сучасних бурових установках кулачкові, зубчасті та інші аналогічні їм типи муфт замінені шинно-пневматичними. Для згвинчування і розгвинчування обсадних колон, підтягування інструменту та інших допоміжних операцій застосовують прості засоби механізації. Фірма «Санерсон-Циклон» (США) випускає установки ударного буріння восьми типорозмірів для свердловин діаметром 167–300 мм.

Фірма «Стардріл-Кейстон» виготовляє станок К-51 для буріння свердловин діаметром 360 мм на глибину до 150 м.

Бурові долота

Буровий снаряд складається з долота, ударної штанги, розсувної штанги і канатного замка (рис. 1.7). Деталі бурового снаряда з'єднуються між собою за допомогою різьбового конусного з'єднання. Згвинчування деталей має бути щільним, без зазорів на торцях деталей, що сполучаються, інакше ударне навантаження передаватиметься на різьбу і з'єднання розгвинтяться. Долото призначене для руйнування породи на вибої і обробки стінок свердловини. Воно складається з корпусу, що має жолоби для проходу шламу і води, робочої частини з лезами, шийки з пазами для ключа і різьбової головки. Шийка має насічки для полегшення витягування долота зі свердловини. Раціональний кут підгострювання долота для м'яких порід складає 70–80°, для середніх 90–105°, для твердих 110–120°, для міцних до 140°. Потрібний кут підгострювання надається долоту при його заправці. Долота виготовляються із сталі марок У8, У7, С63 і т. п. Після кування долота відпалюють, щоб твердість їх була 180–220 по Брінелю. Леза доліт гартуються на висоту полуторної товщини, твердість загартованої частини складає 350–400 по Брінелю. На шийці долота є клеймо з вказівкою основних розмірів долота і заводського номера. Кут скосу головки долота

зменшує сили тертя долота зі стінкою свердловини; для міцних порід він рівний 5° , для м'яких 7° .

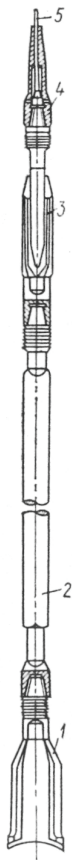


Рис. 1.7. Буровий снаряд:

1 – долото; 2 – ударна штанга; 3 – розсувна штанга; 4 – канатний замок; 5 – канат

У міцних породах застосовують долота, що мають увігнутий контур леза; кут нахилу досягає $3-6^\circ$.

Площа зіткнення робочих лез долота з породою характеризує поверхню долота; вона вимірюється у відсотках від площі вибою. У м'яких і середніх по твердості породах площа цієї поверхні складає 40–50 %, у міцних породах – 80 %.

Долота плоскі (рис. 1.8, *а*) призначені для буріння нетріщинуватих щільних порід. Розрізняють полегшені і важкі долота. Перші застосовуються для буріння твердих порід і мають поверхню дробіння 50–60 %. У тріщинуватих і твердих, в неоднорідних по твердості породах і за наявності твердих вкраплень у вигляді валунів застосовують хрестові (рис. 1.8, *б*), а також округлюючі (рис. 1.8, *в*) долота. Плоскі долота недостатньо обробляють стінки свердловини, тому широке застосування в практиці отримали двотаврові долота (рис. 1.8, *з*), що мають поперечні леза на зовнішньому контурі долота. Основні розміри доліт приведені в табл. 1.5.

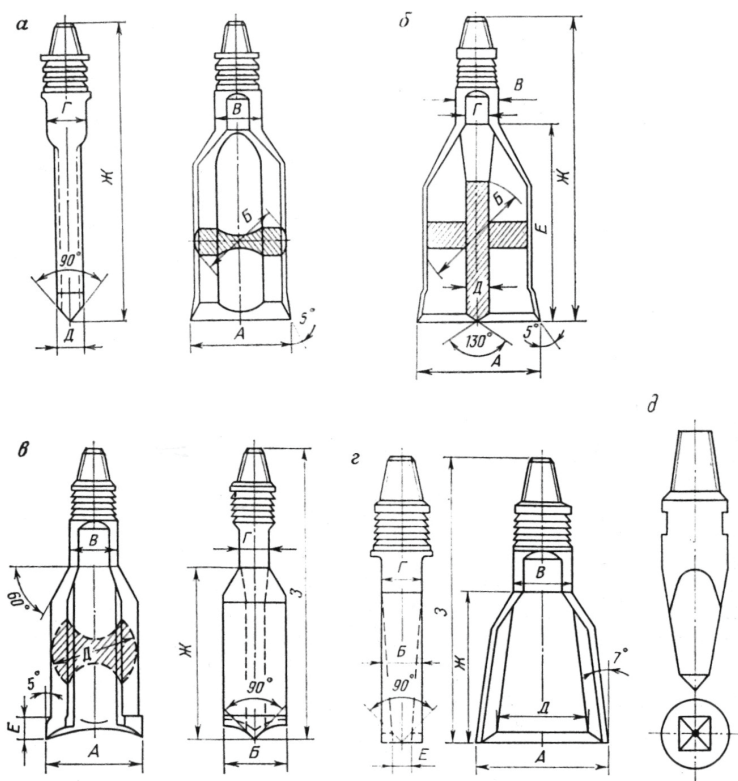


Рис. 1.8. Долота:

а – плоске; *б* – хрестове; *в* – округлююче; *з* – двотаврове; *д* – пірамідальне

Таблиця 1.5. Розміри доліт, мм (рис. 1.8) [2]

А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	Маса, кг
Долота плоскі								
148	128	112	84	64	—	650	—	42
198	178	140	102	70	—	750	—	70
248	228	165	128	85	—	850	—	120
298	278	165	128	85	—	900	—	140
345	322	188	140	90	—	1000	—	180
395	370	188	140	92	—	1050	—	220
445	420	220	152	95	—	1100	—	280
495	468	220	152	115	—	1150	—	340
595	570	220	152	140	—	1200	—	450
695	665	220	152	150	—	1300	—	520
Долота хрестові								
148	128	112	84	50	660	1000	—	66
198	178	140	102	60	715	1100	—	140
248	228	165	128	65	770	1200	—	210
298	278	165	128	70	770	1200	—	230
345	325	188	140	70	830	1300	—	350
395	370	188	140	70	830	1300	—	390
445	420	220	152	80	850	1400	—	580
495	470	220	152	90	950	1500	—	690
595	570	220	152	100	950	1500	—	980
Долота округлюючі								
148	90	112	84	125	50	810	1150	85
195	120	140	120	172	60	815	1200	120
245	160	165	128	220	65	870	1300	200
295	200	165	128	270	75	870	1300	310
345	230	188	140	320	85	880	1350	370
395	260	188	140	350	90	880	1350	398
445	300	220	152	400	95	950	1500	596
495	330	220	152	450	100	950	1500	700
595	400	220	152	550	140	950	1500	900
695	470	220	152	650	150	950	1500	1400
Долота двотаврові								
148	84	112	84	88	25	310	650	42.5
198	102	140	102	126	30	365	750	70

А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	Маса, кг
248	128	165	128	165	35	420	850	93
298	128	165	128	220	35	470	900	120
345	150	188	140	250	40	530	1000	180
395	140	188	140	300	—	580	1060	200
445	152	220	152	325	40	550	1100	320
495	152	220	152	375	50	600	1150	400
595	152	220	152	475	50	650	1200	440
695	152	220	152	575	60	750	1300	520
975	152	220	152	675	60	860	1400	570
850	152	220	152	730	60	950	1500	630

Ексцентричні долота мають робоче лезо, зміщене відносно тіла. Це забезпечує вільний спуск долота в обсадній колоні і можливість буріння стовбура діаметром, більшим за зовнішній розмір обсадної колоні. Такі долота застосовуються для оброблення стінок свердловини і посадки обсадних труб на велику глибину. Валуни дроблять пірамідальним долотом (рис. 1.8, *д*). У пластичних породах буріння може проводитися забивними стаканами (рис. 1.9).

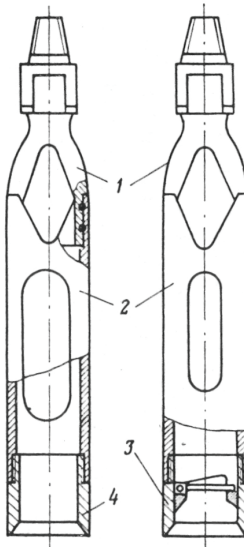


Рис. 1.9. Забивні стакани:

1 – вилка; 2 – корпус; 3 – башмак з клапаном; 4 – башмак без клапана

Желонки застосовують для буріння пухких порід і видалення шламу при використанні доліт в твердих і міцних породах. Желонки виготовляються з обсадних труб і відрізняються, головним чином, конструкцією клапанного вузла (рис. 1.10, а, б, в).

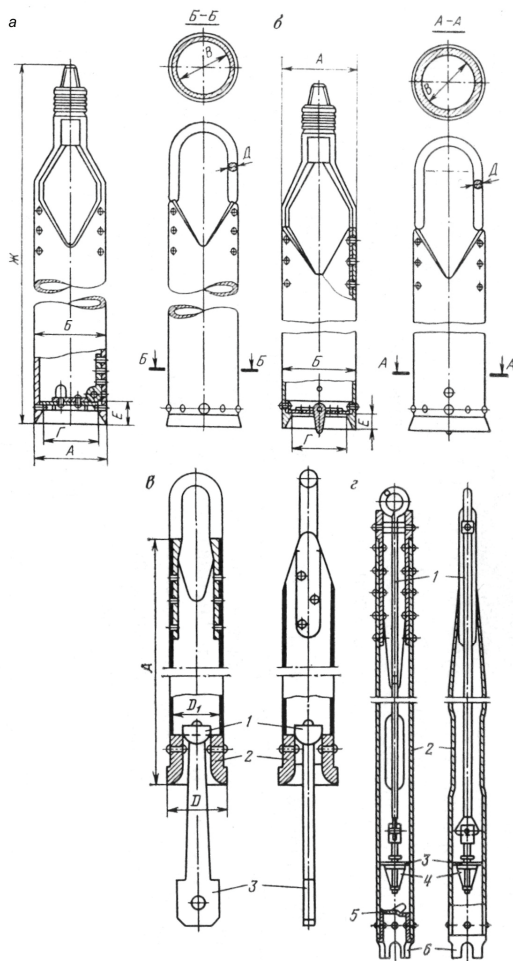


Рис. 1.10. Желонки:

а – з плоским одностулковим клапаном; б – з плоским двостулковим клапаном;

в – з напівсферичним клапаном і язиком: 1 – клапан, 2 – башмак, 3 – язик;

г – поршнева: 1 – шток, 2 – вікно, 3 – клапан, 4 – поршень, 5 – корпус, 6 – башмак

Желонки з плоским клапаном застосовують для проходки пухких водонасичених пісків і витягання шламу. В ущільнених водонасичених пісках прийнятні результати забезпечуються желонками з напівсферичним клапаном і язиком. При ударі такої желонки по вибою язик руйнує породу і сприяє кращому заповненню желонки породою. Такі ж якості мають желонки з ножем, встановленим на башмаку. Поршнева желонка (рис. 1.10, з) застосовується у разі, коли необхідно видалити розріджений шлам зі свердловини, а також для проходки водоносних пісків і пливунів. Розміри желонки приведені в табл. 1.6.

Таблиця 1.6. Розміри желонки, мм (рис. 1.10) [2]

А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	Маса, кг
Желонки з плоским одностулковим клапаном							
120	114	92	85	25	39	6175	85
173	168	140	125	30	55	4475	181
225	219	190	170	35	62	4450	248
285	273	235	215	40	80	4590	334
Желонки з плоским двостулковим клапаном							
335	325	260	245	40	60	4580	409
390	377	314	295	45	70	4720	522
435	426	356	340	55	75	4800	635
530	529	450	430	55	80	3900	800

У піщано-гравійних відкладах проходка може здійснюватися із застосуванням желонки, виготовлених з товстостінних обсадних труб, з товстостінним башмаком. Для збільшення енергії удару над желонкою встановлюють ударну штангу. Для того, щоб желонка не заклинювалася в трубах, її зовнішній діаметр має бути не більше $(0,75-0,8) D_{\text{вн}}$, де $D_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр обсадної колони, в яку опускають желонку.

Технологія буріння

В даний час ударне буріння свердловин на воду застосовується в обмежених масштабах. Проте, при бурінні свердловин у валунно-галечникових відкладах, поглинаючих розрізах, районах з утрудненим підведенням води і в ряді інших випадків використання цього способу буріння економічно доцільно. Ударний спосіб

розкриття пластів забезпечує незначні опори прифільтрових зон і високі питомі дебіти.

Останніми роками успішно застосовують віброзанурювачі для примусової посадки і витягання обсадної колони, що дозволяє значно знизити витрати обсадних труб при ударному бурінні та істотно підвищити його техніко-економічні показники.

Ударний режим руйнування гірських порід найбільш ефективний в крихких породах, в яких межа міцності на сколювання складає 6–9 % від межі міцності на роздавлювання. При ударному бурінні руйнування породи відбувається в динамічному режимі. Час удару долота по породі складає всього 0,003–0,005 с, тому роль сил тертя долота по породі значно менша, ніж при обертальному бурінні, і зношення доліт при ударному бурінні істотно менше, ніж в доліт і коронок при обертальному бурінні. При ударному бурінні долото довільно повертається довкола осі на деякий кут, тому рекомендується на канаті встановлювати хомут, який робітник після кожного удару повертає орієнтовно на 30°. Максимальна швидкість долота буде у момент його удару при вільному падінні в стовбурі свердловини, тому ударний механізм станка повинен забезпечувати цю швидкість.

Ефективне руйнування породи визначається кінетичною енергією при падінні бурового снаряда.

Вага бурового снаряда Q розраховується по формулі:

$$Q = Q_{\partial} + Q_{y.ш} + \frac{1}{2} Q_{p.ш}, \quad (1.1)$$

де Q_{∂} , $Q_{y.ш}$, $Q_{p.ш}$ – вага долота, ударної штанги, нижньої розсувної штанги, відповідно, Н.

Якщо породи нетріщинуваті і нев'язкі, то буріння ведуть без розсувної штанги, в цьому випадку вага бурового снаряда

$$Q = Q_{\partial} + Q_{y.ш} + Q_3, \quad (1.2)$$

де Q_3 – вага канатного замка, Н.

Вага каната у формулі (1.2) не враховується, оскільки в момент удару канат втрачає стійкість і лише трохи збільшує вагу бурового інструменту. Але вагу каната слід враховувати при визначенні вантажопідйомності інструментальної лебідки.

Вагу бурового снаряда вибирають, виходячи із значень відносної ваги

$$Q = qD, \quad (1.3)$$

де q – відносна вага інструменту, Н/см; D – діаметр долота, см.

Для гірських порід різної міцності рекомендується застосовувати відповідні значення q (в даН/см) (табл. 1.7).

Таблиця 1.7. Значення q для гірських порід різної міцності [2]

Гірські породи	Значення q
М'які і пухкі	15–25
Середньої твердості	25–40
Міцні	40–50
Дуже міцні	50–70

Відносна вага інструмента прямо пропорційна довжині та діаметру долота.

Абсолютна вага

$$Q = \varphi LD^2, \quad (1.4)$$

де φ – коефіцієнт пропорційності, $\varphi = 0,004\text{--}0,001$; L – довжина бурового інструмента, м; D – діаметр долота, м.

Із формули (1.4) видно, що в твердих і міцних породах, коли $q \geq 40$ даН/см, необхідна вага бурового снаряда досягається лише при чималих діаметрах долота. Тому в міцних і твердих породах необхідно бурити долотами діаметром більше 250 мм.

Максимальна допустима висота падіння снаряда $S_{\max}$ визначається за формулою

$$S_{\max} = [\sigma_{cm}]^2 / 3,2b, \quad (1.5)$$

де $[\sigma_{cm}]$ – допустима напружка на стискання, МПа; b – прискорення падіння снаряда в свердловині, м/с², $b \approx 4,5\text{--}6,5$ м/с².

Між числом ударів і висотою падіння бурового снаряда існує співвідношення:

$$n \approx 20\sqrt{b/s}, \quad (1.6)$$

де n – кількість ударів за 1 хв.; s – висота падіння снаряда, м.

Із збільшенням глибини буріння зростають пружні деформації каната, що може істотно змінити амплітуду коливань снаряда. Тому в глибоких свердловинах збільшують висоту падіння і знижують число ударів снаряда.

У твердих і міцних породах довжину каната регулюють так, щоб в статичному положенні долото не торкалось вибою на величину h . При роботі ударного механізму буровий снаряд продовжує рух вниз за рахунок пружних деформацій компенсаційного пристрою і повертання відтяжного ролика, а також пружних деформацій каната. При цьому долото досягає вибою з високою швидкістю і станок працює без ривків при підйомі снаряда.

Величину h вибирають згідно умови $h=(0,2-0,25)f$, де f – коефіцієнт міцності порід по М.М. Протодьяконову.

Прискорення вільного падіння снаряда в свердловині залежить від кількості шламу і характеру порід. У чистій свердловині $b \approx 8,75$, в глинистих породах 4,5–5,0, в скельних 6,0–6,5 м/с², тому число ударів в процесі рейсу слід змінювати. Проте в існуючих станках ударного буріння оперативно змінювати ні число ударів, ні висоту падіння снаряда не можна: на це треба витратити значний час. Вказана обставина є істотним недоліком і повинна бути врахована при проектуванні нових станків. Шламовий режим істотно впливає на швидкість буріння: збільшення щільності і в'язкості рідини підвищує опір руху снаряда, проте в такій рідині краще втримується шлам і на вибої не утворюється подушка із зруйнованої породи. Експериментально встановлено, що щільність рідини менше 2 г/см³ незначно позначається на кінцевій швидкості падіння снаряда, проте збільшення щільності понад 2 г/см³ істотно знижує швидкість. Висота стовпа рідини в інтервалі 0–4 м також істотно позначається на швидкості падіння снаряда, але при значеннях 5–7 м і більше, вона стабілізується.

Очищення свердловини желонкою і доливання води дозволяють регулювати щільність і висоту стовпа води. Якщо буріння ведеться у водонасичених породах, то в свердловину поступає пластова вода і доливання води можна обмежити або не доливати воду зовсім.

У нестійких пухких породах процес заглиблення поєднують з посадкою труб. Щоб викликати рух труб, здійснюють желонування. Не можна допускати, щоб желонка виходила з-під башмака труби більше ніж на 1,5–2,0 м, оскільки це може призвести до її прихоплення і заклинювання.

У пухких водовміщуючих породах, особливо якщо вони мають пливунні властивості, при очищенні свердловини в трубах утворюються піщані пробки внаслідок більш інтенсивного відбору води желонкою. При цьому посадка колони припиняється. Для ліквідації піщаних пробок в свердловину рекомендується заливати воду і підтримувати її рівень вищим за статичний рівень прохідного водоносного пласта.

Вихід колон підвищується, якщо процес буріння і обсадження ведеться в свердловині, заповненій водою. У цьому випадку тиск пласта стримується стовпом води і стінки свердловини знаходяться в стійкому стані. Оскільки вода фільтрується в пласти, то необхідно постійно доливати воду в свердловину і підтримувати її рівень на позначці, не менше чим на 2–3 м вищій за статичний тиск пласта. На практиці рівень води в свердловині підтримується біля гирла.

Якщо в пливунях створюються в свердловині високі пробки, то рекомендується заливати в неї глинистий розчин.

У різнозернистих водонасичених пісках проходка здійснюється желонкою з одночасною посадкою колони. Після заповнення желонки шламом на $1/3$ висоти її починають піднімати, не припиняючи при цьому посадки труб. У пісках прискорюють поглиблення, закидаючи жирну глину в свердловину, що сприяє зв'язуванню часток піску з глиною. Не можна допускати повного заповнення желонки шламом – це може призвести до переливу шламу через верхній відкритий кінець желонки і її заклинювання. Діаметр желонки в таких породах має бути в середньому на 100 мм менше внутрішнього діаметру труб. У водоносних пісках, особливо в пливунях, перехід на труби іншого діаметру не рекомендується. Проте, якщо це застосовується, то необхідно в свердловину закинути кульки жирної глини, утрамбувати їх болванкою або желонкою із закритим клапаном і лише після цього опустити колону. Діаметр колони має бути не менш ніж на 100 мм меншим діаметра попередньої труби. Глинисті кульки виконують роль тампонажного кільця, не дозволяючи поступати піску в міжтрубний зазор і заклинити колону.

У гравелистих пісках з вкрапленнями гальки слід застосовувати обважнюючі желонки, виготовлені з товстостінних труб. Інколи над желонкою встановлюють ударну і розсувну штанги. У м'яких породах застосовують плоскі долота, в породах середньої твердості – двотаврові. Після доливання води в свердловину слід перемішати шлам рухом снаряда вперед-назад.

При бурінні в глинах, для полегшення звільнення желонки від породи, можна застосовувати желонку із змінним башмаком (на різьбі).

Скорочення часу на звільнення желонки від породи досягається застосуванням двох желонок і почерговим їх спуском. Коли працює перша, друга очищається від породи.

У м'яких суглинках і глинах бурити можна подовженою желонкою з інструментального барабана станка.

У твердих тріщинуватих породах при бурінні застосовують хрестові долота або долота з великою дробильною поверхнею. Якщо тріщини великих розмірів і вода повністю в них поглинається, то періодично в свердловину закидають глину (частіше у вигляді кульок діаметром 4–7 см) і проводять буріння протягом 2–3 хв. насухо, потім доливають 2–3 л води, перед очищенням в свердловину повторно доливають воду.

У крупних і міцних валунах застосовують пірамідальні долота, причому снаряд вільно кидають в свердловину. Розвиваючи велику швидкість, снаряд розколює валун або відсовує його убік. У валунах застосовують також важкі округлюючі долота. Якщо ці методи не дають бажаного результату, то застосовують вибухові роботи. Після проходки інтервалу залягання валунів і крупної гальки необхідно відразу ж закріпити його обсадною колоною.

У багаторічномерзлій породі буровий снаряд може бути прихоплений в свердловині, тому важливо, щоб він знаходився весь час у русі. Для того, щоб понизити температуру замерзання води в свердловині, можна заливати воду, оброблену $NaCl$ (1 кг солі на 40–50 л води на 1 м проходки), а також і гарячу воду.

Ударне буріння відбувається із кріпленням стінок свердловини трубами. Для різних обсадних труб використовується буровий інструмент відповідних розмірів (табл. 1.8).

При використанні вібратора ВПФ-1 у водонасичених пісках рекомендується застосовувати желонки з подовжнім розрізом, що істотно полегшує процес виймання породи.

Проводити буріння свердловин великого діаметру і занурювати палі-оболонки діаметром 1 000–1 500 мм можна віброснарядами і віброгрейферами.

Таблиця 1.8. Типовий набір обсадних труб і бурового інструменту [2]

Обсадна труба				Буровий інструмент				
Зовнішній діаметр, мм	Діаметр муфти, мм		Рекомендована товщина стінки, мм	Номінальний розмір різьби, мм	Долото			
	стандартної	обточеної			Діаметр, мм		Маса, кг	
					долота	шийки	двотаврового	округлюючого
508	533	520	11	107×152	445	220	320	596
426	451	439	9; 10	101×127	395	188	200	398
377	402	390	9; 10	101×127	345	188	180	370
324	351	339	9; 10; 11	82×107	298 (295)	165	120	310
273	299	289	7; 8; 9; 10	82×107	248 (245)	165	93	200
219	245	235	7; 8; 9; 10	69×95	198 (195)	140	70	120
168	188	175	6; 7; 8; 9; 10	50×76	148	112	425	85

Продовження табл. 1.8

Буровий інструмент					
Ударна штанга		Розсувна штанга		Канатний замок	
Діаметр, мм	Довжина, м	Хід, мм	Маса, кг	Діаметр, мм	Маса, кг
220	2; 4	220	490	220	127
188	2; 4; 6	188	340	188	95
188	2; 4; 6	188	340	188	95
165	2; 4; 6	165	245	165	77
165	2; 4; 6	165	245	165	77
140	4; 6	140	166	140	56
112	4; 6	112	112	112	38

Рекомендовані режими ударного буріння приведені в табл. 1.9

Таблиця 1.9. Рекомендовані режими буріння [2]

Показники	Породи				
	м'які	середньої твердості	тверді	тріщинуваті	міцні
Тривалість рейса долота, хв.	2	8	17	25	35
Пройодка за рейс, м	1,0–1,6	0,7–1,0	0,4–0,7	0,5–0,7	0,3–0,4
Висота стовпа шлам, м	2,5	1,8	1,1	1,0	1,0
Кількість води, що доливається за рейс, л	60–70	40–60	20–50	30–50	20–30
Висота падіння долота, м	0,5	0,9	1,1	0,9	1,2

Технологічні режими буріння установкою УГБ-4УК при діаметрі обсадних труб 273 мм в породах V–VII категорій по буримості при використанні вібраторів ВО-10 і вібромолотів С-835 приведені в табл. 1.10.

**Таблиця 1.10. Технологічні режими буріння при використанні
віброзанурювачів (за даними М.Н. Климентова) [2]**

Параметри	Вібромолот ВО-10		Вібромолот С-835	
	занурення	витягання	занурення	витягання
Маса бурового снаряда, кг	800–1200	–	800–1200	–
Маса снаряда при очищенні свердловини, кг	450–600	–	450–600	–
Висота підйому снаряда, см	100	–	100	–
Частота ударів за 1 хв.	45	–	45	–
Тривалість рейсу долота, хв.	10–60	–	10–60	–
Тривалість очищення, хв.	2–20	–	2–15	–
Проходка за цикл, см	12–60	–	15–80	–
Кількість вмикань віброзанурювача за цикл	1–4	–	1–3	–
Тривалість роботи за одне вмикання віброзанурювача, хв.	2–5	5–15	1–3	5–10
Посадка труб за цикл, см	10–15	–	10–70	–
Навантаження на крію, кН	–	80–100	–	100–150

Дослідженнями В.М. Лукіна і В.В. Верстова встановлено, що продуктивність ударного буріння може бути значно збільшена при додатковій динамічній дії на вибій. Буровий снаряд з додатковими повздовжніми ударами використовує енергію рухомих мас ударного снаряда: ударник наносить серію ударів по ковадлу і долоту, тобто діє віброударний режим руйнування породи.

Буровий снаряд з додатковим крутильним ударом дозволяє діяти на породу не лише вертикальним, але й крутильним ударом. Ударник виконаний у вигляді гвинта, що входить в корпус. В момент удару долота по породі ударник рухається під дією сил інерції, при цьому розклинаються клинові пояси. Подальший рух ударника відбувається по гвинтовій лінії до моменту удару виступів по корпусу. Виникає крутильний удар, що сприяє сколюванню породи на вибої свердловини.

Буровий снаряд з додатковим розпушуванням вибою дозволяє здійснювати випереджаюче руйнування породи. Випробування снаряда показали, що швидкість проходки збільшується в 1,2–1,3 рази.

Всі гірські породи по буримості розділені на сім категорій. У табл. 1.11 наведена класифікація типових гірських порід по буримості при ударному бурінні.

Таблиця 1.11. Класифікація гірських порід по буримості [2]

Категорія гірських порід по буримості	Типові гірські породи
I	Торф і рослинний шар без коріння, пухкі піски, лесоподібні суглинки
II	Пухкі піщано-глинисті ґрунти з домішкою (до 20 %) дрібною гальки і гравію; глини пластичні, піщані
III	Піщано-глинисті ґрунти із значною (більше 20 %) домішкою щебеню, гравію і дрібною гальки; щільні глини і суглинки; піски-пливуни, сухі піски; лід
IV	Піщано-глинисті ґрунти з великим (більше 30 %) вмістом гальки або щебеню
V	Дрібний галечник без валунів; пісковики на вапняному і залізистому цементі; вапняк, доломіт, мармур
VI	Крупний галечник з невеликою кількістю дрібних валунів; окварцовані сланці, вапняки і пісковики; крупнозернисті вивержені породи
VII	Галечник з великою кількістю крупних валунів; крем'яністі сланці, вапняки і пісковики; дрібнозернисті вивержені породи

Провідні зарубіжні фірми США, Японії, Англії, Швеції та інших країн по суті відмовилися від класичної схеми ударного буріння. Розроблені й успішно застосовуються нові модифікації інструменту і устаткування, схеми комбінованого буріння. Японські установки SM_{22=R} мають лебідки підвищеної вантажопідйомності, застосовуються обважнючі желонки, що дозволяють працювати без розсувної і ударної штанг. Башмак желонки армується твердосплавним озброєнням залежно від властивостей порід.

Буріння у валунах успішно виконується комплектом американської фірми «Трайден», що включає долото, змішувач і рухливий молот. Долото армують змінними лопатями, які кріпляться до корпусу болтами. Для різних гірських порід застосовують леза з різним озброєнням і геометрією. Змішувач являє собою ударну штангу з двома подовжніми пазами і похилими ребрами. Переміщення змішувача в свердловині сприяє інтенсивнішому перемішуванню шламу і створенню зон турбулентності, що, у свою чергу, забезпечує краще утримання шламу в зваженому стані. Вибій ефективніше очищається від зруйнованої породи, що збільшує швидкість буріння і зменшує вірогідність викривлення свердловини.

Над змішувачем встановлюють рухливий молот, що являє собою порожнисту ударну штангу діаметром 114 мм і завдовжки 5,2 м, усередині якої переміщається бойок масою 135 кг. Між бойком і нижнім торцем ударної штанги розміщена пружина. Така конструкція забезпечує відставання удару бойка від удару долота по вибою. Зусиллям стиснутої пружини бойок відкидається вгору і виконує функції розсувної штанги. Тому в сухих породах розсувні штанги не застосовують.

В твердих аргілітах свердловину глибиною 54 м і діаметром 152 мм бурять за 6 днів з середньою швидкістю 8,85 м/зміну. При звичайній технології ударного буріння аналогічна свердловина буриться за 12 днів. Витрати на придбання комплексу устаткування окупляються за 30–45 змін роботи.

Багато зарубіжних фірм відмовилися від використання води у якості промивального агенту. Для цих цілей застосовують різні полімерні рідини і піни, що забезпечують краще очищення вибою від шламу та підвищують швидкість буріння.

Ряд зарубіжних фірм застосовує на ударній штанзі похилі ребра, що виконують роль турбулізаторів у стовпі рідини. В результаті шлам піднімається і утримується в зваженому стані, що покращує роботу долота. Швидкість буріння зростає приблизно в 2 рази.

1.4. Обертальне буріння

При обертальному бурінні руйнування породи на вибої свердловини відбувається за рахунок руху інструмента, що має форму різця, який рухається по гвинтовій лінії. Такий рух є результатом поєднання обертального і поступального рухів. Обертально-поступальний рух інструмента на вибої шпура або свердловини здійснюється за рахунок прикладання до бурового інструмента великого крутильного моменту і великих осьових зусиль. Величина забійної потужності від обертача N_o у машин обертального буріння залежить від крутильного моменту M , а останній, у свою чергу, залежить від осьового зусилля P , тобто для обертального буріння справедливе співвідношення

$$N_o = f[M(P)].$$

Обертальне буріння свердловин на воду має такі різновиди: обертальне буріння з прямою промивкою, обертальне буріння з продувкою повітрям, обертальне буріння із зворотною промивкою. Всі ці способи буріння на воду отримали широке розповсюдження.

Кожний із названих способів має свої плюси та мінуси. Основною перевагою обертального буріння є значна механічна швидкість проходки, але при обертальному бурінні необхідно забезпечувати свердловину водою і використовувати глинистий розчин, що в подальшому призводить до виконання робіт, пов'язаних із розглинизацією. При певних умовах можливо застосовувати

обертальне буріння свердловин із зворотною промивкою, не використовуючи при цьому глинистий розчин. Такий метод дозволяє досягти більш високих дебітів.

1.4.1. Сутність буріння

Суть роторного способу буріння полягає в тому, що порода на вибої руйнується буровим снарядом, який постійно обертається і давить на вибій. Розпушена порода виноситься на денну поверхню промивальною рідиною. Крім того, промивальна рідина охолоджує буровий наконечник і утримує стінки свердловини від обвалення. Є два способи такого буріння:

- з прямою промивкою;
- із зворотною промивкою.

При бурінні з прямою промивкою промивальну рідину подають по бурильних трубах, а із зворотною, навпаки, забирають через них.

Роторне буріння найчастіше використовують при:

- добре вивченому геолого-гідрогеологічному розрізі ділянки буріння;
- заздалегідь розвіданих і випробуваних водоносних горизонтах, для яких є детальна характеристика якості і кількості води; горизонти води характеризуються великими напорами;
- можливості проведення каротажу свердловини;
- можливості доставки води і глини до місця буріння.

Переваги роторного способу буріння такі:

- високі механічні та комерційні швидкості буріння;
- можливість буріння порід різної міцності на різних глибинах;
- невелика металоємкість конструкцій.

Недоліки роторного способу буріння наступні:

- при використанні глинистого розчину виникають утруднення якісного опробування водоносних пластів та їх освоєння, що призводить до зниження дебіту; спосіб вимагає тривалих і складних робіт по розглинизації свердловин;
- необхідність у забезпеченні бурильних установок водою і якісною глиною;
- труднощі буріння в пливунах та породах, що вміщують валунно-галечникові включення, які поглинають промивальну рідину;
- ускладнення організації робіт зимою при від'ємних температурах.

1.4.2. Буріння з прямою промивкою'

Бурова установка для буріння з прямою промивкою повинна мати самохідну установку з розміщеним на ній основним механічним обладнанням, щоглу для підвищування на тросі колони бурильних труб і бурового снаряда і циркуляційну систему з лотків і відстійників (рис. 1.11).

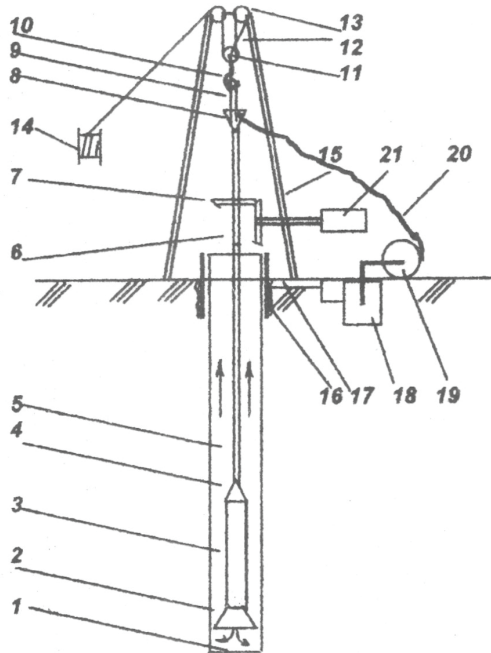


Рис. 1.11. Принципова схема роторного способу буріння:

- 1 – свердловина; 2 – долото; 3 – обважені бурові труби; 4 – перехідник; 5 – бурові труби; 6 – ведуча труба; 7 – ротор; 8 – вертлюг-сальник; 9 – штроп; 10 – гак; 11 – талевий блок; 12 – талевий канат; 13 – крон-блок; 14 – лебідка; 15 – щогла; 16 – цементация; 17 – жолоби циркуляційної системи; 18 – відстійник; 19 – насос; 20 – шланг; 21 – дизельний двигун

Буровий снаряд складається з долота, обважених бурових труб і перехідника. Він опускається в свердловину на колоні бурових труб

При викладенні основ буріння з прямою промивкою використаний матеріал робіт [1, 3].

труб. Верхня бурильна труба з'єднується з ведучою трубою, найчастіше, квадратного перерізу (може бути шестигранного, хрестоподібного). Ротор має отвір відповідного перерізу, який формується завдяки спеціальним плашкам і через який вільно проходить ведуча труба. Ротор приводить в обертальний рух дизельний двигун. На верхній кінець ведучої труби нагвинчується вертлюг-сальник, який забезпечує щільне з'єднання ведучої труби, що обертається, і нерухомого шланга. Цю систему підвішують штропом на гак, талевий блок, крон-блок (зверху щогли) і талевий канат. Таким чином, ротор передає оберти буровому снаряду через ведучу і бурильні труби. Долото, яке обертається у вибої, руйнує породу. Необхідний тиск на вибій забезпечує вага бурового снаряду і бурильних труб. Якщо потрібно підвищити тиск, нагвинчують важчу трубу (довшу або більшого діаметра). Промивальну рідину подають з відстійника насосом, а потім шлангом у вертлюг-сальник і у внутрішній простір бурильних труб. Виходячи з отворів у долоті, рідина частково може розмивати ґрунт, охолоджує долото, забирає розпушену породу, затрубним простором піднімає її вгору і крізь відгалуження в напрямній трубі витікає із свердловини. Далі рідина самопливом в лотках стікає у відстійник, відстоюється там, звільняючись від шламу, і знову закачується у свердловину. В свердловині промивальна рідина одночасно оберігає стінки від обвалювання.

У міру заглиблення свердловини канат поступово відпускають з барабана лебідки, під дією своєї ваги буровий снаряд заглиблюється і постійно тисне на вибій. Коли вертлюг-сальник опуститься до своєї нижньої граничної точки, ротор відключають від двигуна, буровий снаряд піднімають, підвішують над напрямною трубою і відгвинчують ведучу трубу. Потім нагвинчують нову бурильну трубу, з якою знову з'єднують ведучу трубу і, опустивши буровий снаряд на вибій, починають буріння. Так діють безперервно, поки не пробурять свердловину на потрібну глибину. Якщо долото потрібно замінити, буровий снаряд поступово піднімають на денну поверхню, роз'єднуючи при цьому колону бурильних труб і виймаючи окремі бурильні труби.

В таблиці 1.12 наведені технічні характеристики установок для роторного буріння.

Достатньо поширеною установкою для роторного буріння є установка УРБ-3АМ.

Особливістю установки УРБ-3АМ (рис. 1.12) є те, що буровий насос 10 встановлений не на рамі автомобіля і його кожний раз необхідно монтувати на спеціальних салазках поруч із станком.

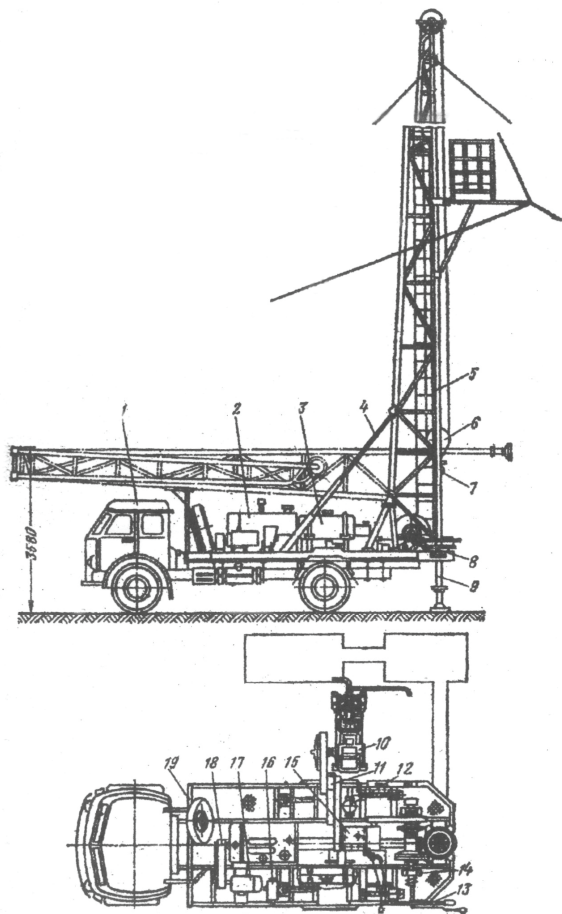


Рис. 1.12. Установка УРБ-3АМ:

- 1 – автомобіль МАЗ-500 А; 2 – дизельний двигун; 3 – паливний бак; 4 – гідродомкрати підняття щогли; 5 – щогла; 6 – талевий блок; 7 – вертлюг; 8 – ротор; 9 – гвинтові домкрати; 10 – буровий насос; 11 – контрпривід; 12 – масляний бак; 13 – важелі управління; 14 – лебідка; 15 – коробка передач; 16 – електроштит; 17 – електрогенератор; 18 – привід генератора; 19 – рама

Таблиця 1.12. Технічна характеристика самохідних установок для роторного буріння [3]

Технічні показники	Марка установок			
	УРБ-ЗАМ	УРБ-ЗАЗ	1БА15В	УБВ-600
Глибина буріння, м	300	600	500	600
Діаметр буріння, мм	243	243	394	490
початковий кінцевий	93	93	194	214
Механізм обертання: діаметр прохідного отвору, мм	250	250	410	410
частота обертання, с ⁻¹	1,8; 3,2; 5,2	1,25; 2,5; 4,75	1,1; 2,2; 4,1	1,8; 3,0
Механізм підйому: максимальна вантажопідйомність, т	2,8	3,5	5,2	9,0
діаметр каната, мм	15,5	18,0	18,0	25,0
ємність барабана, м	100	150	150	200
Щогла: вантажопідйомність, т	10,0	13,0	20,0	50,0
висота до осі крон-блоку, м	16	18	18	22,4
Буровий насос	11ГрБ	НБ-40	НБ-40	9МГр-61
Транспортна база	МАЗ-500А	МАЗ-500А	МАЗ-500А	КРАЗ-257
Потужність силового приводу, кВт	50	66	77	125,4

Багато бурових організацій самостійно реконструюють установку і встановлюють буровий насос безпосередньо на раму автомобіля між дизельним двигуном та ротором, що робить її більш мобільною та прискорює розвертання її на місцевості. При цьому використовують більш коротку і, відповідно, більш надійну клиноремінну передачу.

Роторне буріння з продувкою вибою стисненим повітрям застосовується при проходці сухих стійких порід або при невеликих водоприпливах у свердловину. Використання продувки дозволяє підвищити швидкість буріння в 1,5–3,0 рази. Це пояснюється тим, що при продувці відбувається розвантаження вибою від дії сили, обумовленої гідростатичним тиском стовпа промивальної рідини, внаслідок чого міцність породи знижується, а процес руйнування вибою інтенсифікується.

Стиснене повітря краще очищає вибій від шламу, не відбувається його переподрібнення, і шлам з високою швидкістю виноситься на поверхню; підвищується ефективність випробування по шламу, оскільки він не забруднений промивальною рідиною, а внаслідок високої швидкості винесення легко визначити інтервал випробування. При бурінні з продувкою відсутній розмив, розбухання і розчинення

порід. При проходці багаторічномерзлих порід стінки свердловини не розтеплюються, що запобігає їх обвалам. Спрощується організація робіт, особливо в зимовий час, знижується їх вартість за рахунок зменшення ускладнень і аварій, пов'язаних з поглинаннями промивальної рідини.

Недолік буріння з продувкою – неможливість його застосування при проходці нестійких порід (гравійно-галечникові відклади, піски, пластичні глинисті породи) і при великих водопритоках в свердловину.

Схема буріння з продувкою приведена на рис. 1.13. Від компресорів 1 стиснене повітря через замковий вентиль 2 поступає в трубопровід 3. Далі повітря через витратомір 4 і компенсатор 6 потрапляє в стояк, від якого через буровий шланг, вертлюг-сальник, головну бурильну трубу з герметизуючим пристроєм 9 і бурильну колону поступає на вибій і очищає його. Потім повітря із шламом піднімається до гирла свердловини і через викидну лінію надходить у шламоуловлювач 8.

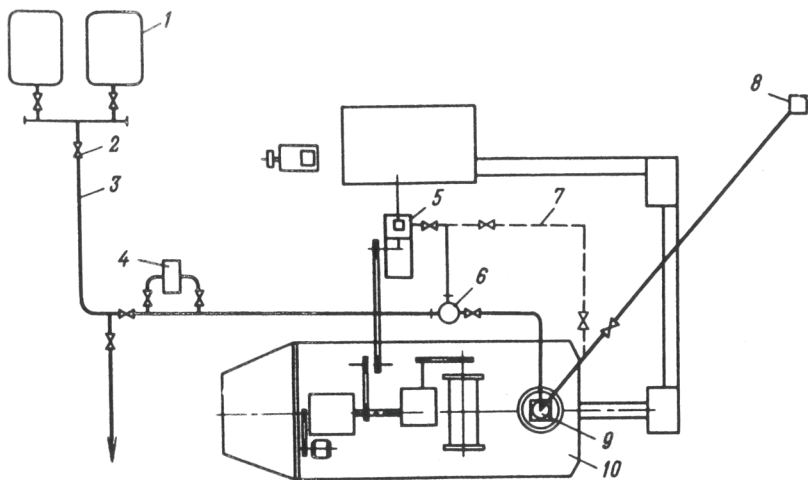


Рис. 1.13. Схема розташування устаткування при бурінні з продувкою

За необхідності переходу на буріння з промивкою глинистим або аерованим розчином передбачена установка бурового насоса 5. Напірна лінія 7 насоса сполучена з нагнітальною повітряною магістраллю, яка при бурінні з продувкою має бути випробувана на

полуторний робочий тиск. Компресор встановлюється на відстанях не менше 20 м від бурової установки 10 для зменшення шуму на місці робіт. Температура повітря, що нагнітається, має бути не більше 5 °С при бурінні багаторічномерзлих порід для уникання їх відтавання; в інших випадках – не вище 90 °С, щоб виключити руйнування нагнітальних шлангів.

Основне ускладнення при бурінні з продувкою – сальнікоутворення (налипання шламу на снаряд і стінки свердловини) в результаті попадання вологи з повітрям, що нагнітається. Це призводить до затягувань і прихоплень бурового снаряда. Для боротьби з цим ускладненням застосовуються поверхнево-активні речовини (ПАР) і свердловинні вологовіддільники. У повітря, що нагнітається, додають 10–15 л однопроцентного водного розчину ПАР (ОП-10, сульфол, ОП-7 та ін.) для утворення піни. Принцип свердловинних вологовіддільників заснований на закручуванні потоку повітря. В результаті виникаючих відцентрових сил волога відділяється і збирається в нижній частині корпусу вологовіддільника, а потім видаляється.

Основний параметр технологічного режиму буріння з продувкою – витрата повітря, що нагнітається, при відповідному тиску. Витрата повітря Q (у л/с) визначається за формулою:

$$Q = \nu_{en} \frac{\pi}{4} (D_o^2 - d^2), \quad (1.7)$$

де ν_{en} – швидкість висхідного потоку повітря, дм/с; D_o , d – діаметр долота і бурильних труб, відповідно, дм.

При цьому враховується те, що раціональна швидкість висхідного потоку складає 20–25 м/с. При малих (до 5 л/хв.) і середніх (до 10 л/хв.) водоприпливах витрата повітря має бути збільшена в 1,3–1,5 рази. Інші параметри режиму буріння залежать від фізико-механічних властивостей порід і конструкції породоруйнуючого інструмента і визначаються так само, як при бурінні з промивкою.

На даний час промисловість випускає пересувні компресори продуктивністю 5–10 м³/хв. повітря при робочому тиску 0,7–0,8 МПа, що обмежує глибину свердловин до 200–300 м. Широке впровадження в практику бурових робіт багатоступінчастих компресорів типу СД 15/25, що забезпечують продуктивність повітря

15 м³/хв. при тиску 2,5 МПа, дозволить значно збільшити глибину буріння цим способом.

1.4.3. Буріння із зворотною промивкою'

Технологія буріння

Роторний спосіб буріння з прямою промивкою глинистими розчинами не дозволяє розкривати водоносні пласти із збереженням фільтраційних властивостей порід в привибійній зоні і не забезпечує оптимальних режимів буріння зі збільшенням діаметрів свердловин. Погіршення фільтраційних властивостей порід в прифільтрової зоні, особливо при розкриті слабонапірних водоносних пластів, знижує дебіти та терміни експлуатації свердловин. Окрім того, неможливість забезпечити оптимальні режими буріння із-за недосконалості бурових установок, що використовуються, інструментів і насосів, які не дозволяють досягти необхідних осьових навантажень на вибій та швидкості висхідного потоку промивальної рідини, різко знижує швидкості буріння. Використання для промивки води і розчинів, що розпадаються, або буріння з подальшим розширенням стовбура в зонах водоносних пластів, а також різні ефективні способи освоєння (розглинизації) покращують показники буріння з прямою промивкою, однак відповідно до завдань буріння свердловин великих діаметрів такий спосіб істотно поступається способу буріння із зворотною промивкою.

До чинників, що визначають високі техніко-економічні показники буріння із зворотною промивкою, відносяться:

- збільшення швидкості буріння в 10–15 разів в порівнянні з роторним способом з прямою промивкою;
- можливість буріння свердловин кінцевим діаметром до 1,5 м і, відповідно, збільшення їх дебітів;
- можливість забезпечення значних потужностей гравійних обсыпок фільтрів (з вільним засипанням гравію з поверхні), що виключає піскування свердловин і збільшує тривалість їх експлуатації;
- запобігання глинизації водоносних горизонтів в результаті використання води в якості промивальної рідини;

При викладенні основ буріння із зворотною промивкою використані матеріали робіт [2, 3].

- можливість в процесі буріння точно визначити залягання інтервалів пробурених порід, оскільки шлам поступає з вибою на поверхню в чіткій послідовності, безперервно, з великою швидкістю і може легко відбиратися.

При бурінні із зворотною промивкою промивальна рідина (в більшості випадків використовується вода) поступає на вибій свердловини з приймальної ємності самопливом по кільцевому простору між бурильною колоною і стінками свердловини, захоплює частки зруйнованої долотом породи і через отвір в долоті піднімається на поверхню по внутрішньому перерізу бурильної колони, знову потрапляє в приймальну ємність, де частки породи осідають. Далі цикл повторюється.

Підйом промивальної рідини по бурильній колоні може здійснюватися трьома способами: всмоктуванням відцентровим насосом з попереднім включенням вакуум-насосу, ерліфтным відкачуванням з використанням компресора та гідроелеватором.

Найбільше поширення отримали два перші способи підйому промивальної рідини.

При всмоктуючому способі (рис. 1.14) для створення циркуляції спочатку необхідно опустити долото в шурф, заповнений рідиною. Потім ввімкненням вакуум-насосу створити розрідження у головній трубі і вертлюзі, в результаті чого рідина з шурфу через отвір в долоті піднімається по внутрішньому каналу головної труби. Після перетікання через відвідний патрубок вертлюга рідина спрямовується по приєднаному до нього рукаву. Другий кінець рукава закріплений на всмоктуючому патрубку відцентрового насоса, який вмикають у момент підходу перетікаючої рідини, забезпечуючи її підсмоктування і, відповідно, перекачування в приймальну ємність-відстійник. З приймальної ємності-відстійника рідина перетікає по жолобу в шурф і, таким чином, створюється циркуляція. З моменту ввімкнення відцентрового насоса і створення циркуляції вакуум відключають, включають ротор і починають процес буріння.

В процесі буріння із зворотною промивкою при використанні для створення циркуляції ерліфта (рис. 1.15) повітря закачується компресором по трубах в змішувач, що міститься в буровій колоні, рідина аерується і піднімається на поверхню.

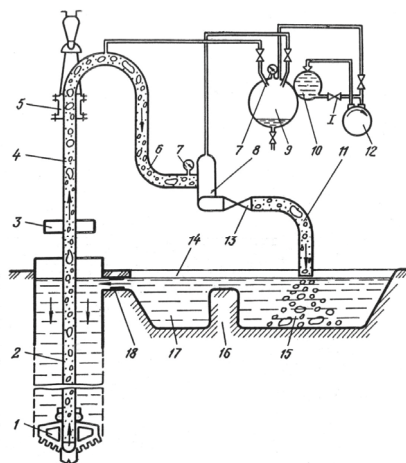


Рис. 1.14. Схема буріння із зворотною промивкою при використанні для створення циркуляції вакуум- і відцентрового насосів:

1 – долото; 2 – бурильна колона; 3 – ротор; 4 – робоча труба; 5 – вертлюг; 6 – рукав; 7 – вакуумметр; 8 – відцентровий насос; 9 – бак вакуумний; 10 – бак водяний; 11 – рукав зливний; 12 – вакуум-насос; 13 – засувка; 14 – амбар-відстійник; 15 – буровий шлам; 16 – перемички; 17 – промивальна рідина; 18 – жолоб для з'єднання шурфу з амбаром-відстійником

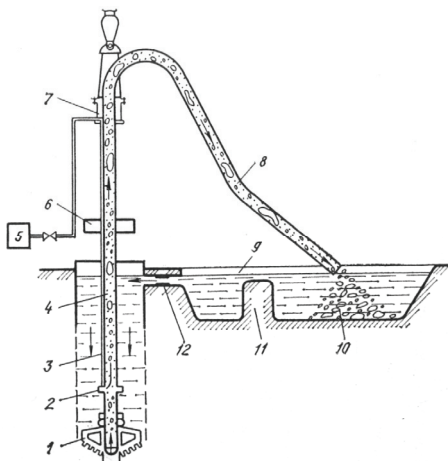


Рис. 1.15. Схема буріння із зворотною промивкою при використанні для створення циркуляції ерліфта:

1 – долото; 2 – змішувач; 3 – повітряні труби; 4 – бурильна колона; 5 – компресор; 6 – ротор; 7 – вертлюг; 8 – рукав; 9 – амбар-відстійник; 10 – буровий шлам; 11 – перемички; 12 – жолоб для з'єднання шурфу з амбаром-відстійником

Швидкість висхідного потоку промивальної рідини, що рухається по внутрішньому каналу бурильної колони, складає 2,0–3,5 м/с, що забезпечує підйом зруйнованої породи розміром до 140 мм і більше (залежно від діаметру бурильних труб) зі швидкістю 1,2–1,8 м/с. Такі високі швидкості виносу зруйнованої породи і можливість підйому часток значних розмірів створюють сприятливі умови для очищення вибою свердловин і роботи долота.

Завдяки високим швидкостям можна проводити буріння із зворотною промивкою свердловин великих діаметрів, аж до 1 500 мм. Відповідно до технологічних можливостей цього методу буріння створюється спеціальне бурове устаткування. Проте збільшення діаметрів свердловин більше 1 000 мм призводить до значного зростання вартості при порівняно неістотному поліпшенні експлуатаційних якостей свердловин, тому в практиці їх кінцеві діаметри складають 600 мм, в окремих випадках 800 і 1 000 мм. При таких кінцевих діаметрах свердловин можна встановлювати фільтри з великою площею фільтрації і створювати потужні гравійні обсіпки.

При бурінні із зворотною промивкою у якості промивальної рідини в більшості випадків використовують воду, що виключає колючу дію водоносних пластів, що розкриваються, дозволяючи відразу після закінчення буріння опускати фільтрову колону і обсіпати фільтри гравієм. Якщо висхідний потік рідини з вибуреною породою має високі швидкості, то низхідний потік, що омиває стінки свердловин, має малу швидкість руху (внаслідок великих діаметрів свердловин), що разом з підтримкою надлишкового гідростатичного тиску сприяє збереженню стійкості стінок свердловин. З урахуванням цих чинників, а також високих швидкостей буріння при спорудженні свердловин із зворотною промивкою, значно зменшується необхідність в проміжному кріпленні окремих інтервалів свердловин.

Буріння із зворотною промивкою доцільно вести в глинопіщаних розрізах. Застосовують його в породах з включенням гравійно-галечникових відкладів і навіть невеликих валунів. Цей спосіб буріння малопродуктивний в твердих породах. Буріння в м'яких, особливо сипучих породах, із-за інтенсивності промивки вибою водою і можливості винесення крупних шматків породи, характеризується ефективним руйнуванням вибою і високими швидкостями буріння. Проте здійснення промивки водою при бурінні в нестійких породах можливо лише при забезпеченні підпору нестійких порід деяким надлишковим гідростатичним тиском.

Багаторічний досвід буріння із зворотною промивкою показує, що надлишковий гідростатичний тиск, що гарантує стійкість стінок свердловин навіть в пливунах, складає 0,03 МПа. Це означає, що в свердловині над статичним рівнем вод завжди необхідно підтримувати додатковий стовп рідини заввишки не менше 3 м. Для створення такого надлишкового тиску потрібно, щоб статичний рівень підземних вод знаходився на глибині не менше 3 м від поверхні землі. Тоді при підтримці, в процесі буріння і кріплення свердловин, рівня промивальної рідини біля поверхні землі забезпечуватимуться додатковий стовп рідини і необхідний надлишковий тиск.

Отже, одна з основних умов можливості застосування буріння із зворотною промивкою в нестійких породах – наявність рівня підземних вод не ближче 3 м від поверхні землі. В окремих випадках можна проводити буріння при ближчому розташуванні підземних вод від поверхні, але для цього необхідно провести дослідження і розрахунки стійкості найбільш слабких ґрунтів для конкретного розрізу або пробурити контрольну свердловину. Відомі випадки, коли при відстані від поверхні до рівня ґрунтових вод 1,5–2,0 м, успішно споруджувалися свердловини із зворотною промивкою.

Потрібний надлишковий тиск при близькому розташуванні ґрунтових вод можна забезпечити, піднімаючи кондуктор над поверхнею і підтримуючи в ньому необхідну висоту стовпа рідини шляхом спорудження насипу або постаментів для підйому бурового станка. У станку УГБ-ЗУК-ОП для цієї мети спеціально передбачена роторна приставка, що піднімається. За кордоном в таких випадках застосовують пересувні крани, в яких можлива зміна висоти роторної приставки. Крім того, надлишковий тиск можна створити обважнюванням промивальної рідини.

При бурінні із зворотною промивкою водою відбувається значне поглинання промивальної рідини породами, що розкриваються. Інтенсивність поглинання залежить від фільтраційних властивостей порід.

На витрату води також впливають великі діаметри свердловин, що обумовлюють їх геометричні об'єми і суттєве підвищення площі фільтрації. Значний вплив на витрату води в одиницю часу мають досить високі механічні швидкості проходки із зворотною промивкою.

Слід враховувати і нерівномірність поглинань при різних

технологічних процесах спорудження свердловин. Так, значно збільшується інтенсивність поглинання при гідродинамічних діях на породи, що виникають при обертанні або спуску і підйомі бурового інструменту, при спуску обсадних і фільтрових колон.

Підвищення витрати води при бурінні із зворотною промивкою викликає необхідність одночасного збільшення її подачі на бурову для підтримки рівня рідини біля гирла свердловини, для попередження обвалення її стінок. Тому забезпечення бурової необхідною кількістю води – одна з умов можливості буріння цим методом. Кількість води, потрібної для проведення безперервного процесу буріння, коливається залежно від гідрогеологічних умов від 5–15 м³/год. в дрібнозернистих пісках і до 140 м³/год. в грубозернистих та гравелистих відкладах.

Досвід показує перспективність застосування при цьому способі буріння водогіпанових розчинів, що забезпечують зменшення на 30–40 % витрати води і збільшення стійкості стінок свердловин.

Бурові установки

Для здійснення буріння свердловин із зворотною промивкою зарубіжні фірми «Вірт», «Зальцгіттер» (Німеччина), «Фаллінг» (США), підприємства Румунії та інших країн випускають спеціальні бурові установки з комплектом необхідного інструменту, а також навісне устаткування, що використовується за допомогою автокранів.

Таблиця 1.13. Основні дані про бурові установки [2]

Країна	Фірма	Тип станка	Спосіб буріння	Максимальна глибина буріння, м	Максимальний діаметр свердловини, мм, менше
Німеччина	«Зальцгіттер»	PS-150	Ударний і всмоктуючий вакуум- і відцентровими насосами	200	275
		SW-200	Грейферний і всмоктуючий вакуум- і відцентровими насосами	200	1 275
		SW-300	Ударний і всмоктуючий з ерліфтом	450	1 500
	«Вірт»	L-2	Всмоктуючий з ерліфтом	380	1 000
		L-3	„-“	380	1 500
		L-4	„-“	600	2 000
		L-10	„-“	600	3 000
Румунія	–	FA-12	Ударний і всмоктуючий вакуум- і відцентровими насосами та ерліфтом	250	1 200

У табл. 1.13 приведені короткі відомості про зарубіжні бурові установки.

Кунгурським машинобудівним заводом розроблений і випускається буровий агрегат 1БА15К для буріння із зворотною і прямою промивками (рис. 1.16). Характеристики агрегату 1БА15К приведені в табл. 1.14.

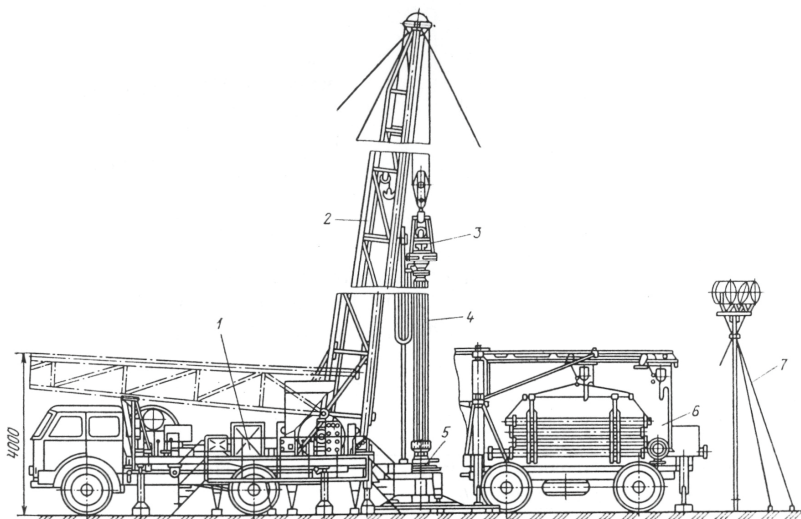


Рис. 1.16. Буровий агрегат 1БА15К:

1 – буровий блок; 2 – щогла; 3 – вертлюг; 4 – робоча труба; 5 – відкидний ротор;
6 – такелажний блок; 7 – блок прожекторів

Таблиця 1.14. Основні технічні характеристики бурових установок 1БА15К та FA-12 [2]

Показники	1БА15К	FA-12
Вантажопідйомність, т: номінальна максимальна	12,5 20	12,5 20
Основний спосіб буріння	Обертальний зі зворотною і прямою промивками	Обертальний зі зворотною промивкою і ударно-канатний
Рекомендована глибина буріння, м	250/500 (ерліфт/пряма промивка)	250/250 (ерліфт/ударний)
Рекомендований діаметр свердловини, мм	1 270/394	1 270/600

Продовження табл. 1.14

Транспортна база	Шасі МА3-500А	Причіп двоосний
Тип силового приводу	ЯМЗ-236/Д-108	Дизель Д-110
Потужність, кВт	77/79	48
Щогла: тип висота до осі крон-блоку, м виліт, м механізм підйому	Секційна, похила 16 1,4 Гідродомкрат	Суцільнозварна, похила 13,12 1,25 Бурова лебідка
Довжина бурильної труби/свічки, м	3/12	3
Довжина ведучої штанги, м	(зворотна/пряма промивка) 4,5/8	4
Механізм обертання	Ротор відкидний	Ротор відсувний
Діаметр прохідного отвору стола ротора, мм	410	300
Частота обертання, об./хв.	9–245	6–40
Навантаження на стіл, кН	200	125
Механізм підйому	Лебідка двобарабанна	Лебідка трибарабанна
Натяг канату максимальний, кН: талевого тартального бурового (інструменту)	52 13–27 –	64 11 32
Діаметр канату, мм: талевого тартального бурового (інструменту)	18 11 –	16 12 21
Ємність барабанів, м: талевого тартального бурового (інструменту)	150 300 –	80 300 300
Буровий насос: тип привідна потужність, кВт подача максимальна, л/с максимальний тиск, МПа	6НДВ (НБ12-63-40) 45,5–35,3 (50) 100–60 (12,2) 0,33–0,42 (6,3)	Відцентровий 2Р35 25,7 6,7 3,35
Маса інструменту, т	–	1,2–2,8
Частота ударів за 1 хв.	–	45
Висота підйому ударного інструменту, м	–	0,35–0,9
Компресор: тип подача, м ³ /хв. тиск, МПа	К9М 10 0,6	МС-5 (станція на замовлення) 5,2 0,7

Буріння із зворотною промивкою почали впроваджувати в 1967 р., коли за ініціативою інститутів ВОДГЕО, ПНДІС та ряду виробничих організацій для цієї мети стали використовувати бурові установки оберального і ударного буріння, що випускалися серійно.

Їх укомплектовували додатковим устаткуванням і частково змінювали конструкцію. Для буріння із зворотною промивкою були застосовані роторні установки УРБ-2А, УРБ-3АМ, 1БА15В, ударні – УГБ-3УК, УГБ-4УК, шнекові – УШБМ-16.

Установка УРБ-2А (рис. 1.17) використовується для буріння із зворотною промивкою в основному в Україні. Модернізація цієї установки полягає в заміні її ротора з діаметром прохідного отвору 150 мм на ротор з діаметром 250 мм з відповідною зміною довжини карданного валу і рами. Це дозволило застосовувати необхідні для буріння із зворотною промивкою бурильні труби великого діаметру і забезпечувати потрібне для цього способу буріння зниження частоти обертання ротора. Для забурювання свердловин під кондуктор з прямою промивкою встановлюють насос типу С-245 з приводом від карданного валу. З вказаними змінами установка дозволяє проводити буріння із зворотною промивкою свердловин діаметрами 500–1 200 мм на глибину до 50–60 м із спуском фільтрової колони, маса якої не перевищує вантажопідйомності установки.

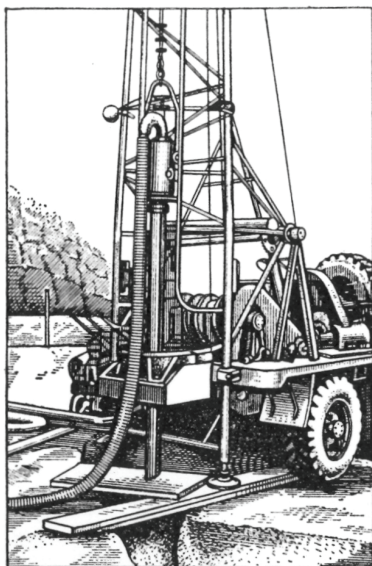


Рис. 1.17. Бурова установка УРБ-2А, переобладнана для буріння свердловин із зворотною промивкою

Установка УРБ-3АМ застосовується для буріння із зворотною промивкою без внесення яких-небудь змін та з різними змінами. У першому випадку для забезпечення необхідного зниження частоти обертання бурильного інструменту до 40 об./хв. використовують зворотну швидкість ротора. В інших випадках потрібне зниження частоти обертання досягається встановленням перед коробкою швидкостей або перед ротором, редуктора з передаточним відношенням 2:1. Є досвід монтажу на УРБ-3АМ насоса С-245 для забурювання свердловин під кондуктор з прямою промивкою.

З урахуванням вантажопідйомності і привідної потужності установкою УРБ-3АМ можна проводити буріння методом зворотної промивки свердловин діаметрами 500–1 200 мм на глибини 100–150 м.

Бурова установка 1БА15В найбільш підходить для буріння із зворотною промивкою, оскільки її кінематична схема дозволяє підбирати потрібні частоти обертання ротора і, крім того, вона має більшу вантажопідйомність та привідну потужність. Ця установка дозволяє проводити буріння із зворотною промивкою свердловин діаметрами 500–1 200 мм на глибину 150–200 м.

Для спуску з установок УРБ-3АМ і 1БА15В кондукторів діаметрами 530–830 мм збільшують прохідний отвір в рамі установок під ротором до 800–1 000 мм. Відповідно до 800–1 000 мм збільшується і відстань між направляючими щогл установок.

У більшості випадків зазначеними установками проводять буріння із зворотною промивкою, використовуючи ерліфтний пульпопідйом. Є досвід буріння установками 1БА15В методом всмоктування. Для цієї мети буровий насос 11Гр знімають і на платформі установки вмонтовують відцентровий насос ЧПС-9, вакуумний насос КВМ-4, вакуумний котел місткістю 150 л і водяний бак для подачі води до відцентрового насоса.

Ударно-канатний станок УГБ-3УК-ОП для буріння із зворотною промивкою модернізований ПНДІСом і має шифр УГБ-3УК-ОП (рис. 1.18).

Для обертання бурового інструмента у станку передбачена додаткова роторна приставка. Вона має площадку зі встановленими на ній ротором (Р-250 або Р-130), електродвигуном, клиноремінною передачею та муфтою зчеплення.

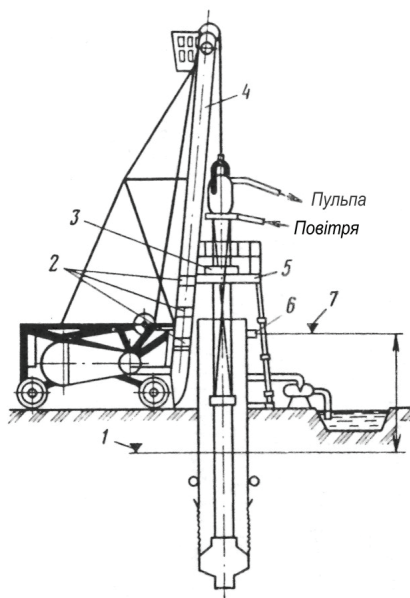


Рис. 1.18. Буровий станок УГБ-ЗУК-ОП:

1 – рівень ґрунтових вод; 2 – кронштейни; 3 – ротор; 4 – шогла; 5 – рама площадки;
6 – стійки; 7 – рівень води в кондукторі

Для запобігання обваленню стінок свердловин при близькому розташуванні підземних вод від поверхні передбачена можливість встановлення площадки роторної приставки на різній висоті (2,0; 3,5; 4,5 м). Вантажопідйомність площадки 10 т. Буровий станок УГБ-ЗУК-ОП дозволяє проводити буріння свердловин із зворотною промивкою діаметром до 900 мм на глибини до 200 м.

Бурова установка УШБМ-16 модернізована і застосовується для буріння із зворотною промивкою в Туркменістані. Завдяки наявності рухливого обертача з поворотним шпинделем значно полегшуються і скорочуються операції при спуску і підйомі бурильних труб, а також при скиданні породи з рейсового шнека в процесі забурювання свердловин. Модернізована установка УШБМ-16 дозволяє проводити буріння свердловин із зворотною промивкою на глибини до 100 м при діаметрі до 1 200 мм.

Технічні дані про бурові установки, які переобладнані для буріння із зворотною промивкою, приведені в табл. 1.15.

Таблиця 1.15. Основні дані про бурові установки для буріння зі зворотною промивкою [2]

Показники	1БА15В-ОП	УРБ-3АМ-ОП	УРБ-2А-ОП	УГБ-3УК-ОП	УШБМ-16-ОП
Глибина буріння, м:	200	150	60	200	100
Максимальний діаметр свердловини, мм	1 200	1 200	1 200	900	1 200
Потужність приводу, кВт	77,2	39,7	44,1	37,0	77,2
Діаметр прохідного отвору ротора, мм	410	250	250	250	–
Частота обертання ротора, об./хв.	20, 35, 65, 130, 245	55, 95	20, 40, 106, 197, 300	20	15, 30, 40, 60, 80
Висота башти від стола ротору до осі крон-блоку, м	15,5	13,5	9,5	14,2	11
Вантажопідйомність, т	12	5	2,5	12	15
Діаметр бурильних труб, мм	114, 146, 168	114, 146, 168	114	168, 219	146, 168
Маса установки, т	14,7	13,56	10,05	12,7	11

Примітка: Тип подачі – з гальма лебідки.

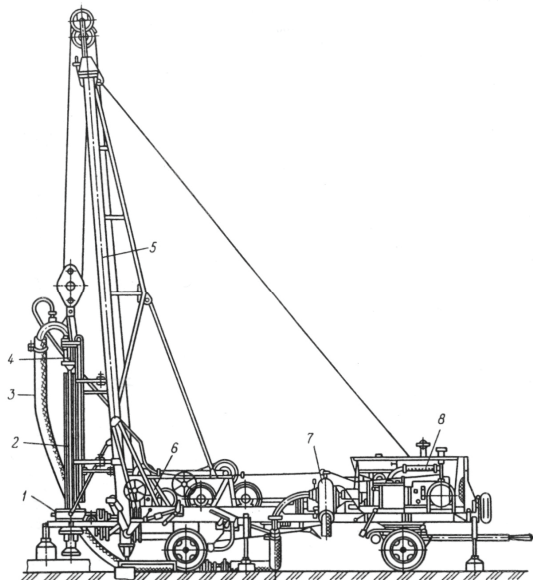


Рис. 1.19. Бурова установка FA-12:

1 – ротор; 2 – робоча труба; 3 – шланг; 4 – вертлюг; 5 – щогла; 6 – лебідка;
7 – відцентровий насос; 8 – двигун

Всі бурові установки, пристосовані для буріння із зворотною промивкою, зберігають можливість використання їх і за первинним призначенням: установки УРБ-2А, УРБ-3АМ і 1БА15В – для обертального буріння з прямою промивкою, УГБ-3УК-ОП – для ударно-канатного і обертального буріння з прямою промивкою, УШБМ-16 – для шнекового буріння. Поряд з використанням перерахованих модернізованих установок успішно освоєні і застосовуються для буріння із зворотною промивкою бурові установки FA-12 (рис. 1.19), що їх поставляє Румунія, з повним комплектом бурового інструменту, включаючи долота.

Бурові долота

Конструкції доліт для буріння із зворотною промивкою повинні забезпечувати ефективне очищення вибою і винесення часток породи через отвори долота і внутрішній канал бурильної колони. За кордоном в м'яких і пухких породах застосовують (рис. 1.20) ексцентричні (а), трилопатеві (б), хрестоподібні ромбічні (в) долота, а при бурінні в міцних і твердих породах – комбіновані шарошкові долота (г).

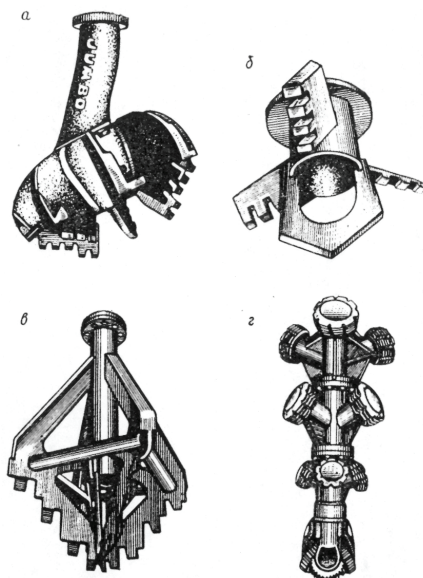


Рис. 1.20. Типи доліт

У всіх долотах (окрім шарошкових) діаметр промивального отвору, через який проходить промивальна рідина з породою, рівний внутрішньому перерізу бурової колони.

У вітчизняній практиці використовують в основному ступінчасті трилопатеві долота (рис. 1.21, *а*), в Черкаській гідрогеологічній експедиції – дволопатеві конічні долота (рис. 1.21, *б*).

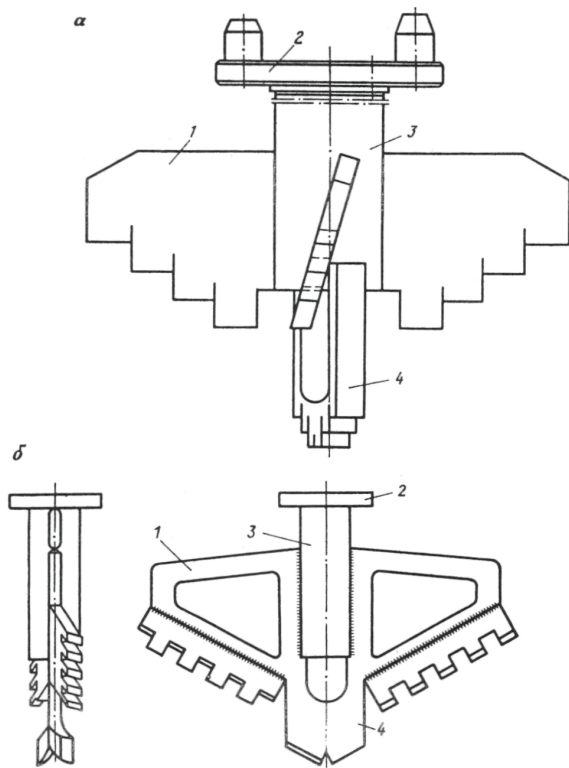


Рис. 1.21. Лопатеві долота:

1 – лопать; 2 – патрубок; 3 – фланець; 4 – забурювач

При необхідності буріння твердих прошарків застосовують стандартні шарошкові долота діаметром 490 мм, в яких роблять розширений отвір для проходження пульпи із вибою. Для забурювання свердловин «насухо» повільнообертальним способом успішно застосовують рейсові шнекові забурювачі (рис. 1.22).

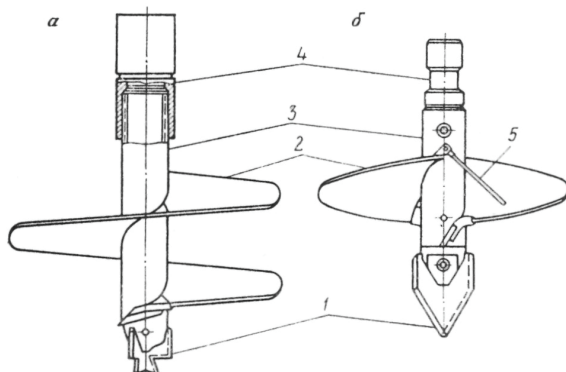


Рис. 1.22. Рейсові шнеки:

1 – забурювачі; 2 – лопаті шнека; 3 – корпус; 4 – перевідник; 5 – відсікач;
а – однозахідний; б – двозахідний

Загальна висота рейсових шнеків не перевищує 900 мм, що забезпечує можливість приєднання їх до основної труби і звільнення від породи під ротором. Рейсові шнеки випускають діаметрами 290, 490, 790 і 1 200 мм.

Переваги роторного способу буріння із зворотною промивкою такі [3]:

- високі механічні швидкості буріння в м'яких і сипучих породах, які перевищують аналогічні показники при бурінні з прямою промивкою в 1,5–2 рази;
- в більшості випадків не потрібно обсадних труб у верхів'ї свердловини та глинистого розчину;
- висока якість розкриття пласта, що забезпечує високі дебіти свердловин;
- можливість буріння свердловин великих діаметрів (до 1 200–1 500 мм).

Недоліки роторного способу буріння із зворотною промивкою:

- можливість буріння тільки м'яких і сипучих порід I–IV категорії по буримості;
- можливість буріння, якщо рівень підземних вод знаходиться на глибині 3 м і більше;
- подача в процесі буріння великої кількості води із безперервним заповненням водою свердловини до самого устя;
- складнощі при проходці сильно фільтруючих порід;
- неможливість буріння при від'ємних температурах.

Розділ 2

КОНСТРУКЦІЯ ВОДОЗАБІРНИХ СВЕРДЛОВИН'

Водозабірна свердловина може бути пробурена на піщаний водоносний пласт або водоносний пласт, що залягає у вапняках. Пласт вапняку залягає значно глибше, тому буріння водозабірної свердловини на вапняк вимагає більших витрат, як і її облаштування. Кількість обсадних труб буде великою, адже глибина такої водозабірної свердловини перевищує 40 м. Зате якість води з вапнякового шару буде кращою, оскільки вода не зазнає забруднень з поверхні землі.

Водозабірна свердловина, пробурена до піщаного водоносного пласта (свердловина на пісок), набагато мілкіша – від 15 до 30 м. Якість води може виявитися нижчою, оскільки водоносний пласт залягає ближче до поверхні землі. При непостійній експлуатації водозабірної свердловини на пісок, може статися її замулювання. Піщані водоносні пласти менш потужні порівняно з вапняковими, тобто приплив води в піщану свердловину буде меншим. Серед плюсів піщаної водозабірної свердловини – менша вартість її буріння.

Конструкція водозабірної свердловини залежить від мети і способу буріння, геологічних умов проходки, глибини і кількості продуктивних горизонтів та ін. Конструкція свердловини повинна забезпечувати: проходку свердловини до проектної глибини, надійну ізоляцію водонапірних горизонтів, досягнення проектних режимів експлуатації, можливість проведення ремонтних робіт у свердловині [4].

У процесі буріння свердловин розкриваються гірські породи з різними літологічними складами, фізико-механічними властивостями, ступенем насиченості рідиною. Поряд зі стійкими породами, які дозволяють залишити без кріплення стовбур свердловини на тривалий час і на велику глибину, зустрічаються нестійкі і незв'язані породи, що знаходяться на невеликих глибинах, мають великі пластичні деформації, легко обсыпаються після проведення виробки.

Для того щоб запобігти порушенню стійкості стінок

При описі конструкції водозабірних свердловин використано матеріал робіт [1, 4, 5].

свердловини, стовбур її доводиться кріпити обсадними трубами. Використовують обсадні сталеві або пластикові труби.

Сталеві обсадні труби мають більшу міцність, але з часом іржавіють і можуть додавати воді металевого присмаку. Пластикові труби легші і дешевші, вони не надають воді ніякого присмаку, але вони менш міцні.

Істотний недолік полімерних труб – їх невисока адгезія, що призводить до неміцного зчеплення цементного каменю з трубами. Один із шляхів вирішення цієї задачі – механічне або хімічне очищення полімеру від низькомолекулярних забруднень, що забезпечує велику площу контакту і ефективну адсорбцію. Одним з найбільш простих і ефективних механічних способів обробки таких труб є піскоструминна обробка, проте цей спосіб досить трудомісткий. Очищення поверхні труб за допомогою розчинників, наприклад ксилолполіетилену, збільшує міцність адгезійного з'єднання до двох разів. Адгезія зростає при обробці поліморфних труб коронними або тліючими розрядами. Це не лише видаляє забруднення з поверхні труб, але і змінює хімічний склад полімеру за рахунок збагачення його кисневмісними групами.

Неглибокі свердловини, як правило, бурять одним діаметром, глибокі – різними (найбільшим зверху – гирло і найменшим внизу). При ударно-канатному способі буріння паралельно із заглибленням встановлюють і обсадні труби, які утримують стінки свердловини від обвалу. При роторному способі буріння обсадні труби встановлюють лише після закінчення буріння на повну глибину одним діаметром. На час буріння в цьому випадку стінки свердловин від обвалу утримує глиняна кірка та протитиск промивальної рідини. Після закінчення буріння свердловини мають однакову конструкцію – циліндричний отвір в земній корі, закріплений обсадними трубами. Основні елементи свердловин не залежать від способу буріння і мають однакові назви: гирло, стінка, стовбур, вибій, направляюча труба (кондуктор), обсадна труба, фільтрова колона в складі надфільтрової труби із сальником, фільтра і відстійника.

Затрубний простір (простір між стінками свердловини і обсадними трубами) цементують, що гарантує герметичність свердловини. Стовбур свердловини може закріплюватися однією або декількома колонами обсадних труб, які розташовуються концентрично. Перша колона обсадних труб називається

направляючою або кондуктором. Колона в якій встановлюється насос називається експлуатаційною або робочою, решта – технічними.

При *обертальному бурінні* найчастіше використовуються конструкції свердловин, що приведені на рис. 2.1. Перша схема (рис. 2.1, *а*) призначена для експлуатації водоносного пласта, представленого стійкими тріщинуватими породами, тому водоприймальна частина виконується безфільтровою. Вміщуючі породи до покрівлі водоносного пласта перекриваються експлуатаційною колоною, в якій розміщується насос для відкачування. Верхня частина розрізу, що представлена пухкими породами, перекривається кондуктором.

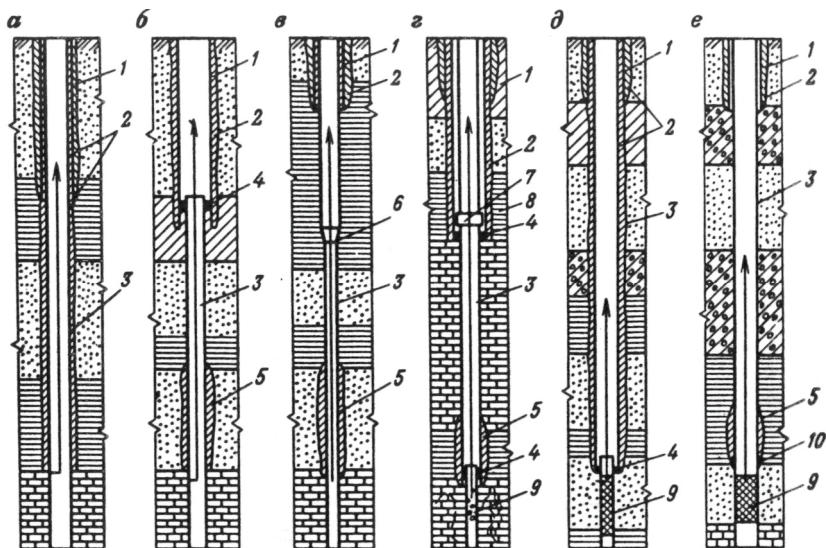


Рис. 2.1. Схеми конструкцій свердловин при обертальному бурінні:

- 1 – кондуктор; 2 – затрубне цементування; 3 – експлуатаційна колона; 4 – сальник;
- 5 – підбашмакове цементування; 6 – перевідник; 7 – муфта з лівою різьбою;
- 8 – проміжна колона; 9 – фільтрова колона (фільтр); 10 – манжета для цементування

При глибині свердловини більше 300 м і несприятливих умовах буріння (сильне поглинання промивальної рідини; пласт, що не використовується, має аномально високий тиск) між кондуктором і експлуатаційною колоною встановлюють проміжну колону. Затрубний простір кондуктора і експлуатаційної колони цементують,

як правило, на повну глибину. При великих глибинах у ряді випадків цементування можна не доводити до гирла, проте це робиться лише тоді, коли виключений гідравлічний зв'язок водоносних горизонтів і не має змішування та забруднення підземних вод.

В разі експлуатації напірних пластів з великим дебітом, що зумовлює монтаж насоса великих габаритів, експлуатаційна колона встановлюється у верхній частині розрізу, виконуючи також функцію кондуктора (рис. 2.1, б). Частина розрізу, що розташована нижче башмака, до покрівлі водоносного пласта перекривається хвостовиком (потайна колона, що не виходить на поверхню).

Іншою схемою конструкції свердловини при експлуатації стійких водоносних пластів є установка кондуктора і ступінчастої експлуатаційної колони з підбашмаковим цементуванням вище покрівлі водоносного пласта (рис. 2.1, в). Поперечний розмір верхньої частини колони повинен дозволяти розміщувати насос для відкачування. Довжина експлуатаційної колони і верхньої частини ступінчастої колони має бути такою, щоб нижче динамічного рівня води було можливо розмістити насос.

У нестійких водовміщуючих породах в конструкції свердловини передбачається фільтрова водоприймальна частина. Найчастіше фільтр встановлюється «впотай» (рис. 2.1, г, д), оскільки в разі виходу з ладу його можна підняти і замінити. Крім того, потайне розташування фільтру дозволяє використовувати експлуатаційну колону великого діаметру, в якій можна розмістити насос підвищеної подачі. Рідше застосовується монтаж фільтру на експлуатаційній колоні, частина затрубного простору якої, що розташована вище за фільтр, ізолюється манжетним цементуванням (рис. 2.1, е). Заміна такого фільтру практично виключається.

Велика глибина, характерна при бурінні на термальні або мінеральні води, часте перешарування порід по твердості, агресивність підземних вод, викликають необхідність створення фільтрової частини шляхом спуску колони із затрубною її цементациєю в межах пласта і подальшим прострілом гідропіскоструминним способом або перфораторами.

При проектуванні фільтрів з гравійною обсыпкою конструкція свердловини повинна враховувати необхідність розширення стовбура в межах водоносного пласта для розміщення гравію. При проектуванні безфільтрової конструкції свердловини в дрібнозернистих пісках експлуатаційна колона встановлюється з

цементациєю затрубного простору, причому її нижній торець знаходиться на 0,5 м нижче за водотривку покрівлю.

При ударно-канатному бурінні застосовуються конструкції свердловин, приведені на рис. 2.2. Конструкція, представлена на рис. 2.2, а, використовується у тому випадку, коли розріз складений стійкими скельними породами і відсутні верхні води. При спорудженні свердловини в алювіальних відкладах, що містять ґрунтові води, свердловина кріпиться кондуктором і фільтровою експлуатаційною колоною, виведеною на поверхню (рис. 2.2, б).

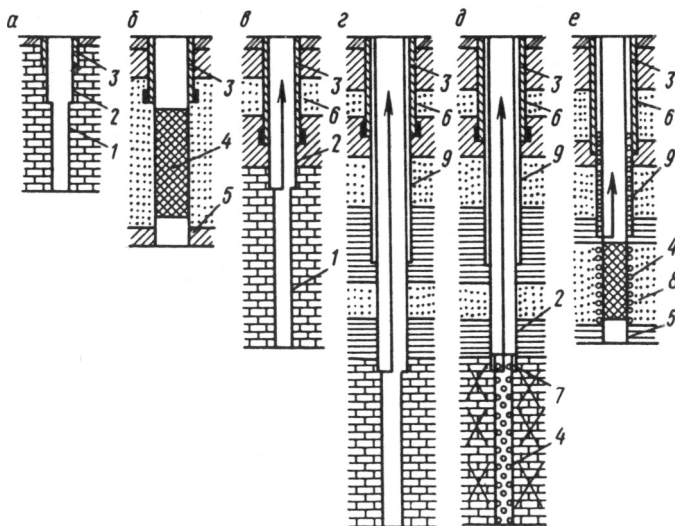


Рис. 2.2. Схеми конструкцій свердловин при ударно-канатному бурінні:
1 – водоприймальна частина; 2 – експлуатаційна колона; 3 – кондуктор; 4 – фільтрова колона; 5 – відстійник; 6 – міжтрубне цементування; 7 – сальник; 8 – гравійна обсыпка; 9 – проміжна колона

Конструкція, приведена на рис. 2.2, в, застосовується при необхідності ізоляції кондуктором першого від поверхні водоносного пласта, що не використовується. У конструкції на рис. 2.2, г, окрім кондуктора і експлуатаційної колони, передбачена технічна колона, що перекриває другий від поверхні водоносний пласт, що не експлуатується. Конструкція на рис. 2.2, д застосовується в разі установки фільтра в зоні пласта, представленого нестійкими породами. При необхідності гравійної обсыпки фільтр встановлюється

на експлуатаційній колоні під захистом допоміжних труб (рис. 2.2, е). Таким чином, при ударно-канатному бурінні будь-яка колона, за винятком експлуатаційної, перекриває лише один водоносний горизонт і встановлюється башмаком у водотривкій породі.

Діаметр експлуатаційної або фільтрової колоні повинен забезпечувати встановлення в ній насоса заданої подачі, а також спуск фільтра. Щоб конструкція свердловини не була дуже складною, тобто з великим числом обсадних колон, треба намагатися збільшити вихід колон. При цьому слід керуватися такими положеннями:

- обсадну колону слід спускати до водотривких або твердих порід і заглиблювати в ці породи на 1–3 м;

- розкриття напірного водоносного пласта, в покрівлі якого залягає товща водотривких глин потужністю більше 5–10 м, повинно передбачати спуск двох обсадних колон: одну втискають в глину на 3–5 м і більше, іншу зупиняють після входу у водоносний пласт на 0,5–1,5 м;

- не можна зупиняти колону в крихких водовміщуючих породах і переходити на наступний (менший) діаметр труб, оскільки це може призвести до заклинювання колон;

- застосовувати вібропристрої для примусової посадки і витягання труб.

По своїй конструкції водозабірна свердловина може бути досконалою або недосконалою. Досконалою водозабірною свердловиною за ступенем розкриття – це свердловина, яка повністю розкрила водоносний пласт, тобто така свердловина проходить крізь весь водоносний пласт і упирається в наступний за ним водотривкий.

Свердловина, що розкрила продуктивний пласт на глибину h_p , меншу, ніж його потужність, гідродинамічно недосконалою за ступенем розкриття.

Свердловина, що розкрила продуктивний пласт повністю, але перекрила його перфорованою експлуатаційною колоною або перфорованим фільтром, гідродинамічно недосконалою за характером розкриття.

Водозабірною свердловиною досконалої конструкції забезпечує максимальний приплив води і швидше наповнюється водою.

Водозабірні свердловини на пісок недосконалої конструкції бурять в тих випадках, коли водоносний пласт дуже великий і проходить його повністю немає необхідності. Свердловини на вапняк

також недосконалої конструкції, оскільки провадити буріння всього пласта вапняку немає необхідності.

Дебіт q_c (см³/с) гідродинамічно досконалої свердловини, що розкрила однорідний ізотропний пласт, при плоскорадіальному припливі однорідної нестисливої рідини, лінійному законі опору і стаціонарному режимі фільтрації визначають із співвідношення [5]:

$$q_c = \frac{2 \cdot 10^3 \pi k h (p_{nl} - p_e)}{b \mu \ln(R_\kappa / r_c)}. \quad (2.1)$$

де k – проникність продуктивного пласта, мкм²; h – потужність пласта, м; p_{nl} – тиск на контурі, МПа; p_e – тиск на вибої, МПа; R_κ – радіус впливу свердловини, м; r_c – радіус свердловини, м; b – об'ємний коефіцієнт рідини; μ – в'язкість рідини в пластових умовах, МПа·с.

Дебіт q_n гідродинамічно недосконалої за характером та ступенем розкриття свердловини у загальному вигляді можна виразити наступним чином:

$$q_n = \frac{2 \cdot 10^3 \pi h_p k (p_{nl} - p_e)}{b \mu [C + \ln(R_\kappa / r_c)]}. \quad (2.2)$$

Коефіцієнт C характеризує фільтраційний опір, що викликаний недосконалістю свердловини, і визначається формулою

$$C = C_1 + C_2, \quad (2.3)$$

де C_1, C_2 – коефіцієнти, що характеризують фільтраційні опори, обумовлені недосконалістю свердловини за характером і ступенем розкриття, відповідно.

Коефіцієнти C_1 і C_2 можна визначити за формулами і діаграмами, приведеними в роботі [6].

Вираз (2.2) можна представити у вигляді (2.1), якщо r_c замінити приведеним радіусом свердловини r_{np} :

$$q_n = \frac{2 \cdot 10^3 \pi h k (p_{nl} - p_e)}{b \mu \ln(R_\kappa / r_{np})}. \quad (2.4)$$

Отже, дебіт гідродинамічно недосконалої свердловини дорівнює дебіту гідродинамічно досконалої меншого радіусу, який визначається із співвідношення

$$r_{np} = r_c / e^C .$$

Очевидно, що якщо $C > 0$, тобто при додатковому фільтраційному опорі на вході із пласта в свердловину, то $r_{np} < r_c$.

Коефіцієнт досконалості свердловини σ являє собою відношення між реальним дебітом, тобто дебітом гідродинамічно недосконалої свердловини, і дебітом досконалої свердловини в тих же умовах.

Таким чином [5]:

$$\sigma = \frac{q_n}{q_c} = \frac{\ln(R_k/r_c)}{C + \ln(R_k/r_c)} = \frac{\ln R_k/r_c}{\ln R_k/r_{np}} . \quad (2.5)$$

Якщо $\sigma < 0,9$, отримуваний дебіт може бути меншим, ніж дебіт досконалої свердловини. Якщо ж $\sigma = 0,9-1,0$ і перфораційні канали в інтервалі пласта досить глибокі і не заблоковані, то реальний дебіт близький до дебіту гідродинамічно досконалої свердловини.

Найвідповідальнішою частиною конструкції свердловини є фільтр. Це – труба з невеликими отворами або сіткою. Пропускаючи в свердловину воду, фільтр перешкоджає проникненню забруднень (піску, мулу і т. п.).

Фільтрова водоприймальна частина свердловини улаштовується в пухких, тріщинуватих напівскельних породах, що мають недостатню стійкість та схильні до обвалення. Вона являє собою фільтрову колону (рис. 2.3), що складається з надфільтрової труби 3, робочої частини – фільтру 1, встановлюваного в інтервалі водоносного пласта, і відстійника 2, закритого знизу пробкою. Надфільтрова труба зі спеціальним пристосуванням 5 служить для спуску і підйому фільтру та герметизації кільцевого зазору між фільтром і колоною обсадних труб. Відстійник призначений для збору дрібних часток породи, що пройшли через фільтр. Фільтр, являючись головним елементом фільтрової колони, повинен забезпечити пропуск очищеної води, мати невеликі гідравлічні опори, достатню міцність і корозійну стійкість, бути простим у виготовленні

і мати невисоку вартість. Сальник 4 ізолює затрубний простір свердловини від обсадної колони.

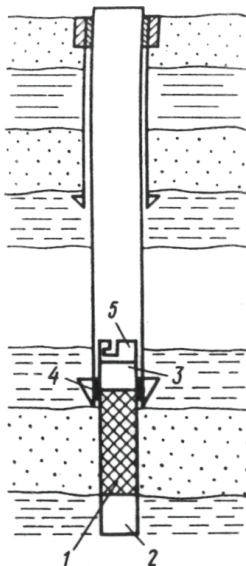


Рис. 2.3. Конструкція свердловини з фільтровою водопріймальною частиною

Фільтри характеризуються скважністю

$$x = F_o / F_{\phi} \cdot 100\%$$

де F_o , F_{ϕ} – відповідно сумарна площа прохідних отворів і площа бічної поверхні фільтру.

Залежно від гранулометричного складу пластів застосовуються фільтри таких типів: трубчасті і каркасно-стрижневі; з покриттям із дроту, сітки або просіченого листа; ґравійні; блокові.

Трубчасті фільтри (рис. 2.4) виготовляють переважно з обсадних труб муфтового або ніпельного з'єднання. У трубах в шаховому порядку виконуються круглі або щілинні отвори. Відстані між круглими отворами (рис. 2.4, а) $a = (1,55 - 1,7)d$; $b = (2,1 - 3,5)d$ (d – діаметр отворів).

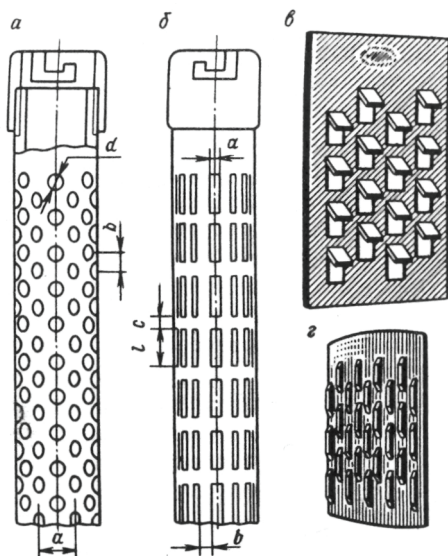


Рис. 2.4. Трубчасті фільтри:

a – дірчасті; *б* – щілинні; *в*, *г* – форма отворів в штампованих листових матеріалах

Відстань b між щілинами (рис. 2.4, *б*) приймається рівною $10a$, довжина щілин $l=25-100$ мм, відстань c між рядами щілин по вертикалі $10-20$ мм.

Діаметр отворів, або ширина щілин, залежить від гранулометричного складу порід і коефіцієнта неоднорідності K_n , що дорівнює відношенню $K_n = d_{60}/d_{10}$ (d_{60} , d_{10} – розмір часток, вміст яких у водоносному пласті по масі складає відповідно 60 і 10 %). В трубчастих фільтрах з круглими отворами діаметр отворів приймається рівним: $d=(2,5-3,0)d_{50}$ при $K_n < 2$; $d=(3,0-4,0)d_{50}$ при $K_n > 2$ (d_{50} – розмір часток, вміст яких по масі в пласті складає 50 %). Ширина щілин приймається рівною: $a=(1,25-1,5)d_{50}$ при $K_n < 2$; $a=(1,5-2,0)d_{50}$ при $K_n > 2$. Сквашність трубчастих фільтрів складає 25–35 %.

Для уповільнення процесу корозії на фільтри наносяться захисні покриття: емалеві, поліетиленові, органосилікатні. Для запобігання заростанню отворів при дії мінералізованих вод рекомендується застосовувати фільтри з антикорозійних матеріалів: неіржавіючої

сталі, азбестоцементу, поліетилену, вініпласту, склопласту, кераміки та ін.

Виготовляють також фільтри зі штампованих антикорозійних листових матеріалів з отворами різної форми (рис. 2.4, в, г). Така конструкція покращує очищення і пропускання води в свердловину. Виготовлення таких фільтрів полягає в згортанні листа в трубу, зварюванні шва по твірній, приварюванні приєднувальних патрубків і нанесенні захисного покриття. Сквашність фільтрів з листових матеріалів складає 20–65 %.

Каркасно-стрижневі фільтри (рис. 2.5) складаються з двох з'єднувальних патрубків 1, сталевих стрижнів 2 і опорних поясів жорсткості 3. Стрижні діаметром 10–16 мм приварюють до патрубків по колу на відстані 30–40 мм один від одного. Довжина ланки стрижневого фільтру 2,5–3,5 м. Ланки між собою з'єднуються на різьбі або зварюванням. Каркасно-стрижневі фільтри мають сквашність до 60 %.

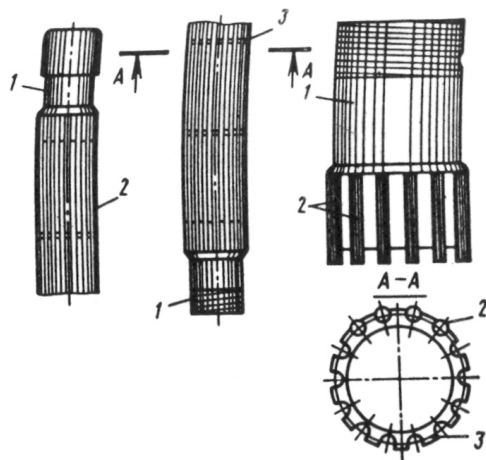


Рис. 2.5. Каркасно-стрижневі фільтри

Фільтри з покриттям (трубчастий або каркасно-стрижневий фільтр) мають каркас, на який намотується дріт, сітка або штампований просічений лист (рис. 2.6).

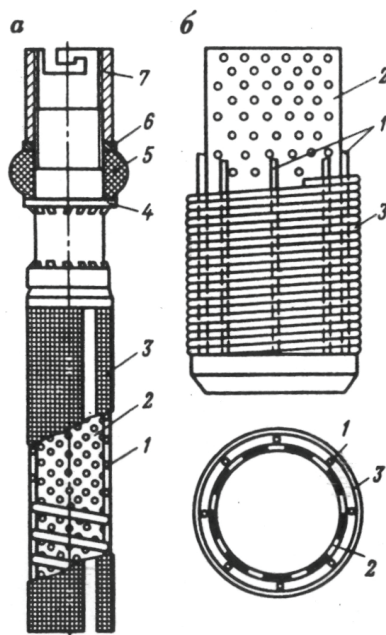


Рис. 2.6. Сітчасті і дротяні фільтри:

а – сітчастий фільтр: 1 – дротяна обмотка; 2 – перфорована труба; 3 – фільтрова сітка; 4 – нерухомий фланець; 5 – гумовий тампон; 6 – рухливий фланець; 7 – спеціальна муфта для спуску фільтра на ключі;

б – фільтр з дротяною обмоткою: 1 – опорні стрижні; 2 – трубний каркас з круглими отворами; 3 – дротяна обмотка

Сітчасті фільтри (рис. 2.6, *а*) складаються з перфорованого каркаса 2 і фільтруючої сітки 3. Між каркасом і сіткою подовжньо розташовані відрізки дроту діаметром 2 мм – дротяна обмотка 1. Дріт намотується на каркас з кроком 30–60 мм. Фільтруюча сітка виготовляється з латуні, неіржавіючої сталі або пластмаси.

За типом плетіння сітки бувають квадратні, гладкі (галунні), кіперні та сітка «сім'янка».

Сітки квадратного плетіння виготовляють з дротиків однакового діаметру, що переплітаються під прямим кутом (рис. 2.7, *а*).

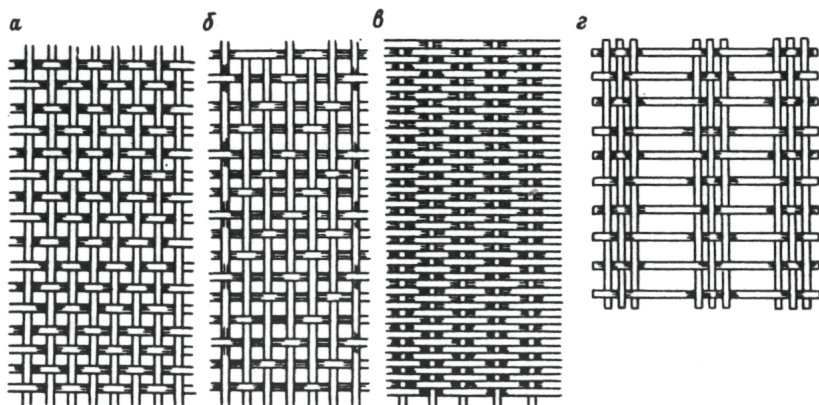


Рис. 2.7. Фільтрові сітки

У сітці кіперного плетіння (рис. 2.7, б) поперечні дроготики переплітаються з двома або трьома дроготами основи, причому місце переплетення постійно змінюється.

Сітки галунного плетіння (рис. 2.7, в) найбільш поширені і виготовляються з подовжніх дрогоतिकів збільшеного діаметру (основи) і поперечних дрогоतिकів. Останні обгинають один-два дроготики основи, утворюючи бічні звивисті отвори в сітці. Розмір сітки вказується дробовим числом. Чисельник позначає число дрогоतिकів основи, знаменник – число поперечних дрогоतिकів на 25,4 мм. Галунна сітка на каркасі розташовується так, що поперечний дріт направлений уздовж фільтру.

У сітці «сім'янка» (рис. 2.7, г) дроготи основи розташовані групами, причому усередині групи відстань між дроготами невелика, а між групами збільшується.

Галунні сітки використовуються для мілко- і середньозернистих пісків, квадратного плетіння – для різно- і грубозернистих пісків, сітки «сім'янка» – для гравелистих пісків або у фільтрах з гравійною обсыпкою. Сітки укріплюють на каркасах фільтрів шляхом зшивання і спаявання.

Сітки з неметалічних матеріалів використовуються в умовах агресивності мінералізованих вод. Матеріалами для їх виготовлення служать вініпласт, капрон, нейлон, скловолокно.

Фільтри з дротяним покриттям (рис. 2.6, б) виготовляють таким чином: на каркас через 40–60 мм по колу встановлюють подовжні ребра з дроту діаметром 4–6 мм, потім намотують дріт діаметром від 1,5 до 6 мм з неіржавіючої сталі. Зазор між витками повинен відповідати середньому розміру зерен водоносного пласта. Дріт припадають через 0,5 м.

До групи фільтрів з покриттям відносяться фільтри ФКО, водоприймальна поверхня яких виготовлена з просіченого листа. Фільтруюча оболонка фільтрів ФКО виконана з оцинкованої або неіржавіючої сталі товщиною 1 мм і має отвори діаметром 1,0; 1,5 і 2,0 мм з конічними виступами висотою 1,5–4,0 мм. Розміри отворів підбирають відповідно до гранулометричного складу із співвідношення $d=(7-16)d_{50}$. Просічений лист згортається в трубу, пропадається і зміцнюється на каркасі кріпильними кільцями.

Фільтри ФКО випускають для тонкозернистих (ФКО-Т), мілкозернистих (ФКО-М) і середньозернистих (ФКО-С) пісків. Довжина секції фільтру 4,5 м, діаметр каркасу 89–219 мм, скважність 0,5–8 %. Фільтри ФКО дешевші сітчастих і стійко працюють при піскуванні, що часто виникає при зупинці і запуску водопідйомника.

Гравійні фільтри (рис. 2.8) складаються з трубчастого каркасу або фільтра з покриттям, оточеного шаром відсортованого грубозернистого піску чи гравію. За місцем виготовлення розрізняють дві групи фільтрів: спускні, що виготовляються на поверхні, і засипні, що створюються безпосередньо в свердловині. У свою чергу спускні фільтри діляться на кошикові і кожухові.

Кошикові фільтри (рис. 2.8, а) часто застосовуються при ударному бурінні свердловин на воду. Чавунні або сталеві кошики 3 закріплюються на каркасі 1 опорними кільцями або зварюванням. Засипку 2 в кошики роблять дво- або тришаровою. На дно засипається крупнозернистий гравій, подальші шари мають розмір часток в 2–3 рази менший. Зерна останнього шару мають бути в 6–8 разів більші середнього розміру часток водоносного пласта. Кошикові фільтри рекомендується використовувати в тонкозернистих пісках у свердловинах глибиною до 50 м діаметром 350–500 мм.

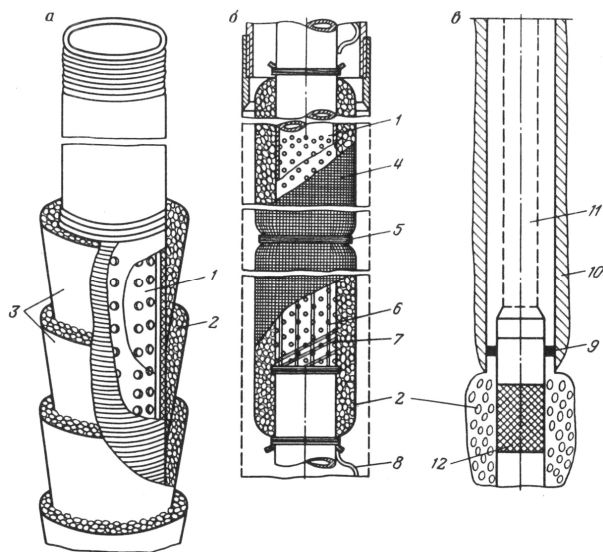


Рис. 2.8. Типи гравійних фільтрів:

1 – каркас; 2 – гравійна засипка; 3 – кошик; 4 – сітчастий кожух; 5 – дротяний пояс; 6 – подовжні дротики; 7 – дротяна обмотка; 8 – центруючий ліхтар; 9 – сальникове ущільнення; 10 – обсадна труба; 11 – труби (що витягуються) з перехідником на лівій різьбі; 12 – фільтрова колона

Кожухові фільтри (рис. 2.8, б) мають основний трубчастий каркас *I* і утримуючий кожух 4 зі штампованого або просіченого листа, між якими розміщується ущільнений шар гравію 2 необхідної зернистості. В процесі експлуатації утримуючий кожух руйнується і порода водоносного пласта безпосередньо контактує з обсіпкою. Довжина однієї ланки фільтру складає 1 м. Кожухові фільтри використовують при облаштуванні глибоких (більше 100 м) свердловин.

Гравійні засипні фільтри (рис. 2.8, в) широко застосовують при спорудженні водозабірних свердловин. Існують два основні способи подачі засипки: вільне падіння гравію в міжтрубному просторі і його осадження довкола фільтру; примусове осадження гравію шляхом закачування його на вибій потоком промивальної рідини.

Перший спосіб найчастіше реалізується при засипці гравію у висхідний потік рідини безпосередньо в зазор між стінками свердловини і фільтровою (експлуатаційною) колоною. Інтенсивність завантаження регулюється залежно від розміру часток гравію.

Швидкість висхідного потоку має бути 0,6–3,0 м/с. Недоліки способу полягають у можливості налипання гравію на стінки свердловини і утворення пробок в місцях звуження стовбура, відсутності гарантії щільного укладання гравію довкола фільтру, значних витратах часу на створення обсіпки. Глибини свердловин, в яких можна застосовувати подачу гравію у висхідний потік рідини, не перевищують 200–300 м.

Ефективнішим є другий спосіб – примусова доставка гравію в низхідному потоці. Гравій може доставлятися при відкритому або загерметизованому гирлі свердловини. При такій доставці примусово осідаючий гравій перерозподіляється довкола фільтру за розмірами часток: крупніший гравій буде знаходитись на контакті з фільтром внаслідок високих вхідних швидкостей рідини.

Схема створення обсіпки при відкритому гирлі полягає в наступному. Після спуску фільтрової колони в ній вмонтовують водопідіймальні труби, нижня частина яких розташовується на 2–3 м вище відстійника. Біля гирла встановлюють посудину для гравію і води з підводним жолобом. Одночасно з відкачуванням води відцентровим насосом або ерліфтом до гирла подається водогравійна суміш. Остання низхідним потоком доставляється в зафільтровий простір. Гравій осідає довкола фільтру, а вода через водопідіймальні труби відкачується зі свердловини. Основний недолік описаної схеми – можливість засмічення гравійної суміші і прифільтрової зони породами зі стінок свердловини.

Для усунення вказаного недоліку практикується доставка гравію по бурильних трубах, опущених в зазор між стінками свердловини і фільтровою (експлуатаційною) колоною, всередину якої опускають водопідіймальні труби ерліфта. Одночасно з відкачуванням подається гравій. Для підвищення стійкості стінок свердловини в результаті зниження рівня рідини при відкачуванні гравійна суміш подається в потоці рідини за допомогою ежекторного насоса, встановленого на столі ротора бурової установки. Піщано-гравійна суміш поступає з приймальної посудини в камеру змішування і далі в дифузор і бурильні труби.

Блокові фільтри складаються з кільцевих циліндричних блоків, які натягують на трубчастий каркас і сполучають за допомогою опорних фланців капроновими шнурками або болтами. Стики між блоками ущільнюються гумовими прокладками. Блоки виготовляють із гравію або щебеню. Обсіпка зв'язується клейкими і цементуючими

речовинами (бітумом, цементом, гумовим клеєм, рідким склом і т. ін.). Блокові фільтри застосовують в мілко- і тонкозернистих пісках. Надійність їх роботи підвищується при створенні додаткової гравійної обсыпки.

Секційні фільтри встановлюють при експлуатації декількох водоносних пластів (рис. 2.9). Для збільшення дебіту в умовах, коли нижній пласт є напірним, а верхній – безнапірним, доцільно оснастити секційний фільтр ежекторною насадкою 9. З цією метою секції роз'єднуються пакером. З нижньою секцією 1 з'єднується труба з соплом, а верхня секція 8 оснащується перехідником 10, в якому є конфузор, камера змішування і дифузор. Така конструкція секційного фільтру дозволяє збільшити дебіт з безнапірного пласта за рахунок додаткового підсмоктування води в результаті ефекту ежекції.

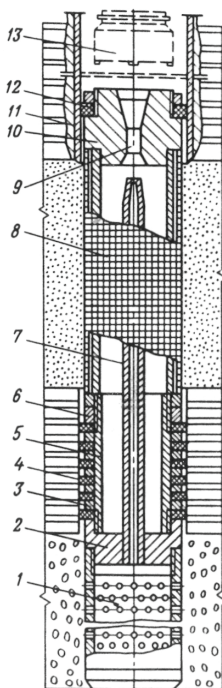


Рис. 2.9. Секційний фільтр:

- 1 – нижня секція; 2 – перегородка; 3 – втулка; 4 – гумові кільця; 5 – труба; 6 – гайка;
7 – патрубок; 8 – верхня секція; 9 – насадка; 10 – перехідник; 11 – експлуатаційна колона;
12 – сальникове ущільнення; 13 – заглибинний насос

Вибір і розрахунок фільтру

Вибір типу фільтра залежить в основному від гранулометричного складу порід водоносного горизонту (табл. 2.1). При цьому враховуються проектний дебіт і міра агресивності підземних вод.

Таблиця 2.1. Тип і конструкція фільтрової водоприймальної частини свердловини залежно від характеристики водоносного пласта [1]

Характеристика порід водоносного пласта	Тип і конструкції фільтрів
Напівскельні нестійкі породи, щебенисті і галечникові з переважаючим розміром часток щебеню або гальки від 0,01 до 0,1 м (більше 50 %)	Трубчасті фільтри з круглою або щілинною перфорацією; каркасно-стрижневі фільтри без дрютяної обмотки
Гравій, крупний гравелистий пісок з розміром часток 0,001–0,01 м, переважаючий розмір часток від 2 до 5 мм (більше 50 %)	Трубчасті фільтри з круглою перфорацією, щілинні фільтри, каркасні фільтри з дрютяною обмоткою з неіржавіючої сталі
Грубозернисті піски з переважаючим розміром часток від 0,001 до 0,002 м (більше 50 %)	Щілинні фільтри всіх типів, фільтри з сітками квадратного плетіння на трубчастих каркасах
Середньозернисті піски з переважаючим розміром часток від $(0,25-0,5)10^{-3}$ м (більше 50 %)	Гравійні фільтри з одношаровою обсіпкою з різними каркасами
Дрібнозернисті піски з переважаючим розміром часток $(0,1-0,25)10^{-3}$ м	Фільтри з гравійною обсіпкою (піщано- або піщано-гравійною) з різними каркасами, кожухові фільтри з піщано-гравійним доповненням

Розрахунок робочої частини фільтру зводиться до визначення його діаметру і довжини, які у свою чергу залежать від проектного дебіту, потужності продуктивного пласта і габаритів водопідйомника для відкачування.

Довжина робочої частини фільтру

$$l_p = 7,643Q / (d_\phi v_\phi), \quad (2.6)$$

де Q – проектний дебіт, м³/год; d_ϕ – зовнішній діаметр фільтру, м; v_ϕ – допустима вхідна швидкість фільтрації води, м/добу.

Швидкість фільтрації

$$v_\phi = 653\sqrt[3]{K_\phi}, \quad (2.7)$$

де K_ϕ – коефіцієнт фільтрації порід водоносного пласта, м/добу

$$K_\phi = 36Q / [m(h - h_1)], \quad (2.8)$$

де m – потужність водоносного пласта, м; h , h_1 – відповідно динамічний і статичний рівні води в свердловині, м.

При розрахунку l_p за формулою (2.6) у якості зовнішнього діаметру фільтра d_ϕ залежно від його конструкції приймається: у трубчастих фільтрах з круглою і щільною перфорацією – зовнішній діаметр фільтрової труби; у дротяних, сітчастих і каркасно-стрижневих фільтрах – зовнішній діаметр обмотки; у гравійних фільтрах – зовнішній діаметр обсіпки.

За умовами ремонту свердловини мінімальний діаметр каркаса фільтру має бути не менше 0,1 м, при великих дебітах приймається 0,15–0,2 м та більше.

При потужності водоносного пласта менше 10 м довжина робочої частини фільтру приймається рівною вказаній потужності, а за формулою (2.6) розраховується діаметр d_ϕ .

Після розрахунку фільтр перевіряють на водопрпускну здатність f , яка має бути не менше запроектованого дебіту Q . Вказана умова має вигляд:

$$f = v_\phi F / 24 \geq Q, \quad (2.9)$$

де F – робоча площа фільтру, м².

У якості F слід приймати: у кошиковому гравійному фільтрі – зовнішню поверхню діючих воронок (що знаходяться нижче динамічного рівня); у всіх інших типах фільтрів – всю зовнішню бічну поверхню, якщо скважність каркаса перевищує 25 %, в інших випадках – площа отворів каркасу.

В подальшому встановлюють розміри відстійника і надфільтрової труби. Довжина відстійника залежить від об'єму часток породи дрібної фракції, що пройшла через фільтр, і приймається в межах 1–3 м. Надфіiltroва труба найчастіше не виводиться на поверхню, а розташовується «впотай». При цьому її верхня частина повинна заходити всередину експлуатаційної колони не менше ніж на 5 м. Кільцевий простір між експлуатаційною колоною і надфільтровою трубою герметизується сальником.

Робоча частина фільтру має бути віддалена від покрівлі і підосви водоносного пласта не менше ніж на 0,5–1,0 м (за умови захисту водоносного горизонту водотривкими породами, а сам пласт має бути напірним). У цих умовах фільтр часто розташовується також всередині інтервалу пласта. Якщо водоносний горизонт

слабонапірний, безнапірний або не захищений з поверхні водотривкими породами, то робочу частину фільтра слід розташовувати в нижній частині пласта. У всіх випадках фільтр повинен знаходитися в зоні найбільшої проникності порід.

Встановлений діаметр фільтру дає можливість визначити кінцевий діаметр свердловини. При використанні гравійних фільтрів кінцевий діаметр дорівнює зовнішньому діаметру обсыпки, а при установці фільтрів інших типів він повинен перевищувати зовнішній діаметр таких фільтрів на 40–50 мм.

Слід зауважити, що промислове виробництво фільтрів для оснащення водозабірних свердловин не здійснюється. Внаслідок цього бурові організації на своїй виробничій базі змушені виготовляти в основному сітчасті фільтри на перфорованому трубному каркасі. В значній мірі якість таких фільтрів залежить від досвіду виготовлення і матеріалів, що використовуються.

При освоєнні водоносних горизонтів, представлених нестійкими і слабостійкими породами, для уникнення піскування свердловин пристрій гравійної обсыпки фільтрів є обов'язковим. Технологія проведення гравійної обсыпки фільтрів включає підбір оптимального розміру зерен гравійної обсыпки. Товщина обсыпки за зовнішньою стінкою фільтра залежить від складу водовміщуючих порід. При бурінні свердловин на стійкі скельні і напівскельні тріщинуваті водовміщуючі породи фільтри не встановлюються.

Обладнання фільтрової частини свердловини

Якщо конструкція свердловини передбачає обладнання фільтру на експлуатаційній колоні, то його установка здійснюється послідовним згвинчуванням і спуском обсадних труб. При установці «впотаї» фільтр спускають на бурильних трубах за допомогою бурового ключа, що входить в Г-подібний виріз муфти надфільтрової частини (див. рис. 2.3). Для ізоляції кільцевого простору між обсадною колоною і фільтром надфільтрова частина обладнується гумовим сальником. Розпір сальника здійснюється обертанням бурильної колоні з буровим ключем. Фільтр можна спускати також на бурильних трубах, сполучених з надфільтровою частиною перехідником з лівою різьбою (див. рис. 2.8, в).

При ударному способі буріння фільтр встановлюється під захистом допоміжної колоні. Заздалегідь на вибій засипають гравій

для утворення подушки. Після спуску фільтра для його оголення піднімають допоміжну колону. У процесі підйому потрібно стежити за тим, щоб фільтр не піднімався при заклинюванні разом з колоною. Висота кожного шару засипки не повинна перевищувати 2 м.

При роторному бурінні в сприятливих умовах (слабонапірні пласти, що представлені дрібнозернистими пісками і залягають на глибині до 100 м) фільтр встановлюють з одночасним розкриттям пласта. Це дозволяє виключити при розкритті промивання глинистим розчином, що негативно впливає на проникність водоносних пластів. Посадка фільтру з одночасним розкриттям пласта здійснюється гідровмивом або із застосуванням ерліфта.

Суть посадки фільтру гідровмивом полягає в тому, що в свердловину, перекриту до покрівлі пласта обсадними трубами, спускають експлуатаційну колону з фільтром на кінці. Всередину колони спускають бурильні труби з гідронасадкою, по яких нагнітають воду. Вода з гідронасадки викидається з великою швидкістю, розмиває і виносить пісок на поверхню. В результаті фільтр опускається і встановлюється у водоносному пласті.

Установка фільтру із застосуванням ерліфта (рис. 2.10) здійснюється таким чином.

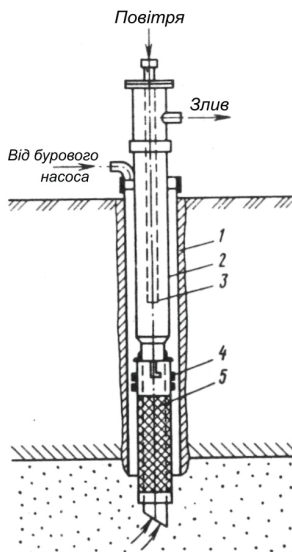


Рис. 2.10. Схема посадки фільтру із застосуванням ерліфта

Водопідіймальні труби 2 з фільтром 5 спускають в свердловину. Водопідіймальна труба розташовується нижче фільтра на 0,2 м. По повітропровідних трубах 3 нагнітається стиснуте повітря, а в кільцевий зазор між обсадними 1 і водопідіймальними 2 трубами – вода від бурового насоса. В результаті відкачування відбувається винесення піску з водою і занурення фільтра з водопідіймальною колоною. Після установки фільтра на необхідну глибину робота ерліфта припиняється. Обертання водопідіймальної колони з муфтою на лівій різьбі забезпечує розпір сальника 4. Потім водопідіймальні труби від'єднують від фільтра і витягують.

При установці фільтра обома способами в результаті подальшого відкачування і винесення дрібної фракції створюється природне обсіпання фільтра.

Безфільтрова водоприймальна частина свердловини

Водоприймальна частина свердловини створюється безфільтровою за наступних сприятливих гідрогеологічних умов:

- водоносний горизонт представлений скельними і напівскельними породами, що зберігають стійкість при розкритті;
- водоносний пласт представлений мілко- і середньозернистим піском, що залягає на глибині до 200 м; покрівля пласта представлена міцними нерозкисаючими породами (опоки, аргіліти, вапняки і т. ін).

У першому випадку водоносний горизонт розкривається долотом, діаметр якого дорівнює кінцевому діаметру свердловини.

Глибина розкриття пласта (в м)

$$l_{розк} = \left[\frac{7,647Q}{D_k v_\phi} + \Delta l \right], \quad (2.10)$$

де D_k – кінцевий діаметр свердловини, м; $\Delta l = 1 - 2$ м.

Значення Q і v_ϕ такі ж, як у формулі (2.6). Збільшення глибини свердловини на 1–2 м обумовлене необхідністю проникнення башмака обсадної колони на 0,5 м нижче покрівлі водоносного горизонту і осіданням дрібних часток породи на вибій. Безфільтрова водоприймальна частина в піщаному водоносному пласті (рис. 2.11) формується шляхом створення в його покрівлі конусоподібної воронки (каверни). Воронка утворюється за рахунок видалення піску водою при відкачуванні ерліфтом, ежекторним насосом, тартанням

желонкою або гідравлічним турбінним розширювачем. Через бічну поверхню отриманої каверни відбувається приплив води в свердловину.

Безфільтрові свердловини цього типу дуже ефективні, оскільки фільтраційна поверхня каверн в сотні разів перевищує робочу поверхню трубчастих фільтрів. Відкачування з таких свердловин здійснюється лише ерліфтом, тому що вода містить велику кількість піску.

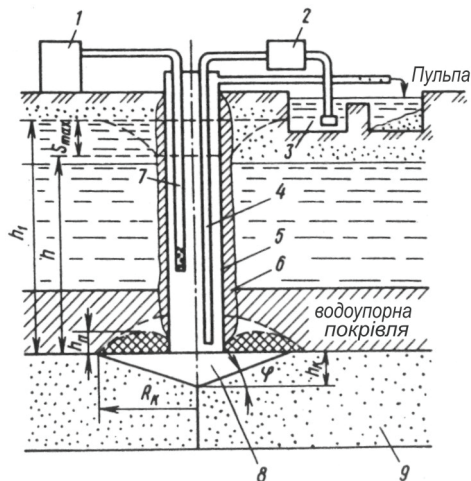


Рис. 2.11. Схема спорудження безфільтрової свердловини:

1 – компресор; 2 – насос; 3 – відстійник; 4 – труби для подачі води; 5 – обсадні труби; 6 – цементне кільце; 7 – ерліфтні труби; 8 – водопідйомна воронка; 9 – водоносний пласт

Розрахунок безфільтрової свердловини у водоносних пісках ведеться в такому порядку. Висота параболічного склепіння $h_{\text{п}}$ (в м), при якому дотримується умова стійкості покрівлі пласта, визначається за формулою:

$$h_{\text{п}} = \frac{\gamma_{\text{в}}(h_1 - S_{\text{max}})}{(1 - m_{\text{к}})\gamma_{\text{к}} - \gamma_{\text{в}}m_{\text{к}}}, \quad (2.11)$$

де $\gamma_{\text{в}}$ – щільність води, т/м³; S_{max} – найбільше пониження рівня води, м; $S_{\text{max}} = h - h_1$; h і h_1 – відповідно динамічний і статичний

рівні води, м; m_k – пористість покрівлі пласта; γ_k – щільність породи покрівлі пласта, т/м³.

Допустимий радіус каверни $R_{k.\partial on}$ (м) повинен задовільняти умову:

$$R_{k.\partial on} \leq \frac{\gamma_{\phi}(h_1 - S_{\max})\operatorname{tg} \alpha}{(1 - m_k)\gamma_k - \gamma_{\phi}m_k}, \quad (2.12)$$

де α – кут внутрішнього тертя порід, що складають покрівлю водоносного пласта; усереднена величина $\operatorname{tg} \alpha$ змінюється від 0,78 (пластичні глини) до 7,45 (кварцеві породи).

Допустимий при радіусі $R_{k.\partial on}$ дебіт (у м³/год.)

$$Q_{\partial on} = 3600\pi v_{\phi} R_{k.\partial on}^2 \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}, \quad (2.13)$$

де v_{ϕ} – допустима вихідна швидкість фільтрації, м/с; φ – кут природного укосу породи водоносного пласта; величина φ змінюється в межах від 0–15° (піски-пливуни) до 35° (грубозернистий пісок).

Якщо допустимий дебіт $Q_{\partial on}$ більше проектного Q_{np} , то по формулі (2.13) можна знайти при заданому дебіті радіус воронки:

$$R_{k.\phi} \leq \sqrt{\frac{Q_{np}}{3600\pi v_{\phi} \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}}}. \quad (2.14)$$

Якщо прийняти, що каверна має форму кругового прямого конуса, то її радіус в процесі формування

$$R_{k\phi} = \sqrt{3V_{\Pi}/(\xi\pi h_k)}, \quad (2.15)$$

де h_k – глибина каверни, м; V_{Π} – об'єм винесеного піску, м³; $\xi = 1,05 - 1,15$ – коефіцієнт розпушування піску.

Для забезпечення необхідного дебіту і запобігання обваленню покрівлі пласта повинна виконуватися умова:

$$R_{k.\phi} \leq R_{k\phi} \leq R_{k.\partial on}.$$

Розділ 3

ЦЕМЕНТУВАННЯ ВОДОЗАБІРНИХ СВЕРДЛОВИН'

При кріпленні свердловин сталевими або азбестоцементними трубами затрубний простір обов'язково цементують. Це збільшує міцність конструкції свердловин і виключає зв'язок окремих водоносних горизонтів, розкритих свердловиною. Остання обставина має особливе значення, оскільки запобігає виснаженню і забрудненню підземних вод. Крім того, цементне кільце ізолює обсадну колону від корозійного впливу підземних вод.

Цементування свердловин здійснюють, як правило, до гирла свердловини, так як підбашмакова цементация не вирішує зазначених вище задач.

Тампонажні цементи випускають для «холодних» свердловин з температурою вибою до 40 °С, для «гарячих» свердловин з температурою вибою до 75 °С і для глибоких свердловин з температурою вибою 100–120 °С. Цемент для «холодних» свердловин повинен забезпечувати початок тужавлення не раніше ніж через 3 години і не пізніше ніж через 7,5 годин після замішування водою; кінець тужавлення – не пізніше ніж через 3 години після початку; опір вигину через дві доби – 2,7 МПа. Цемент для «гарячих» свердловин повинен забезпечувати початок тужавлення не раніше ніж через 1,75 години і не пізніше ніж через 2,75 годин після замішування водою; кінець тужавлення – не пізніше 1,5 години після початку; опір вигину – 6,2 МПа.

Залежно від природних умов застосовують різні цементи. Так, піскуватий цемент являє собою суміш тампонажного цементу з кварцовим піском в кількості до 20 %. Такий цемент має щільний контакт з гірськими породами завдяки відсутності тиску усадки і застосовується для цементування напрямів і кондукторів.

Волокнистий цемент – суміш тампонажного цементу з волокнистими добавками азбесту, паперу, очерету та інших речовин в кількості 1–3 % від загальної маси. Такий цемент знаходить застосування, якщо потрібно зменшити глибину проникнення в тріщинуваті породи з малим пластовим тиском або ліквідувати

При викладенні основ цементування водозабірних свердловин використаний матеріал робіт [1, 7].

поглинання промивальної рідини.

Цементи, що розширюються, збільшують об'єм при твердінні до 2 % і використовуються для створення непроникного і міцного цементного каменю.

Пуццоланові цементи, що відрізняються високою стійкістю в сульфідних водах і великою водонепроникністю, застосовують при ізоляційних роботах. Такі цементи отримують при додаванні в тампонажні цементи діатоміту, трепелу та ін.

Обважнюючий тампонажний цемент застосовують в свердловинах, які бурять обважненими глинистими розчинами з щільністю до 2,2 г/см³. У якості обважнювача використовують гематит.

Терміни тужавлення цементного розчину регулюються спеціальними добавками. У якості сповільнювачів тужавлення використовують різні поверхнево-активні речовини, сульфідно-спиртову барду та ін. Сповільнювачі тужавлення застосовують при цементуванні глибоких свердловин, при роботі з низькопродуктивними цементувальними насосами, при цементуванні свердловин, пробурених на термальні води.

При цементуванні неглибоких свердловин з невисокою температурою вибою, як прискорювачі тужавлення цементного розчину, використовують $NaCl$ і $CaCl_2$ в кількості 2 % по масі.

Важливим показником цементного розчину є водоцементне співвідношення, тобто відношення масової кількості води до масової кількості сухого цементу. Водоцементне співвідношення складає 0,4–0,5. Нижня межа його характеризується зниженням текучості, а верхня – пониженням міцності цементного каменю і збільшенням терміну тужавлення. Залежно від водоцементного співвідношення змінюється щільність цементного розчину (табл. 3.1).

Таблиця 3.1. Зміна щільності цементного розчину в залежності від водоцементного співвідношення [7]

Водоцементне співвідношення	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70
Щільність цементного розчину, г/см ³	1,95	1,90	1,84	1,77	1,69

Сухий цемент має щільність близько 3,15 г/см³, зберігання його в мокрих і вологих приміщеннях недопустимо. Перевірку основних властивостей цементу проводять шляхом замішування проб розчину і

визначення термінів початку і кінця тужавлення, а також характеристик міцності.

Ареометром визначають щільність розчину, приладом Віка – розпливчатість.

В практиці буріння водозабірних свердловин найбільш поширена одноступінчата (нормальна) схема цементування з використанням одної і двох пробок.

Цементувальні головки (рис. 3.1) застосовують для цементування і промивання колони. Процесу цементування повинна передувати опресовка цементувальної головки на тиск, що перевищує в 1,5 рази максимальний розрахунковий протягом трьох хвилин.

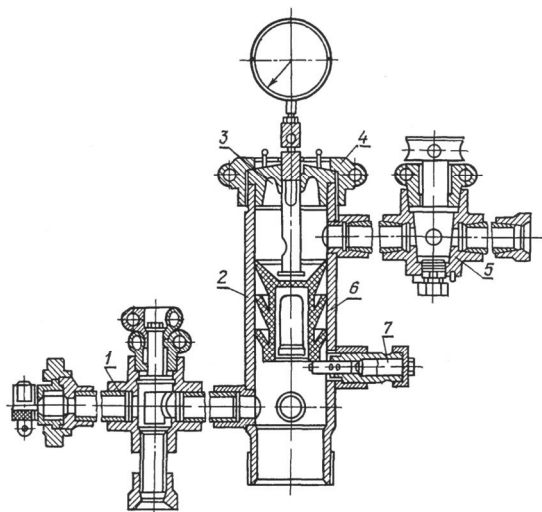


Рис. 3.1. Цементувальна головка 2ГУЦ-400:

1 – обв'язка; 2 – корпус; 3 – кришка; 4 – накидна гайка; 5 – пробковий кран;
6 – цементувальна пробка; 7 – стопорний гвинт

Перед цементуванням для поліпшення зчеплення цементного каменю зі стінками свердловини її доцільно промити розчином щільністю не більше $1,1 \text{ г/см}^3$ або водою.

Крім того, на обсадній колоні встановлюють пружинні та інші конструкції скребків, які при спуску видаляють глинисту кірку із стінок свердловини. Поєднання центруючих пристроїв і пружинних скребків забезпечує необхідну якість цементування. В складних

гідрогеологічних умовах зчеплення цементної оболонки з обсадними трубами може бути неміцним, що призводить до затрубної циркуляції підземних вод і порушення герметичності в затрубному просторі. В таких випадках зовнішню поверхню труб рекомендується перед спуском покривати бітумно-піщаною сумішшю (Овнатанов, 1970).

Схему цементування з одною пробкою застосовують при цементуванні свердловин глибиною до 100–150 м. Для цього (без спускання нижньої пробки) через цементувальну головку в свердловину закачують цементний розчин. Потім спускають верхню пробку і в подальшому роботи проводять аналогічно цементуванню з двома пробками. При цементуванні ж глибших свердловин застосування цієї схеми призводить до перемішування цементного розчину і продавлювальної рідини, що, у свою чергу, знижує якість цементатії.

Широкого поширення набула схема з використанням двох пробок (рис. 3.2).

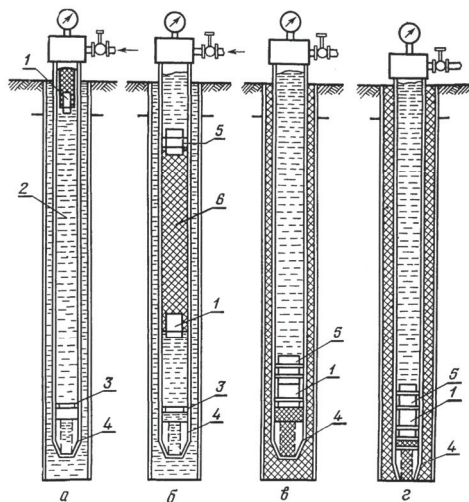


Рис. 3.2. Схема цементування з використанням двох пробок:

- а)* – свердловина, заповнена промивальною рідиною 2, в колону введена нижня пробка 1, починається закачування цементного розчину в колону; *б)* – після закачування необхідного об'єму цементного розчину 6 встановлюється верхня пробка 5, цементний розчин продавлюється до стоп-кільця 3; *в)* – цементний розчин видавлений в затрубний простір; *г)* – обсадні труби 4 опущені на вибір

Після промивки і установки нижньої пробки проводять закачування необхідного об'єму цементного розчину і встановлюють верхню пробку. Потім здійснюють продавлювання цементного розчину в затрубний простір. Після того, як верхня пробка дійде до кільця «стоп», тиск на манометрі різко підвищується, що фіксує закінчення процесу цементації. У якості продавлювальної рідини використовують глинистий розчин. При цементуванні враховують кількість продавлювальної рідини, щоб до прокачування 0,5–1,0 м³, що залишилися, перейти на роботу з одним насосом і уникнути гідравлічного удару в системі труб.

Після закінчення цементування колону залишають в спокої на 24 години, після чого випробовують на герметичність.

Розрахунок цементування проводять наступним чином.

Об'єм цементного розчину $V_{ц.р}$, необхідний для цементування обсадної колони, визначають за формулою [1]:

$$V_{ц.р} = \frac{\pi}{4} k \left[(D_c^2 - D^2) h_c + d^2 h \right] \quad (3.1)$$

де D_c – діаметр свердловини, м; D – зовнішній діаметр обсадних труб, що цементуються, м; h_c – інтервал цементування обсадної колони, м; $k = 1,2 - 1,3$ – коефіцієнт збільшення об'єму приготованого цементного розчину на заповнення розширень і каверн у свердловині; d – внутрішній діаметр обсадної колони, що цементується, м; $h = 1,0 - 1,5$ – висота цементної пробки всередині колони, що залишилася після цементування, м.

Щільність цементного розчину

$$\rho_{ц.р} = \frac{\rho_{ц} \rho_{в} (1 + m)}{\rho_{в} + m \rho_{ц}}, \quad (3.2)$$

де $\rho_{ц}$ і $\rho_{в}$ – щільності сухого цементу і води, відповідно, $\rho_{ц} = 3150$ кг/м³; $m = 0,4 - 0,5$ – водоцементне співвідношення.

Необхідна кількість сухого цементу для приготування 1,0 м³ розчину

$$q_{ц} = \rho_{ц} \rho_{в} / (\rho_{в} + m \rho_{ц}). \quad (3.3)$$

Необхідний об'єм води (в м³) на 1,0 м³ розчину

$$V_{\text{в}} = q_{\text{ц}} m / \rho_{\text{в}}. \quad (3.4)$$

Загальний об'єм води $V_{\text{в.о}}$ для приготування цементного розчину

$$V_{\text{в.о}} = V_{\text{в}} V_{\text{ц.р}}. \quad (3.5)$$

Загальна кількість сухого цементу (в кг) для приготування цементного розчину

$$Q = q_{\text{ц}} V_{\text{ц.р}}. \quad (3.6)$$

Важливим показником є швидкість підйому цементного розчину. Необхідно створити турбулентний режим руху розчину в затрубному просторі, при якому відбувається найбільш повне витіснення глинистого розчину.

Для кондукторів і проміжних обсадних колон швидкість цементного розчину має бути не менше 1,5 м/с, а для експлуатаційних колон – не менше 1,8–2,0 м/с. При виникненні небезпечних поглинань цементного розчину, швидкості висхідного розчину знижують.

Продуктивність цементувального агрегату $Q_{\text{ц.а}}$ повинна задовольняти умові [7]:

$$Q_{\text{ц.а}} = 0,785 (D_c^2 - D^2) v, \quad (3.7)$$

де v – швидкість цементного розчину в затрубному просторі.

Кількість продавлювальної рідини $V_{\text{нр}}$ підраховують за формулою:

$$V_{\text{нр}} = \frac{d^2 h k}{2}, \quad (3.8)$$

де k – коефіцієнт запасу, рівний 1,03–1,05.

Тиск P , що створюється насосом перед посадкою верхньої пробки на кільце «стоп»:

$$P = P_1 + P_2, \quad (3.9)$$

де P_1 – тиск, необхідний для подолання різниці питомої ваги рідини в затрубному зазорі і трубах, МПа:

$$P_1 = 0,1[(\gamma_1 - \gamma_2)L + (\gamma_1 - \gamma_2)h - (\gamma_1 - \gamma_2)h_0], \quad (3.10)$$

де γ_1 – питома вага промивальної рідини в затрубному просторі, кг/м³; γ_2 – питома вага продавлювальної рідини, кг/м³; L – глибина свердловини, м; P_2 – тиск, необхідний для подолання опорів, МПа.

При використанні одного-двох цементувальних агрегатів $P_2=0,01L+0,8$ МПа. В разі використання трьох і більше цементувальних агрегатів $P_2=0,02L+1,6$ МПа.

Тривалість роботи T_u з цементування

$$T_u = T_z + T_{np} + T_e, \quad (3.11)$$

де T_z , T_{np} , T_e – тривалість закачування цементного розчину, продавлювання і встановлення верхньої пробки, відповідно:

$$T_z = \frac{V_{u.p}}{nQ_{u.a}}; \quad (3.12)$$

$$T_{np} = \frac{V_{np}}{nQ_{u.a}}; \quad (3.13)$$

$$T_e = 10-15 \text{ хв.},$$

де n – кількість цементувальних агрегатів.

Тривалість цементування повинна задовольняти умові

$$T_u \leq 0,75T_{туж}, \quad (3.14)$$

де $T_{туж}$ – час тужавлення цементного розчину.

Закачування цементного розчину проводять на I або II швидкості насоса, переходячи в подальшому на вищі. Продавлювання ж цементного розчину починають з високих швидкостей насоса, поступово переходячи на нижчі, що пов'язано зі зростанням тиску на продавлювання.

Манжетне цементування знайшло поширення в одноколонних конструкціях свердловин та ін. В обсадній колоні встановлюють зворотний клапан з отворами для виходу цементного розчину і манжету, що являє собою воронку, виготовлену з брезенту, висотою 60–70 см і діаметром на 25–35 % більше діаметру буріння.

При необхідності підбашмакового цементування, відсутності цементувального агрегату або досить потужного бурового насоса можна застосовувати цементування за допомогою заливальних трубок (рис. 3.3). Ця схема проста і не вимагає спеціального устаткування.

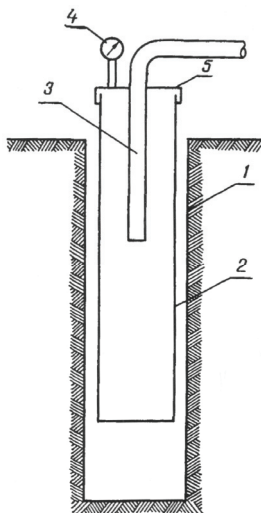


Рис. 3.3. Схема цементування за допомогою заливальних трубок:

1 – стовбур свердловини; 2 – обсадна колона; 3 – заливальна трубка; 4 – манометр;
5 – кришка

Розроблений (Миронов, 1972) снаряд для цементування обсадних колон без залишення цементного стакану. Цементний розчин закачується по бурильних трубах через отвори і манжету в затрубний простір, після цього буровий інструмент з цементувальною головкою піднімають на декілька метрів і промивають обсадні труби.

Цементний розчин готують цементно-змішувальними машинами. Бункер з сухим цементом в нижній частині має змішувальний і подаючий пристрої. Продуктивність машини 0,8–1,6 м³/хв.

Закачування цементного розчину і його продавлювання здійснюють цементувальними агрегатами (рис. 3.4). Технічна характеристика найбільш поширених цементувальних агрегатів приведена в табл. 3.2.

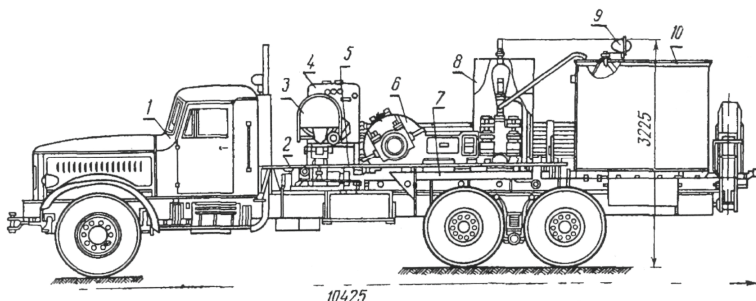


Рис. 3.4. Цементувальний агрегат ЦА-320М:

- 1 – шасі автомобіля КРАЗ-219; 2 – коробка відбору потужності; 3 – насос 1В;
 4 – обладнання верхнього двигуна; 5 – карданний вал; 6 – насос; 7 – маніфольд;
 8 – захисний кожух; 9 – електроустаткування агрегату;
 10 – мірний бак

Таблиця 3.2. Технічна характеристика цементувальних агрегатів [7]

Показники	ЦА $\frac{1,4}{150}$	ЦА-300М	ЦА-320М	3ЦА-400
Ємність мірного баку, м ³	3	3	6,4	6,9
Подача цементувального насоса, м ³ /хв. максимальна мінімальна	1,1 0,26	0,8 0,11	1,37 0,138	1,98 0,264
Максимальний тиск, МПа	15	30	40	40
Тип водяного насоса	1В	1В	1В	1В
Потужність, кВт	9,57	9,57	9,57	9,57
Максимальний тиск, МПа	1,5	1,5	1,5	1,5
Тип автомобіля	ЯАЗ-200	МАЗ-200	КрАЗ-219	Дніпро-219
Потужність двигуна, кВт	80,96	80,96	80,96	80,96
Маса агрегату з автомобілем, т	11	11	17,5	21,1

Положення покрівлі цементного каменю можна визначити за допомогою електротермометра. Для цього не пізніше ніж через добу після закінчення цементування слід записати криву зміни температури залежно від глибини. Проти покрівлі цементного каменю температура різко підвищиться внаслідок нагріву свердловини теплом, що виділяється при гідратації цементу [8].

Якщо різниця між щільністю цементного розчину і промивальної (буферної) рідини перевищує 300 кг/м³, то положення покрівлі цементного каменю можна визначити за допомогою цементоміра, що

реєструє інтенсивність розсіяного гамма-випромінювання. Оскільки інтенсивність випромінювання зменшується із зростанням щільності середовища, то на межі двох середовищ з істотно різною щільністю цементомір фіксує стрибок кривої [8].

Для оцінки якості зчеплення цементного каменю з обсадною колоною і стінками свердловини, а також для виявлення ділянок із значною кількістю невитісненої промивальної рідини, використовується метод акустичного каротажу. Цей метод оснований на тому, що амплітуда акустичних сигналів, що проходять через систему «обсадна колона – цементний камінь – гірська порода», залежить від щільності контакту колони з каменем і каменю з породою. Чим більша щільність контакту каменю з гірською породою, тим більша амплітуда сигналу, що пройшов по породі [8].

Щоб перевірити герметичність колони, до розбурювання цементного стакану в свердловину через цементувальну головку закачують глинистий розчин або воду до створення тиску 30–40 кгс/см², закривають засувку і стежать за показниками манометра. Якщо за 30 хв. тиск знизиться не більше ніж на 5 кгс/см², герметичність колони буде задовільною. Виявивши в результаті випробувань свердловини негерметичність колони або дефект тампонування затрубного простору, цементування проводять повторно [8].

Розділ 4

КОЛЬМАТАЦІЯ ФІЛЬТРІВ ВОДОЗАБІРНИХ СВЕРДЛОВИН ТА ПРИФІЛЬТРОВОЇ ЗОНИ ПЛАСТА

4.1. Причини забруднення фільтрів та прифільтрової зони продуктивних пластів'

Термін кольматаж (від французького colmatage – закупорювання, засмічення, природна цементация) використовується для пояснення причин зниження фільтраційних характеристик водовміщуючих порід і фільтруючих елементів водозабірних споруд. У зарубіжній літературі термін «кольматація» застосовується для позначення процесу механічного осадження часток в поровому просторі, а для позначення хімічного осадження різних мінеральних сполук використовується термін інкрустація (від англ. incrustation – утворення кірки, кора, щільний відклад). Ефективність роботи фільтрів водозабірних свердловин суттєво залежить від кольматаційно-суфозійних процесів на контактах каркас фільтра – порода, гравійна обсыпка – порода і каркас фільтра – гравійна обсыпка. В ході експлуатації свердловин в більшості випадків спостерігається зниження їх продуктивності, обумовлене відкладом в отворах фільтрів, порах гравійної обсыпки і водоносних породах осадів фізико-хімічного та біологічного походження.

Суть цих процесів необхідно знати як для розробки методів підбору і розрахунку фільтрів, так і для формулювання рекомендацій з підтримки стабільного дебіту свердловин в часі за рахунок застосування комплексу профілактичних заходів і ремонтних робіт.

Прямим наслідком кольматажу є збільшення швидкостей фільтрації, зростання вхідних гідравлічних опорів і зниження припливу води до свердловини. Процес кольматоутворення протікає на різних етапах експлуатації водозабірних споруд, в різних геологічних і гідрогеологічних умовах, а його інтенсивність і характер змінюються в часі та просторі.

При бурінні, освоєнні і експлуатації водозабірних свердловин проявляються процеси механічного, хімічного і біологічного кольматажу, що визначають не лише тривалість дії водозаборів, але й ефективність запланованих методів для відновлення їх дебіту.

При викладенні матеріалу підр. 4.1 і 4.2 використано роботу [9].

Процеси механічного кольматажу в основному завершуються на стадії будівництва свердловин, а хімічного і біологічного – спостерігаються протягом усього періоду дії водозабору. Оцінка частки кожного з цих процесів в зниженні дебіту свердловин – одне з основних завдань при визначенні раціонального міжремонтного періоду і призначенні ремонтно-відновлювальних заходів, а також профілактиці кольматаційних явищ.

Механічні форми кольматації активно з'являються на етапі спорудження водозабірної свердловини. При розкритті або проходці водоносного горизонту обертальним способом з прямою промивкою утворюються зони кольматації пласта, які пов'язані з проникненням в пласт часток бурового шламу, глинистого розчину (промивальної рідини) і фільтрату глинистого розчину. Геометричні розміри зони кольматації залежать від багатьох чинників, визначальними серед яких є: літологічний і механічний склади водовміщуючих порід, параметри промивального розчину, перепад тиску у стовбурі свердловини і водоносному горизонті. Різні режими буріння і умови проходки створюють кольматаж крихких водовміщуючих порід на відстані до 10–15 мм (рідше 100 мм і більше) від стінок свердловин, що істотно впливає на зміну фільтраційних характеристик цієї зони, знижуючи водопроникність в десятки і більше разів. Негативні наслідки механічного кольматажу, обумовленого проникненням в пласт технологічних продуктів буріння (шлам, компоненти промивального розчину), можуть бути в значній мірі зменшені в разі застосування прогресивних способів розкриття і освоєння водоносного горизонту. Механічний кольматаж контактної зони між гравійною обсыпкою і водовміщуючою породою, а також на межі фільтруючої поверхні і прилеглої до неї гравійної обсыпки, створюється в процесі заклинювання отворів, що забезпечують фільтрацію води [10, 11].

Досвід експлуатації водозабірних свердловин показує, що їх продуктивність і дренажна здатність істотно знижуються у часі внаслідок заростання фільтрів і прифільтрових зон свердловин різними хімічними сполуками. Хімічний кольматаж проявляється у заповненні порового простору прифільтрової зони, фільтра, міжтрубного простору водопідйомного устаткування і конструктивних елементів заглиблених насосів нерозчинними у воді оксидами, гідроксидами різних металів (*Fe, Al, Ca, Mg, Mn* та ін.) і їх сполуками [12].

Рівноважний стан основних компонентів підземних вод залежить від температури води, тиску і парціального тиску газів, розчинених у воді. При заборі підземних вод зі свердловини в прифільтровій зоні відбувається гідродинамічне збурення, що призводить до порушення хімічної рівноваги, обумовленого порушенням газової рівноваги. При цьому інтенсифікується гідроліз бікарбонату заліза, внаслідок чого Fe^{2+} окислюється до Fe^{3+} з утворенням гідроксиду тривалентного заліза $Fe(OH)_3$ (основної кольматуючої сполуки) з одночасним збільшенням величини pH при видаленні вільної вуглекислоти.

Аналогічно утворюються відклади важкорозчинного гідроокису марганцю в порах і на фільтрі. Надлишок карбонат-іонів при дисоціації HCO_3^- зв'язується катіонами кальцію, завжди присутніми у водоносних пластах, що каптуються при водопостачанні і водопониженні.

Таким чином, незалежно від конструкції фільтру процес хімічної кольматації прифільтрових зон свердловин при заборі гідрокарбонатно-кальцієвих вод визначається вмістом і стабільністю сполук заліза, марганцю, алюмінію, кальцію, двоокису кремнію та ін. [12].

При експлуатації свердловин у водоносних горизонтах з підземними водами, схильними до виділення кольматуючих утворень, слід уникати нерівномірності режиму експлуатації, в результаті якого відбувається аерація підземних вод. Потрібно надійно герметизувати гирла свердловин, виключати використання ерліфтних водопідйомників, перевіряти роботу зворотних клапанів заглибинних насосів з тим, щоб запобігти надходженню аерованих вод в інтервал установки фільтру, і найголовніше, необхідно передбачати регулярну регенерацію свердловин на основі прогнозу зниження їх продуктивності [10].

Процеси хімічного кольматажу, що відбуваються в прифільтрових зонах свердловин, інтенсифікуються біологічною діяльністю. Основною причиною цього є залізо-, сульфат- і марганцеві бактерії, які в декількох видах присутні у водоносних породах і підземних водах. В результаті своєї життєдіяльності такі бактерії осаджують залізо, марганець і виділяють сірководень із підземних вод.

Залізобактерії характеризуються такими фізіологічними особливостями: здатністю чинити каталітичну дію на процес переведення закису заліза в окис, інтенсивним виділенням великої

кількості гідрату окису заліза, що є основим продуктом їх окислювальної роботи. Вони не потребують органічних поживних речовин, присутність яких у великих кількостях гнітує діє на їх розвиток. Усі вони віддають перевагу низькій температурі, світло не відіграє особливої ролі у життєдіяльності залізобактерій. Вони краще розмножуються в темноті. Існування залізобактерій пов'язане з наявністю у воді розчинених закисних сполук. Найбільш сприятлива для розвитку залізобактерій – слабокисла реакція, але вони можуть розвиватися при майже нейтральній реакції [12].

Всі вказані умови характерні для складу підземних вод перших від поверхні землі водоносних горизонтів, що приурочені до алювіальних, флювіогляціальних і пролювіальних відкладів і в максимальній мірі використовуються для водопостачання.

4.2. Чинники, що впливають на тривалість роботи водозабірних свердловин

До чинників, що впливають на тривалість роботи свердловин відносяться: геологічна будова, спосіб буріння, конструкція свердловини, конструкція фільтру, спосіб установки фільтру, способи і терміни освоєння свердловин, режим експлуатації. Нижче розглядається вплив перерахованих чинників на тривалість роботи свердловин.

Геологічна будова. Встановлено, що сприятливі умови роботи фільтрів забезпечуються у водоносних горизонтах, представлених середньозернистими, грубозернистими або різнозернистими гравелистими пісками і галечниками потужністю від 5 м і більше [9].

Водоносні горизонти, які представлені тонко- і дрібнозернистими пісками малої потужності із частим перешаруванням глинистими прошарками, мають слабку водовіддачу. Експлуатація свердловин в цих умовах може супроводжуватися виносом глинистої частини порід, закаламученням води із дуже повільним відстоюванням.

Спосіб буріння. Кожен із способів буріння свердловин має специфічні особливості, що впливають на дебіт свердловини і тривалість її роботи. Ударно-канатний спосіб буріння впливає на структуру і літологічну будову водоносних горизонтів. Утворення пробок в стовбурі свердловин та їх ліквідація за допомогою звичайних поршневих желонки призводить до вертикального зсуву і обвалення порід і, відповідно, до заздалегідь невірної характеристики

порід водоносних горизонтів. При цьому способі буріння змінюються гранулометричний склад, фільтраційні характеристики та потужність окремих пластів і прошарків гірських порід. Дрібні прошарки з розрізу зникають, потужніші збільшуються. У момент роботи желонки в трубах відбувається вакуумування, в результаті чого спостерігається підпливання породи до вибою свердловини. По мірі наповнення желонки породою при її витяганні створюється вакуум і при виході желонки з-під статичного рівня, рівень води у свердловині знижується, що створює різницю тисків всередині свердловини та на її стінках, що впливає на утворення піщаних пробок, висота яких може досягати 8–10 м і більше [13]. Найбільше порушення фільтраційних властивостей водоносних горизонтів спостерігається у тих випадках, коли об'єм вибурених порід в багато, а інколи в десятки разів, перевищує геометричний об'єм виробки. При цьому часто утворюються провальні воронки [10].

Обертальний спосіб буріння з прямою промивкою вибою глинистим розчином належить до найгірших способів буріння при розкритті водоносних горизонтів, представлених крихкими породами. Проникнення глинистого розчину в породи, недостатньо задовільні методи і способи розглинизації штучно занижують дебіти свердловин, внаслідок чого в мілко- і тонкозернистих пісках пробурені свердловини малодобітні і навіть безводні.

Обертальний спосіб буріння із зворотною промивкою, на відміну від двох вищенаведених, є найбільш прогресивним. Для цього способу характерні великі швидкості буріння, мінімальний підрізок вибою, збереження вихідних характеристик гірських порід. Спорудження гравійних обсіпок великої потужності при правильному підборі гравію забезпечує свердловинам довгорічну роботу без піскування.

Конструкція свердловини. У зв'язку з розвитком обертального способу буріння з прямою промивкою вибою глинистим розчином, при спорудженні свердловин глибиною до 100 м і більше, з метою економії труб, застосовуються одноколонні конструкції свердловин. Фільтри в цих свердловинах встановлюють на трубах того ж діаметру. Коли свердловина простояла багато років в ґрунтах, в яких гідроокис заліза проникав в оточуючий стовбур породи, або коли в свердловинах зацементований затрубний простір, витягування труб і заміна фільтрів не можливі. Для підтримки дебіту в цих випадках

необхідні механічні і гідравлічні очищення та обробка хімічними реагентами [10].

При установці фільтру впотай забезпечуються умови для більш успішної заміни фільтру. Проте, при навантаженнях 95–100 тс, як правило, фільтри не витягуються. В більшості випадків свердловини ліквідують через падіння питомого дебіту, викликаного порушенням роботи фільтру внаслідок кольматажу або піскування. Обсадна колона піддається лише дії корозії з боку підземних вод і кислотних обробок. При цьому термін експлуатації обсадної колони в 2–3 рази перевищує термін експлуатації фільтру.

Фільтр є основною частиною свердловини, від якого залежать основні експлуатаційні характеристики роботи свердловини. Розробляються більш досконалі конструкції фільтрів, що мають мінімальні гідравлічні опори, високу міцність і стійкість проти корозійної дії води і хімічних реагентів. Експлуатація свердловин з фільтрами, встановленими впотай, економічніша, оскільки є можливість заміни фільтру на новий без перебудування нової свердловини. Конструкція фільтрів має також великий вплив на дебіт і термін експлуатації свердловин. При тривалій експлуатації свердловини без попередніх відновлювальних обробок, відбувається або кольматаж самого фільтру і прифільтрової зони, або руйнування матеріалу фільтру внаслідок корозійної дії підземних вод.

Спосіб установки фільтрів більшою мірою пов'язаний із способом буріння свердловини. При бурінні ударно-канатними станками фільтри встановлюються під захистом обсадних колон, тому такі свердловини мають меншу інтенсивність старіння в порівнянні зі свердловинами, пробуреними роторними станками. Обертальний спосіб буріння з промивкою вибою глинистим розчином суттєво впливає на подальшу роботу свердловини. Циркуючи, глинистий розчин проникає у водовміщуючі породи і забиває їх пори, що зменшує пористість порід, штучно занижуючи питомі дебіти свердловин. В процесі експлуатації таких свердловин нерідко трапляються випадки, коли після чергового ремонту відбувається перевищення питомого дебіту в порівнянні з первинним. Безпосередньо після буріння свердловин таким способом для розглинизації водоносного горизонту необхідно проводити низку відновлювальних заходів. Використання імпульсних методів виключається, оскільки при цьому силова дія буде направлена в той же бік, що і сила при бурінні свердловини, що сприяє утворенню

глинистої пробки. Навіть буріння свердловини із застосуванням зворотної промивки чистою водою не гарантує успішної її роботи, оскільки вода, що поступає із зумпфа, буде захоплювати за собою глинисті частинки водоупору і осаджувати їх в порах водовміщуючих порід. Оптимальним при бурінні свердловин є використання чистої води, що поступає з водопровідної мережі.

Інтенсивне утворення глинистої кірки під час буріння відбувається при ударно-канатному способі. Желонка з великою силою ударяє у водовміщуючі породи, створюючи силу протидії, яка перевищує силу тиску води з боку водоносного горизонту. При обертальному способі буріння ця сила тим більша, чим більший статичний рівень в свердловині. Слід вказати, що при бурінні обертальним способом із застосуванням ерліфта відбувається інтенсивне збагачення киснем підземної води, що призводить до утворення осадів у вигляді гідроокисів заліза та інших сполук, що містять кисень і створюють додаткові гідравлічні опори в прифільтрової зоні свердловини.

Способи і терміни освоєння свердловин. Після закінчення буріння в свердловинах проводиться відкачування. Як правило, в процесі відкачування відбувається піскування, що змушує бурові організації застосовувати ерліфти з низьким коефіцієнтом корисної дії і з невеликою продуктивністю. Рекомендації з прокачування свердловин з дебітом, що перевищує на 20–50 % прогнозований експлуатаційний, як правило, не виконуються. В результаті в початковий період експлуатації виникає піскування, забиття робочої частини фільтру пороною, а також спрацьованість насосного устаткування [10]. Залишений після буріння за контуром фільтру глинистий розчин цементує породи і гравійні обсіпки та ущільнює їх тим більше, чим більший час між встановлюванням фільтру і його прокачуванням. Якщо прокачування свердловин після буріння здійснюється з перервою на протязі місяця і більше, то це призводить до малої дебітності. У таких свердловинах застосування різних способів інтенсифікації – повторного прокачування, свабування, підривання торпед – не відновлювало проникності, що відповідала б гранулометричному складу порід водоносного горизонту. Таким чином, тривала перерва між бурінням і прокачуванням свердловин не бажана [10].

4.3. Інтенсивність кольтатаційних процесів'

Сукупна дія процесів механічного, хімічного і біологічного кольтатажу призводить до відкладення осадів в пористому середовищі гравійної обсіпки, а також в отворах фільтрів.

Накопичення осаду в порах пористого середовища обумовлює зміну його структурних показників і викликає зниження водопроникності. Тому для розробки рекомендацій щодо прогнозу роботи свердловин необхідна залежність між мірою насичення порового простору кольтатантом і зміною водопроникності пористих середовищ.

Міра кольтатації пористого середовища виражається через насиченість порового простору осадом a або питомий об'єм відкладів b , які визначають за формулами:

$$a = b/n_0; \quad b = n_0 - n,$$

де n_0 і n – початкова і поточна пористість середовища.

Існує ряд експериментальних і теоретичних залежностей, що встановлюють зв'язок зміни коефіцієнта фільтрації k/k_0 з насиченістю a . Теоретичні залежності отримані на основі побудови моделі середовища з умовно заданою геометричною структурою.

Найбільш детальні теоретичні і експериментальні дослідження по встановленню залежності $k/k_0 = f(a)$ виконані Д.М. Мінцем. В обґрунтування цієї залежності ним була покладена формула Козені-Кармана:

$$k/k_0 = (\omega_0/\omega)^2 (n/n_0)^3, \quad (4.1)$$

що враховує як зміну пористості n в процесі кольтатажу, так і зміну питомої поверхні пористого середовища ω . Серед експериментальних залежностей найбільш відомі формули Ю.М. Шехтмана

$$k/k_0 = \left(1 - \sqrt{b/n_0}\right)^3 \quad (4.2)$$

і В. Мацкрле

$$k/k_0 = (1 - a). \quad (4.3)$$

При викладенні матеріалу підр. 4.3 використано роботу [12].

Д.М. Мінц встановив, що зміною питомої поверхні пористого середовища можна нехтувати. З урахуванням цього, формула (4.1) має вигляд

$$k/k_0 = (n/n_0)^m = (1 - b/n_0)^m, \quad (4.4)$$

де m – показник міри ($m=2,8\dots3,3$).

Графіки $k/k_0 = f(a)$, побудовані за рівнянням (4.4) при $m=2,8\dots3,3$, приведені на рис. 4.1.

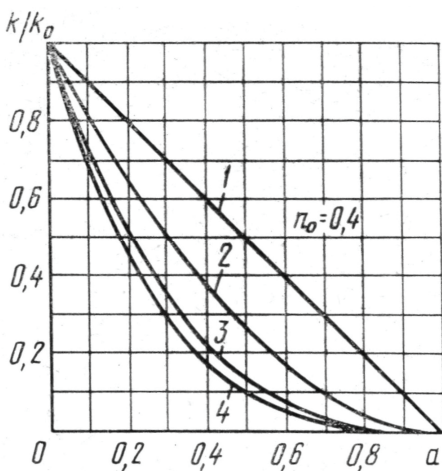


Рис. 4.1. Залежність водопроникності від насиченості середовища кольматантом:
1, 2, 3, 4 – відповідно при $m = 1, 2, 3$ і 3.3

При $a \leq 0,4$ формула (4.4) може бути представлена у вигляді

$$k/k_0 = 1 - 2(b/n_0). \quad (4.5)$$

Характерно, що близькими співвідношеннями описується залежність коефіцієнта фільтрації закольматованих сіток, знятих з фільтрів свердловин, від їх насиченості кольматантом. Водопроникність сіток оцінювалася в лабораторних умовах, а насиченість – за даними відмивання кольматанту реагентами (табл. 4.1).

Таблиця 4.1. Коефіцієнт фільтрації сіток і їх насиченість кольматантом свердловин Тамбовської області [12]

Район об'єкта	Кількість років експлуатації	k , м/добу	k_0 , м/добу	k/k_0	Насиченість сітки кольматантом
Кірсановський	13	0,21	29,30	0,01	0,809
" "	14	4,21	21,05	0,20	0,415
" "	14	0,25	28,71	0,01	0,794
Знам'янський	13	0,41	17,52	2,34	0,714
" "	13	3,09	21,25	0,14	0,475
" "	14	4,35	35,20	0,12	0,502
Мучкапський	5	33,24	50,37	0,65	0,130
" "	8	19,10	39,60	0,48	0,216
Уметський	9	3,17	24,98	0,12	0,498
Рассказовський	4	2,58	26,19	0,10	0,537
Бондарський	9	6,29	33,44	0,18	0,427
Уваровський	12	19,20	28,62	0,67	0,125
Інжавінський	8	6,39	15,14	0,42	0,250

Приведені результати обстеження свердловин шляхом розкриття привибійних зон і витягання фільтрів вказують на те, що в максимальній мірі кольматуються породи, що безпосередньо примикають до фільтру свердловин, а по мірі віддалення від свердловини спостерігається поступове зменшення кількості відкладів. Мають місце і такі випадки, коли відклади формуються лише на зовнішній поверхні фільтру свердловин і вглиб водоносного пласта не поширюються.

Вперше задача про кольматаж привибійної зони свердловини за припущення, що швидкість випадання з води і відкладання на поверхні ґрунту кольматуючих речовин досить велика, була сформульована і вирішена Н.Н.Веригіним. Згідно схематизації, запропонованої Н.Н.Веригіним, процес кольматажу протікає таким чином. При відборі води зі свердловин спостерігається зміна гідродинамічних умов в пласті, внаслідок чого відбувається стрибкоподібний зсув хімічної рівноваги в підземних водах в зоні кольматажу поблизу свердловини. У цій зоні встановлюється деяка концентрація солей C_1 , менша, ніж вихідна концентрація солей C_0 в підземних водах. Граничне накопичення речовин, що осідають з води в зоні кольматажу, збільшує розміри зони кольматажу в часі.

4.4. Виявлення кольматації свердловин'

Вихідними даними для виявлення причин зниження продуктивності свердловин є відомості про конструкцію свердловин, статичний і динамічний рівні ґрунтових вод, вміст механічних домішок у воді, характеристики водоносного пласта. Якщо у всіх свердловинах, пробурених в різний час, спостерігається зниження статичного рівня ґрунтових вод, то це свідчить про виснаження водоносного горизонту. Причини зменшення продуктивності свердловин можуть бути різними: піскування в результаті порушення природного фільтру при неправильному режимі відбору води зі свердловини; пошкодження водоприймальної поверхні фільтрів або пробки відстійників; неякісне тампонування затрубного простору; руйнування обсадних труб і фільтра; пошкодження сальника; несправність насоса; витoki в водопідйомній трубі; просадки гравійної обсіпки фільтрів; потрапляння в стовбур свердловини сторонніх предметів та ін. [15].

Якщо при обстеженні свердловини, що підлягає ремонту, встановлено, що механічні домішки у воді відсутні, а питомий дебіт зменшився внаслідок збільшення загальних опорів, тобто спостерігається зниження динамічного рівня при незмінному статичному рівні і загальному дебіті, то це вказує на кольматацію фільтру і прифільтрової зони [16].

Аналіз роботи одиночних свердловин у часі може бути проведений згідно емпіричної залежності, отриманої Н.Д. Бессоновим за результатами спостережень питомих дебітів свердловин на Ульяновському глибокому дренажі [17]:

$$q_t = q_0 e^{-at}, \quad (4.6)$$

де q_0 і q_t – питоми дебіти свердловин в початковий і розглянутий моменти часу; a – коефіцієнт старіння свердловини.

За даними спостережень встановлено, що для каркасно-стрижневого фільтра з двошаровою гравійною обсіпкою $a=0,015-0,019$, з одношаровою гравійною обсіпкою $a=0,03$, для фільтрів з пористої кераміки $a=0,043-0,075$. Аналогічні значення a отримані і на інших водозаборах.

В.С. Алексєєвим [18] зазначається, що в початковий період дебіт

При викладенні матеріалу підр. 4.4 використано роботу [14].

свердловини зберігається майже постійним, тому залежність (4.6) встановлюється після деякого періоду роботи свердловини. У зв'язку з цим при аналізі роботи свердловини в часі необхідно на графіку залежності $q = f(\lg t)$ визначити точку перегину і після цього за наведеною вище експоненційною залежністю визначити коефіцієнт старіння a . Це дозволяє дати прогноз про зміну питомого дебіту свердловини при подальшій її експлуатації.

Тривалі дослідження на водозаборах в різних гідрологічних умовах, проведені НДІ ВОДГЕО, показують, що час стабільної роботи свердловин залежить від хімічного складу підземних вод, конструктивних особливостей свердловин та умов водовідбору.

4.5. Профілактичні заходи щодо уповільнення кольматаційних процесів в свердловинах'

Профілактичні заходи, що дозволяють дещо знизити інтенсивність процесів хімічного кольматажу, слід передбачати як при бурінні свердловин, так і в процесі їх роботи.

Для уповільнення росту залізистих, марганцевих і сульфатних бактерій часто використовують газоподібний хлор та гіпохлорит із залишковою концентрацією хлору 5...7 мг/л. Хлор – сильнодіючий подразник дихальних шляхів. Допустима нешкідлива концентрація хлору в повітрі для дихання протягом 8 год. роботи складає 1 мг/л. Присутність його в повітрі відчувається при концентрації 3,5 мг/л.

Концентрація хлору 15 мг/л викликає подразнення в горлі, 30 мг/л – нудоту і кашель.

Смертельна концентрація хлору складає 1 000 мг/л.

Герметизовані свердловини можна хлорувати шляхом подачі води з хлором з напірного водоводу (при знятому зворотному клапані зовнішнього насоса). При введенні в свердловину гіпохлориту, як джерела хлору, кількість його повинна відповідати достатній концентрації по хлору. Після введення реагенту доцільно зробити 2...3 короткочасних включення насоса, що сприяє проникненню хлору в профільтрову зону.

Час хлорування свердловини – 10...12 год., періодичність – 1 раз в 3...4 міс. При проведенні такого роду профілактичних робіт необхідно враховувати, що один хлор не може досить ефективно проникати до клітини через захисну плівку бактерій. Тому доцільно

При викладенні матеріалу підр. 4.5 використано роботу [12].

хлорування поєднувати з кислотною обробкою. Для цього використовують сульфамінову кислоту концентрацією не менше 7,5 % з домішками гіпохлориту концентрацією в межах 1 %.

Стійкіший ефект дії на бактерії на тривалі періоди часу досягається застосуванням іонізуючого випромінювання необхідної інтенсивності. У якості такого джерела випромінювання випробувано застосування радіоактивного кобальту і цезію, поміщених в герметично закриті зонди. Використовують кобальт-60 з питомою активністю 25 Ки/г. Його застосовують у вигляді прута діаметром 4 см різної довжини. Доза випромінювання має бути наступною: для дезинфекції $4,5 \cdot 10^3$ Дж/кг, для повної стерилізації $45 \cdot 10^3$ Дж/кг.

Застосування іонізуючої радіації дозволяє зменшити кількість бактерій в прифільтрових зонах майже в 10 разів і знизити міру кольматації в 2...3 рази в порівнянні зі свердловинами, де не використовували радіоактивні зонди.

Розмноженню бактерій перешкоджає також обробка води магнітним полем за допомогою спеціальних пристроїв. Принцип їх дії заснований на тому, що при біостатичній обробці води за допомогою постійних магнітів відбувається об'єднання одного або декількох важливих для живлення бактерій елементів (наприклад, азоту, калію, фосфору, магнію, броду та ін.) в молекулу, що не засвоюється організмами. В результаті цього, живлення бактерій стає незбалансованим і їх зростання припиняється. Використання пристрою дозволяє або взагалі відмовитися від хлорування води, або скоротити витрату хлору.

Таким чином, існуючі профілактичні заходи не виключають процеси хімічного і біологічного кольматажу фільтрів і прифільтрових зон, а лише в різній мірі їх уповільнюють. За наявності цих процесів необхідно передбачати регулярне відновлення дебіту свердловин на основі прогнозу його зниження з урахуванням профілактичних заходів, що проводяться.

Розділ 5

ІМПУЛЬСНІ МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СВЕРДЛОВИН НА ВОДУ

5.1. Загальна характеристика імпульсних методів'

Метою освоєння і відновлення дебіту водозабірних свердловин імпульсними методами є порушення суцільності та руйнування глинистої кірки або кольматанта, а в разі каптажу скельних водоносних порід – створення штучної тріщинуватості, що збільшує проникність фільтрів і прифільтрових зон.

До імпульсних методів відновлення продуктивності свердловин на воду відносяться способи передачі закольматованим фільтру і прифільтровій зоні енергії, що йде на руйнування кольматуючих сполук, у вигляді імпульсу тиску різної тривалості. Передача енергії може здійснюватися як поодиноким, так і серією послідовних імпульсів.

Даний характер збурень в найбільшій мірі властивий таким методам регенерації свердловин, як метод вибуху малих зарядів вибухової речовини (ВР), метод електрогідравлічного удару (ЕГУ), дія пневмовибухом (ПВ) та імплізія. При застосуванні цих методів імпульс енергії передається закольматованим фільтру і прифільтровій зоні у формі ударної хвилі та акустичних хвиль, які супроводжуються перехідними процесами, що проявляються в затухаючих коливаннях тиску в зоні виділення енергії та у вигляді енергії фільтраційного потоку.

Ударна хвиля створюється швидким (1–100 мкс) виділенням енергії в середовищі, що піддається імпульсній дії.

Характер поширення ударних хвиль в зоні свердловини, обладнаної фільтром, визначається конструкцією каркаса фільтра, видом його водоприймальної поверхні, складом гравійної обсыпки і водоносних порід.

Руйнування зцементованих утворень на фільтрі і прифільтровій зоні свердловини залежить від властивостей середовища і руйнівних чинників, приведених в табл. 5.1.

При викладенні матеріалу підпр. 5.1 використано матеріал роботи [19].

Таблиця 5.1. Руйнівні чинники при імпульсній дії на свердловину [19]

Величина акустичної жорсткості, г/см ² ·с	Основний руйнівний чинник
Мала ($0,2 \cdot 10^5$ до $5 \cdot 10^5$)	Гази, що розширюються
Середня ($5 \cdot 10^5$ до $15 \cdot 10^5$)	Пряма та відбиті хвилі і гази, що розширюються
Велика ($15 \cdot 10^5$ до $25 \cdot 10^5$)	Пряма та відбиті хвилі

Примітка: Величина акустичної жорсткості середовища дорівнює добутку її щільності на швидкість поширення звуку в пористому або тріщинуватому середовищі.

У пористих водонасичених середовищах (гравійних обсіпках), акустична жорсткість яких залежно від вмісту в них повітря змінюється в межах від $0,2 \cdot 10^5$ до $4 \cdot 10^5$ г/см²·с, основна роль належить фільтраційному потоку, що викликає переміщення часток ґрунту одна відносно одної і, тим самим, руйнування цементаційних зв'язків, утворених кольматантом, що відклався.

При утворенні в прифільтровій зоні свердловини конгломератоподібних осаdів, що являють собою дегідратовані залізисті відклади значної міцності, залізисто-крем'яністі або карбонатні сполуки, основну роль при декольматації відіграють ударні хвилі, що викликають утворення тріщин в прифільтровій зоні свердловин. Аналогічно руйнівні чинники проявляються при імпульсній дії в скельних водонасичених породах (вапняках, крейді, вивергнутих і метаморфізованих породах).

Відповідно до розглянутих руйнівних чинників при виділенні імпульсу енергії в порожнині фільтру свердловини, залежно від величини імпульсу, його швидкості і способу застосування, виникають процеси, які можна представити як сукупність декількох явищ. А саме: поширення ударної хвилі, викликаної миттєвим виділенням деякої кількості енергії, поширення декількох прямуючих одна за одною хвиль стискування, викликаних пульсаціями газового пухиря і, як наслідок, поява знакозмінного пульсуючого гідропотоку і фільтраційного потоку, обумовленого розширенням газового пухиря, або в разі імпульсній дії, заповненням порожнини із зниженим тиском.

При вибуху зарядів ВР проявляються чотири діючих чинники: ударна хвиля, хвилі стискування, гідропотік перемінного напрямку і фільтраційний потік.

При реалізації методів ПВ та імпульзійній дії основними руйнівними чинниками є хвилі стискування, гідропотік змінного напрямку і фільтраційний потік.

При регенерації свердловин методом ЕГУ руйнівними чинниками є ударна хвиля і хвиля стискування. Гідропотоки змінного напрямку і фільтраційний потік незначні зважаючи на невеликий об'єм каналу пробою, що має діаметр 4–8 см [20, 21].

Класифікація імпульсних методів за основними руйнівними чинниками приведена на рис. 5.1.

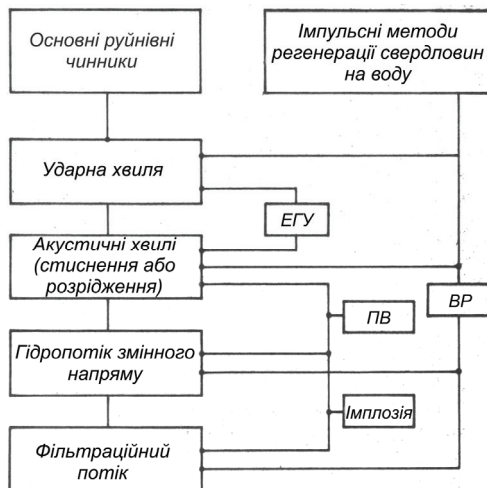


Рис. 5.1. Класифікація імпульсних методів регенерації свердловин за основними руйнівними чинниками

Класифікація основних руйнівних чинників при імпульсній дії на фільтр і прифільтрову зону свердловин дозволяє порівняти енергетичні показники кожного методу з точки зору оцінки необхідної кількості енергії для декольматації елементу фільтра заданої довжини (наприклад, 1 п. м) і оцінити їх сферу застосування у зв'язку із створюваним тиском на фронті хвилі стискування і фільтраційним градієнтом.

Енергія, що виділяється при регенерації свердловин методом вибуху зарядів ВР, визначається співвідношенням

$$E = qQ, \quad (5.1)$$

де q – питома теплота вибуху, тобто кількість тепла, що виділяється при вибуху 1 кг ВР, ккал/кг; Q – маса ВР, кг;

Час виділення енергії τ , тобто час детонації ВР, дорівнює

$$\tau = \frac{r_0}{D}, \quad (5.2)$$

де r_0 – радіус заряду; D – швидкість детонації.

Значення теплоти вибуху і швидкості детонації для деяких ВР приведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2. Швидкість детонації і теплота вибуху ВР [22]

Найменування ВР	Теплота вибуху, ккал/кг	Швидкість детонації, м/с
Димний порох	600	–
Бездимний порох	600–1 350	–
Тротил ($\rho = 1,61$ г/см ³)	950–1 000	7 000
Амоніт ($\rho = 1,15$ г/см ³)	1 020	4 500
Гексоген ($\rho = 1,65$ г/см ³)	1 320	8 400
Нітрогліцерин	1 480	8 000
ТЕН	1 400	8 200

Розрахована по формулі (5.1) енергія, що виділена при відновленні продуктивності 1 п. м фільтра вибухом торпеди з детонуючого шнура розподіляється таким чином [23]: 32 % припадає на частку ударної хвилі, 20 % – на пульсацію газової порожнини, тобто на формування вторинних хвиль тиску і гідропотоку змінного напрямку.

При здійсненні електрогідравлічного удару для руйнування кольматанта використовується імпульс енергії, що переноситься ударною хвилею в зоні фільтру свердловини. На відміну від вибухового методу, при методі ЕГУ як джерело енергії використовується не заряд, а потужні електричні розряди, що послідовно діють по всій довжині фільтру.

Процес утворення ударної хвилі при електричному розряді в рідині проходить таким чином. За короткий відрізок часу в розрядному каналі, сформованому при електричному пробіє рідини, виділяється значна енергія, що запасається раніше в конденсаторі.

Виділення енергії супроводжується нагріванням каналу і підвищенням в ньому тиску. Під дією цього тиску відбувається швидке розширення каналу розряду, що супроводжується сильним стисканням прилеглих до нього шарів рідини. Таке стискання призводить до утворення основної ударної хвилі, що поширюється по рідині. При подальшому протіканні розряду генерується серія вторинних акустичних хвиль.

При підході до фільтру ударна хвиля впливає на кольматуючий відклад і руйнує його. Ударні хвилі, що проникають в прифільтрову зону, руйнують там зцементовані осади, а хвилі, що потрапляють на неперфоровані ділянки фільтру, зазнають віддзеркалення і заломлення. Тому збільшення або відновлення водопроникності фільтру відбувається за допомогою сукупної дії основної ударної хвилі, вторинних і відбитих хвиль.

Енергія, що нагромаджується в конденсаторній батареї при здійсненні електрогідравлічного удару, визначається за формулою:

$$E = \frac{CU^2}{2}, \quad (5.3)$$

де C – ємкість конденсаторної батареї; U – робоча напруга.

Перетворення електричної енергії в інші види при ЕГУ виглядає таким чином [20, 21]: 1–3 % електричної енергії перетворюється на імпульс стискання (енергію, що переноситься первинною ударною хвилею), 2–4 % витрачається на пульсації газового пухиря, решта енергії витрачається на формування пробою, випромінення світла, теплові втрати, втрати в електроланцюгу і внутрішню енергію, що не встигла прореагувати через велику швидкість розширення пухиря воднево-кисневої суміші.

Відповідно до технічних характеристик установок СЕУ-2 для здійснення ЕГУ в свердловинах (розробник – Дослідно-конструкторське бюро електротехнології УНДІМІЕСХ) мінімальна і максимальні робочі напруги складають 25 і 50 кВ, ємкості 3 і 12 мкФ.

Енергія, що виробляється одним імпульсом ЕГУ при експлуатації установки СЕУ-2 знаходиться в межах від 0,94 до 15 кДж. Від 0,03 до 0,45 кДж перетворюється в енергію ударної хвилі і від 0,04 до 0,6 кДж витрачається на створення пульсацій в каналі пробою.

При пневмовибуху в свердловинах створюються хвилі стискання шляхом перетворення енергії стисненого повітря при його швидкому розширенні.

Загальна енергія, що виділяється при пневмовибуху дорівнює [22]

$$E = \frac{P_n V_0}{K^* - 1}, \quad (5.4)$$

де P_n – тиск стисненого повітря; V_0 – об'єм стисненого повітря; K^* – показник адіабати; $K^* = \frac{C_p}{C_v}$, тобто відношення теплоємності при постійному тиску до теплоємності при постійному об'ємі.

Враховуючи той факт, що вихлоп стисненого повітря створюється під рівень води в свердловині, тобто в середовище, що знаходиться під певним тиском, можна визначити енергію, що виділилася при ПВ, за формулою:

$$E = \frac{(P_n - P_0) V_0}{K^* - 1}, \quad (5.5)$$

де P_0 – гідростатичний тиск в точці вихлопу.

При здійсненні пневмовибуху зі снарядом модифікації АЗНДІ водних проблем з ємністю розрядної камери 1,0 л енергія одного імпульсу, що визначається за формулою (5.4), при максимальному значенні тиску, рівному 150 кг/см^2 , складає 3,75 кДж. Від 2 до 5 % цієї енергії (0,075–0,187 кДж) витрачається на створення пульсацій [22]. Згідно інструкції АЗНДІ водних проблем [24] пневмовибухова обробка повинна здійснюватися з тиском в пневмоснаряді від 25 до 70 кг/см^2 зі щільністю імпульсів від 1 до 25 на 1 п. м. Відповідно енергія, що виділяється, знаходиться в межах від 2,25 до 24 кДж на 1 п. м фільтра, що обробляється. Близькі енергетичні показники і в імпульсній обробки свердловин.

Дані про основні руйнівні чинники, кількість енергії, що виділяється при декольматації 1 п. м довжини фільтру і орієнтовні сфери застосування кожного методу імпульсної регенерації свердловин зведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3. Основні руйнівні чинники та сфера застосування імпульсних методів регенерації свердловин [19]

Методи регенерації свердловин	Основні руйнівні чинники	Енергія, що виділяється при декольматації 1 п. м довжини фільтру	Породи, що декольматуються	Тип фільтру, що підлягає обробці
Метод вибуху ТДШ	Ударна хвиля Пульсація газового пухиря і викликані нею акустичні хвилі Фільтраційний потік	$E_{заг} - 7,5$ кДж $E_{уд} - 2,4$ кДж $E_{пульс.} - 1,5$ кДж	Напівскельні породи Пухкі породи Свердловини, що експлуатуються понад 5 років	Фільтри-каркаси з труб Каркасно-стрижневі з дротяною обмоткою Фільтри зі штампованих матеріалів
Метод ЕГУ	Ударна хвиля Пульсація газового пухиря і викликані нею акустичні хвилі	$E_{заг} -$ до 400 кДж $E_{уд} -$ до 15 кДж $E_{пульс.} -$ до 20 кДж	Напівскельні породи Пухкі породи Свердловини, що експлуатуються 3–5 років	Фільтри-каркаси з перфорованих труб Каркасно-стрижневі з дротяною обмоткою Фільтри зі штампованих матеріалів. Сітчасті фільтри
Метод ПВ Імплозія	Пульсація газової порожнини Фільтраційний потік	$E_{заг} -$ до 4 кДж $E_{пульс.} -$ до 0,2 кДж	Пухкі породи Свердловини, що експлуатуються до 5 років	Каркасно-стрижневі з дротяною обмоткою Фільтри зі штампованих матеріалів. Сітчасті фільтри

Наведені розрахунки свідчать про значні відмінності в енергетичних характеристиках різних імпульсних методів, що визначає в деякій мірі їх застосування з урахуванням основних руйнівних чинників, що діють на фільтр і прифільтрову зону. Поряд з приведеними характеристиками про раціональну сферу застосування того чи іншого методу, істотне значення має амплітуда імпульсу тиску, що виникає при ударі, його тривалість, можливість регулювання параметрів обробки, а також радіус ефективної дії на кольматант. Наведені межі застосування орієнтовні і впливають з комплексу вказаних чинників. В той же час можливе розширення сфери застосування цих методів на основі наявних технологічних прийомів, що будуть розглянуті нижче при характеристиці кожного з них. Рекомендації, що узагальнені в табл. 5.3, впливають, головним чином, з обґрунтування можливості здійснення методів регенерації та доцільності їх застосування, яка повинна визначатися на основі детальнішого аналізу і техніко-економічного обґрунтування.

Значення енергії, що виділяється при здійсненні імпульсних методів згідно табл. 5.4, слід співставляти з розрахунковими значеннями енергій, необхідних для диспергування конгломератоподібних утворень до розміру зерен водоносної породи (часток гравійної обсіпки). Для дробіння цементованого масиву об'ємом V необхідно витратити енергію в кількості [25]

$$E_{qp} = \frac{5\sigma_p}{E} V \lg \frac{D}{d_0}, \quad (5.6)$$

де σ_p – руйнівна напруга зсуву для закольматованих порід прифільтрових зон; E – модуль пружності цих утворень; D – максимальний лінійний розмір масиву, що дробиться; d_0 – граничний розмір зерен, до якого відбувається дробіння осаду.

Розраховані значення необхідної енергії для дробіння конгломератоподібних утворень до розміру часток гравійної обсіпки або водоносних пісків приведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4. Розрахункові значення необхідної енергії для імпульсного руйнування конгломератоподібних утворень в присвердловинній зоні [19]

Характеристики міцності привибійної зони та розмір часток пористого середовища	Значення необхідної енергії (кДж) при відстані від стінки фільтру, м					
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$E = 5\,000 \text{ Н/см}^2$ $\sigma_p = 100 \text{ Н/см}^2$ $d_{50} = 5 \text{ мм}$	0,66	1,6	4,52	8,86	14,1	20,74
$E = 5\,000 \text{ Н/см}^2$ $\sigma_p = 100 \text{ Н/см}^2$ $d_{50} = 1 \text{ мм}$	0,86	2,1	5,9	11,3	18,3	27,00
$E = 5\,000 \text{ Н/см}^2$ $\sigma_p = 100 \text{ Н/см}^2$ $d_{50} = 0,5 \text{ мм}$	1	2,4	8,8	13	21	31
$E = 2\,000 \text{ Н/см}^2$ $\sigma_p = 150 \text{ Н/см}^2$ $d_{50} = 5 \text{ мм}$	3,7	9	25,4	48,7	79	117

$E = 2\,000 \text{ Н/см}^2$ $\sigma_p = 150 \text{ Н/см}^2$ $d_{50} = 1 \text{ мм}$	4,8	11,7	33	63	103	152
$E = 2\,000 \text{ Н/см}^2$ $\sigma_p = 150 \text{ Н/см}^2$ $d_{50} = 0,5 \text{ мм}$	5,6	13,5	38	73	119	175

При розрахунках варіювалися значення руйнівної напруги, модуля пружності і зернового складу порід в присвердловинній зоні, який задавався розміром часток, що відповідає 50 % вмісту в пробі (d_{50}). Розрахунки зроблені для фільтра діаметром 0,168 м. Розгляд граничних витрат енергії, необхідних для декольматації зони різного радіусу при максимальній відстані від фільтра свердловини рівній 0,5 м (рис. 5.2) свідчить про істотне їх зростання із збільшенням розмірів зони, що обробляється, і є важливим технологічним критерієм при імпульсній регенерації свердловин.

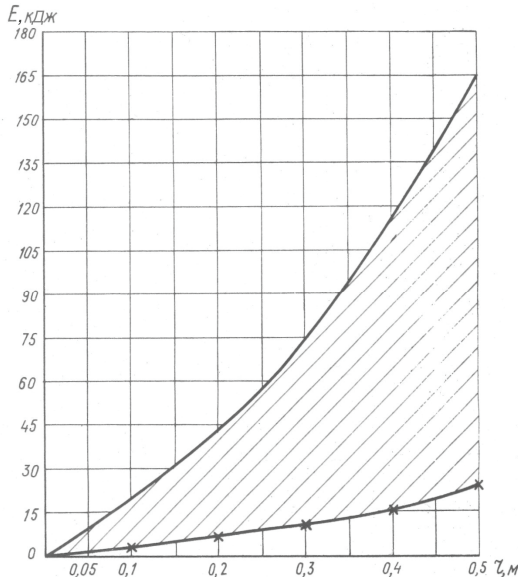


Рис. 5.2. Граничні витрати енергії, необхідної для декольматації прифільтрової зони 168 мм свердловини для різної товщини прифільтрової зони

Енергетичні витрати, відповідно до приведених розрахунків, будуть виправдані у випадку, якщо реалізація імпульсного методу забезпечує σ_p в межах всієї оброблюваної зони і руйнівна напруга складає 100–150 Н/см² (10–15 кг/см²). Можливість створення такої величини значення σ_p визначається характером згасання тиску на фронті ударної хвилі і тривалістю імпульсу. Регулювання цих параметрів поряд зі створюваним початковим тиском є предметом технологічного обґрунтування імпульсних методів [26].

5.2. Основні положення вибухового очищення фільтрів та прифільтрової зони пласта

При бурінні і експлуатації водозабірної свердловини отвори фільтра і порода стовбура свердловини покриваються осадом. Очевидно, осад проникає на невелику глибину в тріщини та пори породи. Осад утворюють глина чи подрібнена порода, що відклалися на стінках свердловини або в порах породи при бурінні, а також частинки глини, що були привнесені на фільтр під час опускання колони, або винесені з пласта і осіли на поверхні фільтру при відкачуваннях. Твердий осад на фільтрі і породі, переважно із жорстких солей і сполук заліза, може утворюватися в ході експлуатації свердловин, якщо виникають сприятливі для цього умови. В обох випадках завданням вибуху є видалення осаду зі збереженням цілими всіх елементів конструкції фільтру.

Дія вибуху на осади при очищенні фільтрів (рис. 5.3) полягає в наступному [26].

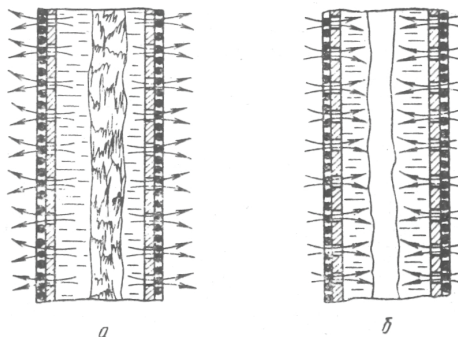


Рис. 5.3. Схема дії вибуху при очищенні фільтру:

а – при розширенні продуктів вибуху; б – при схлопуванні газового пухиря

Ударна хвиля, що виникає при вибуху, поширюючись в рідині, підходить до фільтру. У цей момент тиск в ній залежно від діаметру фільтру і величини заряду складає $500 \dots 1\,000 \text{ кг/см}^2$. Її зустріч з фільтром характеризується різким, коротким ударом по фільтру (час дії високого тиску в ударній хвилі 10–20 мкс). При ударі в осади виникають тріщини. У більшості глинистих кірок механічна міцність невелика. Проте, хімічні осади, що відклалися на сітках фільтрів, можуть мати високу міцність. Так, за даними Н.Ф. Шапкіна [27], твердість накипу-осаду, по структурі схожого з деякими осадами, що відкладаються на фільтрах, на 20–30 % більша твердості мармуру. Проводячи дослідження на спеціальному стенді, авторами [28] було показано, що навіть значно слабша ударна хвиля, ніж та, що діє на фільтр при вибуховому очищенні, легко розбиває перешкоду-пластинку з мармуру завтовшки 10 мм на осколки, а із зростанням енергії хвилі число осколків збільшується. При ударі реакцію осаду можна порівняти з поведінкою скла, армованого дротяною сіткою при ударі по ньому молотком. Рух рідини через фільтр, викликаний розширенням продуктів вибуху, викликає скидання частини розбитого осаду в затрубний простір (рис. 5.3, а). Подальше схлопування газового пухиря супроводжується вже зворотнім, із затрубного простору в стовбур, рухом рідини (рис. 5.3, б). При цьому частина осаду, що колюматував на фільтр, скидається в стовбур свердловини. Інтенсивний рух рідини сприяє також видаленню осаду з поверхні пласта і з його пор та тріщин. Пульсація пухиря, що супроводжується змінним по напрямку рухом рідини, сприяє розхитуванню частини осаду, що залишився, і видаленню його з фільтру [26].

Ефект розглинизації вибухом збільшується, якщо збитий осад має можливість в затрубному просторі виводитися з місця розташування фільтра, наприклад, падати в стовбур. Це легко здійснюється у тому випадку, коли в фільтрі відкрито вільний вихід у свердловину, що має зумпф. Досвід роботи з фільтрами подібної конструкції описаний в роботі [29] та інших.

По суті, переважно всі практично використовувані вибухові способи очищення фільтрів засновані на застосуванні детонуючого шнурів в якості заряду торпед.

5.2.1. Відновлення продуктивності водозабірних свердловин вибухом торпед з детонуючого шнура (ТДШ)'

Як зазначалось вище, основними руйнівними чинниками, що діють на прифільтрову зону при вибуху ТДШ, є ударна хвиля, акустичні хвилі, гідропотоки змінного напрямку і фільтраційний потік з великим градієнтом. Дія всіх руйнівних чинників визначає метод вибуху ТДШ універсальним, проте високі значення тиску на фронті ударної хвилі, що виникає при вибуху ТДШ, накладають на цей метод обмеження, пов'язані з міцністю стійкістю фільтрових каркасів та водоприймальних поверхонь.

Характер поширення і згасання первинної ударної хвилі оцінюється в межах трьох зон: рідини в стовбурі свердловини, власне каркаса і водоприймальної поверхні фільтра та трифазної системи в прифільтровій зоні, що складається з водоносною породи, води і затисненого повітря.

Максимальний тиск, що діє на стінку фільтра при регенерації свердловин вибухом ТДШ, визначається за формулою [30]

$$P_{\text{макс.}} = 533 \left(\sqrt[3]{Q/R_{\phi}} \right)^{1,13}, \quad (5.7)$$

де Q – вага ВР; R_{ϕ} – радіус фільтра.

Розраховані за формулою (5.7) тиски, що діють на стінки фільтрів різного діаметру, залежно від кількості ниток детонуючого шнура зведені в табл. 5.5.

Таблиця 5.5. Тиски на стінку фільтра при вибуху ТДШ у свердловині (в кг/см²) [19]

Кількість ниток ТДШ	Діаметр фільтра в дюймах			
	6	8	10	12
1	313	238	181	152
2	407	309	235	197
3	473	360	273	229

Ступінь зниження тиску на фронті ударної хвилі при проходженні стінки фільтра залежить від скважності фільтра і виду водоприймальної поверхні. Експериментально досліджено, що тиск на фронті ударної хвилі знижується при проходженні встановленого в

Три викладенні матеріалу п. 5.2.1 використано роботу [19].

свердловині нового каркасно-стрижневого фільтра з дротяною обмоткою скважністю 30–35 %, в середньому на 30 %.

Характер поширення ударної хвилі в прифільтровій зоні визначається із врахуванням розсіювання тиску в стовбурі свердловини і втрат на фільтрі. При тиску на внутрішній стінці фільтра $P_{\text{макс.}}$, визначеному за формулою 5.7, і коефіцієнті β , що враховує втрати тиску при проходженні ударної хвилі через фільтр, отримана залежність зміни тиску в прифільтровій зоні

$$P = K^* \left\{ \frac{\left(\frac{533\beta\sqrt{Q}}{K^* R_{\phi.3}} \right)^{\frac{1,13}{\mu^*}} R_{\phi.3}}{R} \right\}^{\mu^*}, \quad (5.8)$$

де $R_{\phi.3}$ – зовнішній радіус фільтру; R – відстань від осі свердловини; K^* і μ^* – коефіцієнти, що залежать від вмісту α затисненого повітря в прифільтровій зоні свердловини. Значення α , K^* і μ^* приведені в табл. 5.6.

Таблиця 5.6. Значення параметрів α , K^* і μ^* для розрахунку тиску при імпульсній дії в пористому середовищі [31]

Характеристика порід	Вміст α затисненого повітря в середовищі в долях одиниці	K^*	μ^*
Водонасичений пісок	0	600	1,05
–“–	$5 \cdot 10^{-4}$	450	1,5
–“–	10^{-2}	250	2,0
–“–	$4 \cdot 10^{-2}$	45	2,5
Неводонасичений пісок	–	7,5	3,0

Аналіз закономірностей затухання тиску згідно формули (5.8) при граничних значеннях K^* і μ^* свідчить про збереження значного тиску на фронті ударної хвилі в повністю водонасичених породах (рис. 5.4).

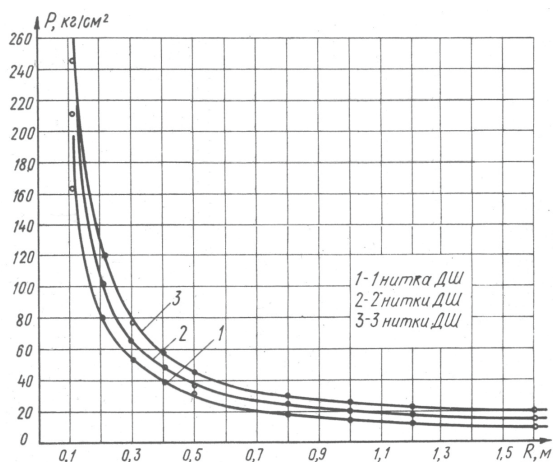


Рис. 5.4. Затухання тиску на фронті ударної хвилі в повністю водонасиченій привибійній зоні 168 мм свердловини

При відносно невеликому вмісту повітря в гравійній обсыпці, рівному 4 %, дія ударної хвилі істотно ослаблюється і, навіть при вибуху 3 ниток ТДШ, на відстані 0,3 м від осі свердловини не перевищує 20 кг/см² (рис. 5.5).

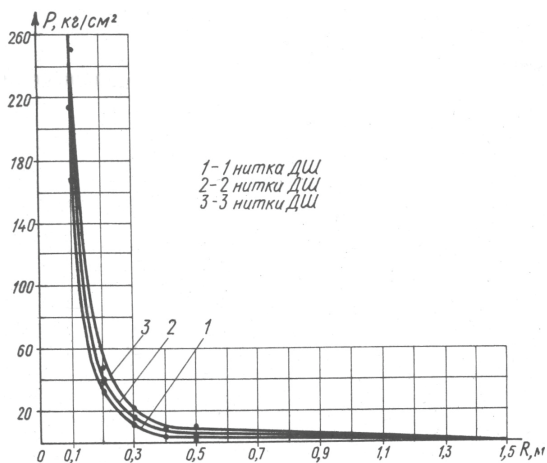


Рис. 5.5. Затухання тиску на фронті ударної хвилі із вмістом повітря $\alpha = 4\%$ в привибійній зоні 168 мм свердловини

Вибух одної нитки ДШ забезпечує створення достатнього тиску для декольматації каркаса фільтру і його водоприймальної поверхні. Щодо прифільтрової зони, то відмінність в тисках при вибуху різної кількості ниток ДШ виявляється незначною і в загальному випадку при регенерації свердловин, обладнаних фільтрами, можна обмежуватися вибухом одної нитки ДШ, особливо в конструкціях фільтрів, ослаблених корозією.

Параметри регенерації свердловин ТДШ підбираються залежно від конструкції фільтру, складу кольматанта і часу експлуатації свердловин. Граничний тиск руйнування в оброблюваній зоні приймається рівним $10\text{--}15 \text{ кг/см}^2$. Торпеда детонуючого шнура складається з декількох ниток детонуючого шнура марки ДШВ у водостійкій оболонці (1 м детонуючого шнура містить 12,5 г вибухової речовини), електродетонатора, пристроїв для кріплення шнура і центрування торпеди в зоні фільтру, кабельної головки для кріплення торпеди до кабелю. Промисловістю серійно випускаються торпеди наступних типів: ТДШ-25, ТДШ-50 і ТДШ-В (рис. 5.6). Основні технічні характеристики торпед приведені в табл. 5.7.

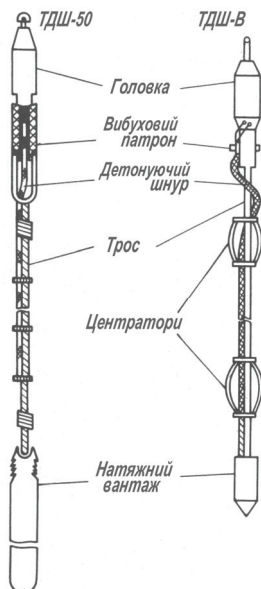


Рис. 5.6. Шнурові торпеди ТДШ-50 і ТДШ-В

Таблиця 5.7. Характеристики шнурових торпед [19]

Характеристики шнурових торпед	ТДШ-50	ТДШ-25
Максимальний зовнішній діаметр торпеди без центраторів, мм	50	25
Довжина вантажу, мм	1000	2200
Вага вантажу, кг	16	7
Допустима максимальна температура в свердловині, °С	80	80
Допустимий максимальний гідростатичний тиск, кг/см ²	500	500
Довжина торпеди, м	1–100	1–100
Кількість відрізків ДШ	1–5	1–5

Технологічно декольматація (розглинизація) свердловин методом вибуху торпеди ТДШ проводиться таким чином. Спочатку перевіряється можливість спуску заряду шаблонуванням стовбура свердловини. Безпосередньо у районі свердловини збирають торпеду, причому її довжина приймається рівною довжині фільтру або його інтервалу, що підлягає регенерації. Величина заряду визначається відповідно до викладеної методики.

Зібрана торпеда опускається в свердловину. Якщо свердловина глибока — обов'язкове застосування зовнішніх підйомників або спеціальних лебідок. Торпеду розміщують в зоні фільтру або інтервалу, що декольматується. Торпеда має бути центрована уздовж осі свердловини, оскільки при відхиленні торпеди по осі на 0,3 радіуса фільтра енергія, що передається найближчій до торпеди точці, подвоюється, а при зміщенні на 0,5 радіуса, збільшується в 4 рази. Для дотримання співвісності торпеди забезпечують центраторами, у торпеди ТДШ-В вони є елементами конструкції. Після установки торпеди здійснюють її підривання, витягують її частини зі свердловини і готують свердловину до прокачування.

Варіювання тисків при вибуху ТДШ можливо тільки за рахунок збільшення кількості ДШ в торпеді. При цьому тиск на фронті ударної хвилі на заданій відстані від точки вибуху має бути більшим σ_p .

Регулювання тиску на фільтр і прифільтрову зону свердловини при вибуху ТДШ може бути здійснено з використанням торпеди в перфорованому сталевому корпусі з поліетиленовою оболонкою. Сталевий корпус торпеди, виконаний з перфорованої труби, забезпечує створення додаткового опору на фронті ударної хвилі.

Максимальний тиск під час вибуху цього виду торпеди визначається за формулою

$$P = 533\beta^* \left(\sqrt{Q^3/r_\phi} \right)^{1,13}, \quad (5.9)$$

де β^* – коефіцієнт послаблення сили вибуху, який залежить від скважності каркасу.

В польових умовах встановлено, що величина β^* змінюється в залежності від скважності каркасу і може бути визначена за графіком, представленим на рис. 5.7.

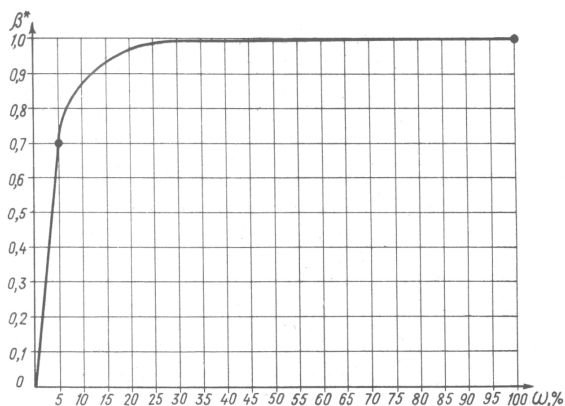


Рис. 5.7. Зміна коефіцієнта ослаблення сили вибуху β^* в залежності від скважності каркасу ω

У табл. 5.8 приведені значення тисків на внутрішню стінку фільтра, що виникають при вибуху свердловинної торпеди в перфорованому корпусі із зарядом в 1 нитку ДШ.

Таблиця 5.8. Тиски на стінці фільтра свердловини при вибуху ТДШ в одну нитку в перфорованому корпусі (кг/см²) [19]

Скважність корпусу торпеди в %	Діаметр фільтра в дюймах			
	6	8	10	12
15	294	225	170	143
10	269	205	186	131
5	219	167	127	106

При вмісту в складі кольматанта пухких, пастоподібних сполук, а також при розглинизації водозабірних і гідрогеологічних свердловин, доцільно перерозподіляти енергію руйнівних чинників з переважним використанням для декольматації енергії фільтраційного потоку. Для цієї мети доцільно використовувати еластичний елемент (рис. 5.8), який герметизує торпеду (наприклад, з поліетиленової плівки), що дозволяє створити ефект повітряної забійки [32].

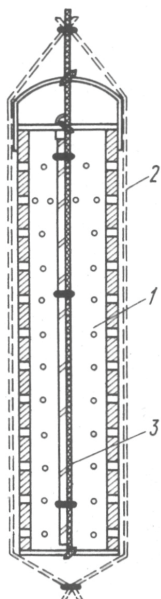


Рис. 5.8. Свердловинна торпеда НДІ ВОДГЕО:
1 – перфорований каркас; 2 – еластична оболонка; 3 – відрізок ДШ

Експериментальні та виробничі дослідження ефективності відновлення продуктивності водозабірних і дренажних свердловин вибухом ДШ на Ул'янівському і Каменському вертикальних дренажах, свердловинах систем сільськогосподарського водопостачання в Росії і Білорусії свідчать про те, що залежно від часу експлуатації свердловин і типу кольматуючих відкладів їх питомий дебіт відновлюється в межах від 40 до 90 % порівняно з первинним.

В окремих випадках після обробки спостерігається перевищення первинної продуктивності і питомого дебіту свердловин, що звичайно пов'язане з їх недостатнім освоєнням перед здачею в експлуатацію. При повторній і багатократній обробці її ефект знижується. Тривалість стабільної роботи свердловин після вибуху ДШ не перевищує 3–4 місяців. Питомий дебіт, збільшений в результаті регенерації цим методом на досліджених ділянках, через 10–12 місяців знижується до величин, зафіксованих перед обробкою.

Найбільш поширений міжремонтний період при регенерації свердловин вибухом ДШ повинен прийматися в межах року. Рациональний же міжремонтний період складає 8 місяців.

5.2.2. Торпедування свердловин фугасними торпедами'

При торпедуванні експлуатаційні характеристики свердловин можуть істотно змінюватися у бік їх поліпшення. Фактично це і має місце. На тих глибинах, які характерні для водозабірних свердловин, ефект дії вибуху проявляється не лише за рахунок тріщин і каверн, що виникли в пласті довкола стовбура, але і пов'язаний з очищенням поверхні породи, у тому числі і тріщин від забруднень. Видалення забруднень відбувається у формі «збивання» кірок осаду, що відклався на поверхні породи, порушення сил зчеплення кірки з породою, що особливо важливо для осадів, що відклалися в тріщинах, і, нарешті, за рахунок сколювання з поверхні стовбура шматочків породи, що містять вкраплення, які заповнили тонкий, прилеглий до поверхні шар породи. Існують випадки, найчастіше обумовлені невірними режимами експлуатації, коли неглибоке по проникненню забруднення породи здатне створити практично непроникну для рідини перешкоду. Для очищення поверхні породи можуть з успіхом застосовуватися заряди більші, ніж в торпедах ТДШ.

Щоб скласти уявлення про масштаби впливу торпедування на дебіти свердловин, в табл. 5.9 приведені результати використання фугасних торпед у ряді районів. Деякі з приведених в табл. 5.9 свердловин торпедувалися перед здачею в експлуатацію одразу після буріння. Втім, це не виключає торпедування свердловин, що тривалий час знаходилися в експлуатації, яке успішно проводилося у ряді організацій.

При викладенні матеріалу п. 5.2.2–5.2.6 використано роботу [26].

Таблиця 5.9. Результати торпедування [26]

Район	Вид буріння	Діаметр свердловин, мм	Інтервал торпедування, м	Кількість вибухів	Дебіт м³/год	
					до вибуху	після вибуху
Московська область	Ударний	406	25–30	3	5	27
»	»	197	98–114	3	17	60
»	»	451	145–157	6	32	90
Калінінська область	Роторний		63–83	2	15	92

Примітка: Вага заряду 5 кг.

З даних табл. 5.9 видно, що у свердловинах, пробурених у вапняках, використання вибуху дозволило отримати істотний приріст дебіту. Зауважимо, що свердловини, які підлягали торпедуванню мали переважно низький для свого району дебіт. Очевидно, в даному випадку велику роль в підвищенні дебіту відігравало очищення поверхні породи вибухом. Це також відноситься до свердловин, пробуреним обертальним способом.

Там, де основний ефект торпедування пов'язується із створенням довкола стовбура розвиненої мережі тріщин для збільшення припливу рідини в свердловину необхідно застосовувати великі заряди. На багатьох же свердловинах, де необхідно провести досить глибоке очищення поверхні породи, у тому числі і тріщин, використання торпед буде економічно менш доцільним, ніж застосування довгих шнурових зарядів, що містять на 1 м довжини 0,1–1,0 кг вибухової речовини.

У багатьох роботах, присвячених бурінню і експлуатації водозабірних свердловин, наприклад [29], торпедування розглядається як стала практика дії на пласт, коли він представлений твердими породами, а свердловина виявилася низькодебітною. Рекомендується широкий набір ВР – від амонітів до нітрогліцерину і різні конструкції корпусів торпед від оцинкованих гільз до гумових мішків. Вага рекомендованих зарядів від 5 до 50 кг і більше, хоча в деяких роботах максимальний заряд обмежують 20 кг.

В Інституті геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України А.В. Михалюком розроблено принципово нову технологію інтенсифікації видобутку рідких та газоподібних копалин [33]. Фізичною основою технології є здатність гірських порід до дилатансійного розуцільнення під впливом об'ємних просторових навантажень високої нерівномірності, що спричиняє інтенсивне збільшення пористості (а відповідно, і фільтраційної проникності)

порід. Спеціальними дослідженнями було встановлено, що за рахунок дилатансійного розушільнення фільтраційна проникність порід-колекторів нафти і газу може збільшитись у декілька (в окремих випадках – в десятки) разів. Важливо лише встановити оптимальні умови розвитку дилатансії, які для кожного типу порід визначаються окремо. Просторове навантаження продуктивних зон генерується вибухом торпеди спеціальної (секційної) конструкції, а регулювання його інтенсивності та нерівномірності відбувається за рахунок суперпозиції вибухових хвиль від окремих частин заряду. Тому цю технологію іноді називають дилатансійним торпедуванням свердловин [33].

Переваги розробки перед відомими методами впливу на ПЗП такі [33]:

- простота і швидкість проведення операцій;
- можливість локальної (вибіркової по геологічному розрізу) зміни колекторських властивостей порід;
- створення значних за розмірами зон підвищеної проникності;
- суттєве (в кілька разів) збільшення продуктивності свердловин;
- тривалість позитивного ефекту;
- можливість забезпечення захисту колон від уражаючої дії вибуху;
- економічність робіт.

Дослідно-промислові випробування технології на видобувних свердловинах показали, що за рахунок дилатансійного розушільнення колекторів дебіт нафтових свердловин зростає в 1,9...4,5 рази по флюїду і в 2,5...6 разів по видобутку нафти; дебіт газових свердловин збільшується в 8...20 разів; нагнітальних свердловин – в 5...9 разів; свердловин на воду – в 3...12 рази. При цьому стійкий ефект від застосування технології зберігається протягом багатьох років [33, 34].

Сумарний заряд може складатися з двох (або декількох) зарядів. Кількість зарядів визначається умовою створення в масиві максимальної протяжності в часі напружено-деформованого стану високої нерівномірності. Необхідна величина Δt сповільнення підриву зарядів один відносно одного в режимі короткосповільненого вибуху задається спеціальними пристроями, але частіше всього, відрізками детонуючого шнура відповідної довжини [33].

Прикладом промислової реалізації заряду, що складається з двох частин є торпедування водозабірних свердловин в с. Горенка Київської обл. [35]. Роботи проводилися на трьох свердловинах, що

пересікали товщу пухких порід (піски, суглинки) загальною потужністю 98–112 м і були заглиблені в корінні породи (граніти) на 9–21 м. Загальна глибина свердловин складала 107–131 м. Для торпедування свердловин використовували заряди із шашок Т-400Г. Сумарна маса зарядів в кожній свердловині приймалася однаковою. Передача детонації між частинами заряду відбувалася за допомогою відрізків ДШ завдовжки 0,7–0,91 м.

В результаті торпедування дебіт свердловин виріс в 10,1–12,7 рази у порівнянні із зростанням в 5,6 рази при використанні одного заряду.

Результати вибухової обробки свердловин Томської області з використанням ефекту розуцільнення порід водоносного горизонту при застосуванні системи зарядів, що підриваються з уповільненням один відносно іншого, приведені в роботі [36]. Водовміщуючі породи складені міцним слаботріщинуватим пісковиком з прожилками кварцу і кальциту, місцями вивітраним пісковиком. Водоприймальна частина свердловин повністю або частково обладнана фільтром з перфорованих труб. Діаметр отворів фільтру 20–30 мм; скважність фільтру 20–30 %; довжина водоприймальної частини свердловин 30–50 м; глибина свердловин 100–130 м; статичний рівень води 10–30 м; початковий (пусковий) дебіт свердловин складав 0,22–0,66 л/с.м. До моменту обробки (через 7–8 років експлуатації) внаслідок механічної кольматації глинистими відкладами і хімічної кольматації залізистими осадами питомий дебіт свердловин впав практично до нульового. З метою відновлення продуктивності свердловин були використані торпеди, що являють собою систему десяти зарядів з амоніту № 6 ЖВ і тону, віддалених один від одного на відстань 1,0–1,3 м. Маса одного заряду 0,2 кг.

Інтервал уповільнення спрацювання сусідніх зарядів встановлювався рівним часу наростання позитивної фази тиску від вибуху попереднього заряду. Необхідний час уповільнення підривання сусідніх зарядів забезпечувався вибором детонуючого шнура необхідної довжини.

Результати обробок свердловин (табл. 5.10) свідчать, що при торпедуванні системи зарядів в режимі короткосповільненого підривання одного заряду відносно іншого досягаються вищі, порівняно із традиційними методами, прирости дебіту і ступінь відновлення первинної продуктивності свердловин.

Таблиця 5.10. Результати вибухової обробки свердловин на воду [36]

Номер свердловин	Питомий дебіт при здачі, л/с.м.	Час експлуатації, років	Питомий дебіт перед обробкою, л/с.м.	Питомий дебіт після обробки, л/с.м.	Збільшення питомого дебіту відносно початкового, %	Збільшення питомого дебіту в результаті обробки (кількість разів)
38	0,66	8	0,09	0,68	103	7,2
47	0,38	8	0,058	0,406	107	7,0
42	0,33	7	0,042	0,307	93	6,5
25	0,217	7	0,033	0,19	87	5,8

5.2.3. Використання газової детонації

Із вибухових речовин, застосування яких може представляти інтерес при роботах у водозабірних свердловинах, особливу групу складають газоподібні вибухові суміші. Подібні суміші відомі, головним чином, як джерело численних аварій в шахтах, на хімічних заводах та на інших об'єктах. Зупинимось на особливостях цього класу вибухових речовин, оскільки використання їх у водозабірних свердловинах матиме ряд безперечних достоїнств.

При атмосферних умовах газові вибухові речовини в одиниці об'єму, внаслідок меншої щільності, містять приблизно в тисячу разів менше енергії, ніж тверді ВР, що зазвичай використовуються. Швидкість їх детонації 2 000–3 000 м/с. Якщо пригадати, що тиск в детонаційній хвилі p пов'язаний з початковою щільністю ВР ρ_0 ,

швидкістю детонації D співвідношенням $p = \frac{1}{4} \rho_0 D^2$, то можна

відмітити, що тиск в детонаційній хвилі, що поширюється по газовому заряду, буде на чотири порядки меншим, ніж в заряді з твердої ВР. Незначним буде і тиск в ударній хвилі, що поширюється в рідині, при вибуху в ній газового заряду.

Використання газового вибуху дозволяє здійснювати ударну, але значно «м'якшу» дію на об'єкти, що знаходяться в свердловині і має таку перевагу, як виключення робіт по зберіганню та перевезенню самих вибухових речовин. Виконавець робіт має справу окремо з невибуховими газами, як, наприклад, кисень, водень або метан. З них, простим змішуванням, лише в останній момент перед використанням, готується вибухова суміш. Газові суміші не вимагають для збудження

вибуху застосування штатних засобів ініціювання, для них досить простого підпалу суміші, що заповнює трубку і ділянку розгону горіння до детонації. По Р.І. Солодухину [37], при атмосферному тиску ділянка розгону лежить в межах 30–70 діаметрів трубки (при вищих тисках суміші вона скорочується). У правильно спроектованих апаратах підпалювання забезпечує надійний вибух всього заряду.

Газовий вибух, внаслідок невисокої величини створюваного тиску, може здійснюватися в конструкціях практично необмежену кількість разів.

Крім того, метод газової детонації дозволяє здійснювати циклічну вибухову дію на об'єкти, що знаходяться в свердловині, причому частота вибухів і енергія окремих вибухів можуть добре регулюватися.

Використання газового вибуху в свердловинах не вирішує всіх проблем. Більш того, цей метод має деякі недоліки. Проте газові вибухові суміші мають певні достоїнства, що дозволяє ефективно застосувати їх для відновлення дебіту водозабірних свердловин.

На даний час запропонований ряд конструкцій апаратів, що використовують в свердловинах газову детонацію. Є досвід поводження з газовими вибуховими сумішами при використанні їх в свердловинах. Зупинимося на принциповій схемі апарату для використання газової детонації. Компоненти (окислювач, в більшості випадків кисень) і пальне (пропан для зовсім мілких свердловин, метан, водень – для більш глибоких свердловин) через клапанну систему, редуктори, дозуючі пристрої і пристрої, що відсікають детонацію, поступають в змішувач і, пройшовши через нього і розгінну трубку, поступають в камеру (відкритий знизу стакан, затвором якого є рідина, що заповнює стовбур). Запальна свічка, що розташована на ділянці між змішувачем і розгінною трубкою, дає можливість в потрібний момент запалити суміш. Схема апарату повинна дозволити зручно, без будь-яких труднощів спускати на каротажному кабелі апарат у свердловину і здійснювати вибухові процеси на глибинах до декількох сотень метрів.

Використання газової детонації корисно при очищенні фільтрів, витяганні труб, усуненні зависання гравію або колони, при роботах по бурінню і ремонту свердловин і у ряді інших випадків. Оскільки з глибиною щільність газового заряду зростає, а отже, зростають і параметри дії вибуху, процес регулюється використанням набору зйомних вибухових камер, що входять в комплект апарату.

Принципова схема апарату для використання газової детонації приведена на рис. 5.9.

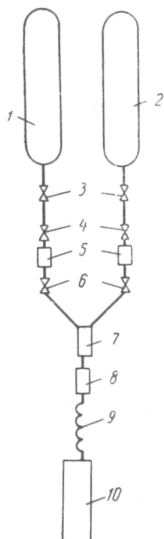


Рис. 5.9. Принципова схема апарату для використання газової детонації:
1 – ємність кисню; 2 – ємність пального газу; 3 – редуктори; 4 – пускові клапани;
5 – дозуючі пристрої; 6 – запобіжні клапани; 7 – змішувач; 8 – запальна свічка;
9 – розгінна трубка; 10 – вибухова камера

Керують процесом з денної поверхні по кабелю, на якому апарат спускається в свердловину.

Одна з перших принципових схем апаратів для реалізації газового вибуху була запропонована Раменським НДІ геофізики [26]. Тут кисень і енергоносії, що знаходяться в балонах, разом з редукторами, дозаторами, змішувачем і робочою камерою необхідно опускати на каротажному кабелі в свердловину, де повинна здійснюватися обробка фільтру.

В Івано-Франківському Національному інституті нафти і газу розроблена і випробувана установка газовибухової регенерації фільтрів з використанням газоповітряної суміші [38]. Газ і повітря, що знаходяться в балонах біля гирла свердловини, по гнучких шлангах подаються в порожнину вибухової камери, яка змонтована у складі рухливого поршня-снаряда. В результаті вибуху газоповітряної суміші поршень-снаряд зміщується в стовбурі свердловини і при

своєму русі створює негативний і позитивний тиски в зоні обробки. Випробування виявили сферу застосування способу, який дозволяє вести обробку фільтрів на невеликих глибинах.

Для вибухових газових сумішей у якості горючих газів можуть бути використані пропан, метан, водень, ацетилен, у якості окислювача – кисень або повітря. Найбільш доступними газами є повітря і ацетилен, який широко застосовується при зварювальних роботах і може бути легко отриманий з карбиду кальцію. Тому при очищенні фільтрів доцільно використовувати ацетилено-повітряну суміш [39]. В результаті досліджень встановлено, що міра очищення фільтру визначається концентрацією ацетилену A в газовій суміші. Із збільшенням A від 20 до 100 % при постійному початковому тиску ацетилено-повітряної суміші $p_n = 0,4$ МПа руйнування осаду досягає максимального значення при вибуховому розпаді чистого ацетилену. Це пов'язано з тим, що теплопровідна здатність газової суміші і, відповідно, тиск, що виникає при її вибуху, виявляються тим більшими, чим більше міститься в ній ацетилену. Проте для ініціювання вибуху газової суміші з $A \geq 70$ % потрібний потужний електричний розряд з енергією більше 100 Дж, отриманий від високовольтного генератора імпульсів струму. Застосування такого генератора значно ускладнює проведення робіт по очищенню фільтрів свердловин в польових умовах. Тому доцільно використовувати газові суміші з великим вмістом повітря.

При вибуху газової суміші найбільша міра очищення фільтру має місце безпосередньо біля торця вибухової камери; по мірі віддалення від неї ефективність очищення знижується. Звідси виходить, що ефективне очищення фільтрів водозабірних свердловин може бути досягнуто при послідовному відтворенні декількох вибухів газової суміші по довжині фільтрових труб з інтервалом 0,8–1,0 м. Випробування показали, що стійкий вибух газової суміші відбувається при тиску від 0,1 до 0,5 МПа, що відповідає глибині 10–50 м занурення апарату під рівень води в свердловині [39].

В.А. Романенко [14] запропонував використання ацетилено-повітряно-газової суміші в свердловинах за двома схемами: верхніми вибухами над поверхнею води в свердловині і нижніми вибухами безпосередньо у фільтрі. Для реалізації обох схем використовується ацетиленовий газогенератор, що працює на подрібненому карбіді кальцію і вибухова камера зі свічкою підпалу. Спосіб випробуваний на 22 свердловинах, що дозволило відновити їх продуктивність в

діапазоні від 15 до 70 % від первинної залежно від терміну експлуатації свердловин. Роботи по регенерації фільтрів цим способом ускладнюються необхідністю вентиляції вибухової камери після кожного вибуху.

У роботі [40] запропонований газоімпульсний спосіб відновлення дебіту свердловин на основі воднево-кисневої суміші (ВКГС), який має ряд достоїнств, основними з яких є:

- можливість отримання водню спільно з киснем шляхом електролізу води при безпечній напрузі безпосередньо в зоні оброблюваного фільтру. Таким чином, виключається потреба в складному компресорному устаткуванні високого тиску для подачі газів на вибір з поверхні;

- продуктами вибуху ВКГС є пари води, які, конденсуючись, перетворюються на воду. Це дозволяє вважати спосіб екологічно безпечним для довкілля;

- за характером передачі фільтру і прифільтровій зоні енергії, вибух ВКГС відрізняється від використовуваних в даний час газоподібних енергоносіїв, пневмовибуху, електрогідроудару і вибуху ТДШ наявністю імпульсної дії на кольматуючі відклади, яка викликана практично повною конденсацією продуктів вибуху протягом їх першої пульсації і сприяє підвищенню ефективності виїмання зруйнованих відкладів;

- можливість проведення процесу в автоматичному режимі без підйому пристрою на поверхню для перезарядки.

Аналіз газоімпульсного способу показує, що при використанні двох режимів хімічного перетворення горіння і детонації він має широкий спектр руйнівних чинників: ударну хвилю (при детонації), хвилі стискування і розрідження, гідропотоки знакозмінного напрямку, що виникають при пульсаціях продуктів вибуху, які здатні створити потужну динамічну дію на фільтр та ініціювати знакозмінні фільтраційні потоки в прифільтровій зоні свердловини [40].

5.2.4. Розрив пласта тиском порохових газів

Коли пласт представлений міцними, невисокої проникності, породами, дебіт свердловини сильно залежить від ступеня тріщинуватості в зоні стовбура. Використання вибуху для збільшення тріщинуватості було описано раніше. Один з висновків, зроблених при розгляді цього питання, полягає в тому, що розмір утворюваних

тріщин визначається величиною заряду. При фіксованих розмірах торпеди, що передбачає створення в породі пропорційних їм по протяжності тріщин, після вибуху слід чекати і відповідного збільшення дебіту.

У якості альтернативного методу дії на привибійну зону був запропонований і використаний спосіб зміни проникності породи шляхом створення в ній тріщин гідравлічним розривом пласта.

Гідравлічний розрив пласта проводиться закачуванням в свердловину під тиском в'язкої рідини, що містить пісок. Якщо виконується ряд умов, то закачування рідини супроводжується розширенням наявних і створенням нових тріщин в породі. Грубою схематизацією буде уподібнення механізму розриву дії клину, що вганяється в дерево, причому роль клину відіграє рідина, що розпирає породу в якійсь початковій тріщині або перфораційному отворі. Ділянку стовбура обмежують пакерами з тим, щоб в процесі закачування якомога вище підняти тиск в рідині, що знаходиться в цій ділянці, зберігши його протягом деякого часу, не дивлячись на просування частини рідини в тріщини, що розширилися, і відхід її завдяки фільтрації в породу. Закріплення тріщин досягається тим, що в них із рідиною вноситься пісок. Навіть у районах, де достатньо техніки – в основному цементувальних агрегатів, подібні роботи трудомісткі і дорогі. В умовах водозабірних свердловин через відсутність необхідного устаткування, специфіку конструкції свердловин і високу вартість такий спосіб практично не застосовується.

Причини, з яких метод не застосовується, досить обгрунтовані. Не дивлячись на невелику глибину свердловин, вартість буде значною. Великі витрати пов'язані з необхідністю транспортування на великі відстані до місця робіт дорогої техніки. Конструкція свердловини – відкритий вибій або незацементована колона, що перекриває продуктивний пласт, роблять проблемним, або в усякому разі складним, пакерування ділянки пласта, в якій запланований гідророзрив. Цих двох причин достатньо для того, щоб говорити про труднощі впровадження методу у виробничу практику водозабірних свердловин.

Для здійснення розриву пласта запропоновано використовувати енергію згорання порохових зарядів. Завдяки застосуванню такого потужного джерела енергії виявилось можливим змінити технологію. В роботі [41] показано, що в певних умовах здійснення процесу, коли

створюється високий тиск, порода пластично деформується і при знятті тиску залишкова деформація не дозволяє тріщині повністю закриватися. Такий процес дозволяє відмовитися від використання піску для закріплення тріщин, що само по собі вже є спрощенням технології. Надзвичайно високий темп закачування рідини протягом короткого часу дозволяє проводити розрив без герметизації ділянки стовбура – у відкритому стволі, використовуючи інерцію стовпа рідини. І, нарешті, відмова від пакерування і застосування агрегатів для закачування рідини, виконання всієї роботи шляхом спускання в свердловину апарату на каротажному кабелі різко зменшують вартість розриву, роблячи її прийнятною і для робіт у водозабірних свердловинах. На доцільність застосування методу у водозабірних свердловинах вказують також низькі гірські тиски, що полегшують розрив пласта, і постійність умов, перш за все температури, за яких він здійснюється.

Щоб краще уявити можливості методу при його застосуванні у водозабірних свердловинах, слід зупинитися на теорії розриву пласта тиском порохових газів [42].

Вертикальні і горизонтальні тріщини починають утворюватися, коли тиск на вибої відповідно перевищує бічний або вертикальний гірський тиск. За даними В.А. Блажевича, отриманими при вивченні розриву пласта, відношення тиску розриву пласта до повного гірського залежно від глибини коливається в межах від 0,61 до 0,77. Зменшення тиску розриву, очевидно, пов'язане з існуванням природної тріщинуватості. Низькі тиски викликають лише пружні деформації породи і вимагають обов'язкового закріплення тріщин піском.

Щоб створити залишкові деформації в породі, необхідний набагато більший тиск. Ю.П. Желтовим теоретично встановлена умова утворення залишкової вертикальної тріщини, більш стійкої до змикання під дією гірського тиску, ніж горизонтальна [41]

$$\frac{p - p_{nl}}{p_{\delta\epsilon}} = \frac{E_2/E_1}{E_2/E_1 - 1},$$

де p – тиск у свердловині; p_{nl} – пластовий тиск; $p_{\delta\epsilon}$ – бічний гірський тиск; E_1 і E_2 – модулі Юнга гірської породи пласта при навантаженні і розвантаженні, відповідно.

В роботі [41] також стверджується, що для багатьох свердловин, у тому числі, для більшості водозабірних з колекторами, складеними твердими, малопроникними породами, при відповідних режимах розриву, закріплення тріщин не обов'язкове. Щоб розірвати пласт необхідне джерело енергії, що забезпечує підтримку високого тиску протягом деякого часу. Існуючі порохи дозволяють змінювати час горіння заряду в широких межах, від сотих долей секунди до декількох секунд, незалежно від гідростатичного тиску.

Вихідні дані дозволяють дати попередню оцінку деяким явищам, які супроводжуватимуть роботу генератора тиску в неглибокій свердловині при розриві пласта.

Для підтримки необхідного тиску протягом всього часу згорання порошу у відкритій свердловині в зоні роботи апарату, об'єм газів, що виділилися V_p , при тиску розриву p_p повинен дорівнювати об'єму, на який в результаті стискання зменшиться стовп рідини V_p плюс об'єм, на який збільшиться об'єм тріщин V_m і об'єм рідини V_ϕ , що фільтрується в пласт за час роботи апарату. Чим більший об'єм V_m , тим ефективніше здійснюється процес

Необхідний тиск розриву, принаймні, має бути більше гірського. По Ю.П. Желтову, чим більше відношення надлишкового тиску ($p_p - p_n$, де p_n – пластовий тиск) до гірського, тим більші довжина і ширина залишкових тріщин. Суттєво, що така залежність, починаючи з деякого p_p , практично виходить на максимум і надалі змінюється мало. Максимум досягається при перевищенні створеного в рідині тиску над гірським в 2–10 разів. Тиск розриву 200–400 кг/см² у водозабірних свердловинах, як показує досвід, дозволяє створити в породі тріщини, що не закриваються. Такі тиски, очевидно, можна вважати максимальними при розгляді перспектив застосування апарату в подібних свердловинах. Про величину запасу говорить той факт, що при гідророзриві позитивні результати досягаються у тому випадку, коли цей тиск не перевищує значень 1,0–1,5 по відношенню до вертикального гірського (і, відповідно, більше по відношенню до бічного гірського) тиску.

При глибині свердловини H час до приходу хвилі, відбитої від поверхні рідини, рівний $\frac{2H}{c}$, де c – швидкість розповсюдження

ударної хвилі в рідині, що заповнює свердловину (близько 1 500 м/с). Таким чином, для свердловин глибиною 70–100 м процес повинен закінчуватися трохи більше ніж за 100 мс – тим самим визначається час горіння заряду. Вважаючи, що порохований заряд в 7,0 кг, згораючи, дає приблизно 7×900 л газу, приведеного до нормальних умов, або з урахуванням температурного розширення $7 \times 900 \times 8$ л і, приймаючи тиск розриву 200 кг/см^2 , визначаємо наближене значення $V_p = \frac{7 \times 900 \times 8}{200} = 250$ л. Фактичний об'єм газу буде меншим, оскільки ряд процесів, зокрема, охолодження продуктів згорання не враховується.

Надходження газу в свердловину супроводжується стисканням рідини зі швидкістю звуку, що поширюється вгору і вниз по стовпу води. Кількість руху, що набуває рідина за рахунок імпульсу сили, що створюється тиском порохових газів за час Δt згорання заряду, визначається згідно виразу

$$(p_p - p_z)S\Delta t = Sc\Delta t\rho\omega, \quad (5.10)$$

де S – площа перетину свердловини, м^2 ; ρ – щільність води, кг/м^3 .

Швидкість ω , якої набуває стовп рідини під дією тиску стиснених газів, визначається із співвідношення

$$\omega = \frac{p_p - p_z}{\rho c}. \quad (5.11)$$

При $p_p - p_z = 200 \text{ кг/см}^2$ рідина за час 0,1 с переміститься на 1,3 м і досягне швидкості 13 м/с. Звідси об'єм газової порожнини, що виникла біля апарату (за рахунок стискування рідини)

$$V_p = 2 \left(\frac{p_p - p_z}{\rho c} \right) S\Delta t. \quad (5.12)$$

Для грубої оцінки фільтрації в пласт під дією імпульсу тиску можна скористатися схемою, приведеною в роботі [43]:

$$V_\phi = 2\pi R_c^2 h \rho B^* (p_p - p_z) p(t), \quad (5.13)$$

де R_c – приведений радіус свердловини; h – потужність пласта; B^* – коефіцієнт пружності пласта, що визначається як функція

стискальності рідини і чистої породи, яка враховує процентне співвідношення цих компонентів в породі; $\varphi(t)$ – функція, залежна від проникності пласта, в'язкості рідини і деяких інших чинників.

Відповідно кількість води, що поступає в тріщини, визначається з виразу

$$V_m = \frac{G \cdot 900 \cdot 8}{p_p} - (p_p - p_e) \left[\frac{S}{\rho c} + 2\pi \rho B^* R_c^2 h \right] \Delta t. \quad (5.14)$$

Користуючись формулою (5.14), можна привести деякі міркування з приводу використання апарату АСГ-105 у водозабірних свердловинах.

Чим більші радіус свердловини, потужність і тріщинуватість пласта (остання визначає ефективний радіус свердловини), тим менше рідини братиме участь у розриві (закачуватися в тріщину) і тим важче його здійснити. Одночасно, чим швидше проходить процес і чим нижчий тиск розриву, тим більше залишається рідини в тріщинах. Зменшення часу дії тиску має межу, що визначається можливостями апарату і часом, необхідним для утворення тріщини. Для деяких випадків водозабірні свердловини повинні мати свій тип апарату, не виключено, що з корпусом, який руйнується і порохом зарядом, що швидше горить. Зменшення ж тиску, при якому здійснюється розрив, в першу чергу визначається гірським тиском і тим мінімальним його перевищенням, при якому тріщини, що розкрилися, будуть мати залишкову деформацію.

Чисельний розрахунок оптимальних умов розриву пласта у водозабірних свердловинах по формулах, приведених вище, лише орієнтовний, оскільки залежності дають лише спрощену картину явища. Проте він буде більш достовірний, якщо використовувати дані практичного застосування методу, зокрема врахування значень тиску, зареєстрованих в свердловині.

Роботи на невеликих глибинах повинні супроводжуватися активним рухом води в стовбурі свердловини. Під дією порохових газів стовп води почне переміщатися вгору, і частина рідини буде викинута зі свердловини. Підрахунки показують, що висота викиду може досягати декількох десятків метрів. Після припинення розширення газу вода, що залишилася в свердловині, почне падати вниз, викликаючи схлопування газового пухиря. Схлопування супроводжується виникненням сильних ударних хвиль, що по

величині тиску значно перевищують тиск розриву і створюють певну дію на привибійну зону. Енергія, яку несуть ударні хвилі, що виникли від схлопування порожнини, порівняна з енергією вибуху досить великих зарядів ВР. При цьому пороховий генератор, і в першу чергу кабель, знаходячись в зоні схлопування, можуть піддаватися сильним динамічним діям, здатним викликати їх пошкодження. Використання міцного кабелю сприятиме успішному і безаварійному виконанню робіт. Роботи із використанням порохових генераторів успішно проведені в Карелії на свердловинах, продуктивні пласти яких були представлені гранітами і вапняками. На всіх свердловинах отримані позитивні результати.

5.2.5. Очищення фільтрів свердловин, що знаходилися в експлуатації

По методиці і використовуваній техніці вибухові роботи для відновлення дебітів водозабірних свердловин, що знаходилися в експлуатації, мало чим відрізняються від робіт по розглинзації фільтрів свердловин, що виходять з буріння. Але вибирати об'єкт і визначати величину заряду в цьому випадку складніше.

Перш за все зупинимось на виборі об'єкту. Застосування вибуху раціональне лише в тому випадку, коли зниження дебіту є наслідком утворення на поверхні фільтру твердого осаду, що перешкоджає руху рідини із пласта в свердловину. Проте зниження дебіту може бути викликане виснаженням водоносного пласта або аварійним станом свердловини. Тоді використання вибуху для відновлення дебіту стає нераціональним або технічно неможливим (наприклад, при непрохідності стовбура в зоні фільтра). Таким чином, одним з перших завдань при організації вибухових робіт з метою відновлення дебіту свердловин, що знаходилися або знаходяться в експлуатації, є визначення причин, що призвели до зниження дебіту, і на цій основі – правильний підбір об'єктів для проведення вибухових робіт.

Велике значення має об'єктивна оцінка технічного стану фільтру об'єкта, оскільки корозійні процеси можуть настільки сильно його ослабити, що торпедування, навіть зарядом з однієї нитки ДШ, стає неможливим. Оцінка технічного стану фільтрів зустрічає значні труднощі.

Важливу роль для оцінки стану об'єкту відіграє виробничий досвід, накопичений в районі при роботах з ремонту свердловин.

Вихідними даними для визначення причин зниження дебіту об'єкта в ході експлуатації є відомості про конструкцію свердловини, геологічний розріз стовбура, характеристики водоносного пласта, відомості про хід експлуатації свердловини і, нарешті, про хімічний склад води. В нормальних умовах забруднення фільтра зумовлюється випаданням осаdів з рідини пласта або корозійними процесами. Для осадоутворення найбільше значення має наявність у рідині карбонатів кальцію і магнію та сполук тривалентного заліза [44]. Зустрічається також забруднення фільтра сполуками кремнію, марганцю і органічними речовинами. Активну роль можуть відігравати бактерії і продукти їх життєдіяльності, які відкладаючись не лише на поверхні фільтра, але і в порах навколишньої породи, створюють складні умови для відновлення продуктивності свердловин. Але оскільки випадки забруднення фільтрів, що найчастіше зустрічаються, зумовлені порушенням вуглекислотної рівноваги або присутністю у воді тривалентного заліза, обмежимося розглядом умов, що впливають на утворення осаdів, що містять ці іони.

Вуглекислота рівновага порушується при виділенні розчиненого вуглекислого газу в результаті зменшення тиску, що настає у момент виходу рідини з пласта в свердловину. Тиск залежить від динамічного рівня рідини і, отже, від умов експлуатації об'єкта. У розчині ж завжди існують недисоційовані молекули вуглекислоти (H_2CO_3), бікарбонатні (HCO_3^{-1}) і карбонатні (CO_3^{-2}) іони. Граничні концентрації розчиненої вуглекислоти пропорційні тиску. Залежно від умов рівновага



здатна зміщуватися і, оскільки в розчині практично завжди є іони Ca^{+2} і Mg^{+2} , то вона може супроводжуватися випаданням осаду $\text{Ca}^{+2} + \text{CO}_3^{-2} \rightarrow \text{CaCO}_3$.

Оцінюючи можливість такого процесу, слід мати на увазі, що вода зі свердловини для аналізу відбирається на денній поверхні. Тому за даними аналізів неможливо визначити вміст вільної вуглекислоти в рідині у момент її виходу безпосередньо із пласта в стовбур на вибої. Проте значний вміст кальцію і магнію у воді служить одною з ознак, що дозволяє передбачати схильність свердловинної рідини до осадоутворення.

На випадання осаду з вод нестійкого хімічного складу, до яких відносяться води з великим вмістом солей лужноземельних елементів, сильний вплив може мати контакт з повітрям.

У свою чергу, наявність катіона заліза, як правило, викликає підозри на забруднення фільтра сполуками заліза, гідроокиси яких погано розчиняються. В переважній більшості аналіз вод, які поступають в розпорядження виконавця робіт, дво- і тривалентне залізо не розділяються. Оскільки розчинність гідроокиси тривалентного заліза набагато менша розчинності двовалентного, слід вважати, що всі чинники, які сприяють потраплянню розчиненого або газоподібного кисню в зону фільтра і, отже, сприяють доокисленню заліза в тривалентне, допомагатимуть утворенню осаду.

Найбільш багаті киснем води верхніх горизонтів. Їх інтенсивне потрапляння в свердловину завжди несе небезпеку розвитку хімічних процесів, що порушують роботу фільтра. Відомі випадки, коли при інтенсивній експлуатації свердловини, через деякий час, в зону фільтра, на глибини 80–100 м, практично з денної поверхні разом з верхніми водами починали поступати речовини, що знаходяться на поверхні ґрунту в зоні свердловини. Більш того, при активному водозаборі і розташуванні водоприймальних пристроїв в зоні фільтра, рівень рідини може знижуватися настільки, що частина фільтра почне контактувати з повітрям, що знаходиться в стовбурі свердловини. Такі режими експлуатації швидше виводять фільтри з ладу і тому відомості про темпи водовідбору, статичний і динамічний рівні, характер кріплення стовбура обсадної колони можуть виявитися суттєвими для оцінки причин зниження дебітів свердловини.

Випадіння осаду залежить і від фізичних чинників, що діють в свердловині. Багато речовин утворюють перенасичені розчини. Здатність рідини утворювати перенасичені розчини перешкоджає випадінню осаду. Перенасичені розчини можуть бути стійкими. Ряд органічних сполук, що зустрічаються в природних водах, відноситься до їх стабілізаторів. Помітна окислюваність проби води зі свердловини – ознака присутності в ній органічних речовин. В деяких випадках її можна пов'язувати з підвищеною стабільністю розчину. Вплив ступеню стабілізації на можливість випадання осаду на фільтри оцінити важко.

Проте в свердловині можуть існувати процеси, зворотні стабілізації. Турбулізація потоку, активне перемішування, сприяють випаданню і росту кристалів. Так, зокрема, утворення пластівців

осаду при хімічній обробці води і перемішуванні прискорюється в 15–50 разів.

Стосовно умов водозабірних свердловин процес розглянутий в роботі [45]. У ній повторюються твердження, що, якщо ламінарний рух переходить в турбулентний, то процес може супроводжуватися утворенням осаду. Дослідами на моделях було виявлено, що ламінарний рух в ґрунті спостерігається в області до 10 чисел Рейнольдса, турбулентний за 300, область 10–300 перехідна. Автор статті, посилаючись на досвід експлуатації водозабірних свердловин в країнах Європи, пов'язує випадки заростання фільтрів з тим, що темп і технологія відбору рідини створювали по всьому фільтру, або на окремих його ділянках, швидкості руху, що перевищують допустимі і викликали випадіння осаду. Аналогічні спостереження проводилися і іншими дослідниками. Очевидно, ці міркування слід враховувати, визначаючи причини зниження дебіту свердловини в ході експлуатації.

Викладені вище відомості про процеси, що призводять до утворення осадів, досить уривчасті. Але, на жаль, до цих пір вивчення підземних вод – їх гідрохімічні дослідження недостатньо пов'язані з питаннями експлуатації і не впливають належним чином на проектування і експлуатацію водозабірних свердловин. В той же час очевидно, що склад вод багато в чому визначає поведінку свердловини в процесі експлуатації водоносного горизонту. Щоб здолати цей недолік, рекомендації, що витікають з результатів гідрохімічного вивчення підземних вод конкретного району, повинні містити пропозиції по конструкції свердловин, передбачаючи, у випадку необхідності, можливість вести в них роботи (в тому числі і вибухові) по відновленню дебітів, а також включати пропозиції щодо оптимальних темпів відбору рідини з пласта та ряд інших. Було б добре класифікувати води і за умовами експлуатації, виключивши елементи випадковості та численні помилки при проектуванні, будівництві, експлуатації і ремонтних роботах в свердловинах.

Якщо розглянуті вище міркування дозволяють якісно пов'язувати зміну дебіту свердловини із заростанням фільтра осадам (випадком, коли використання вибуху ефективне), розглянуті нижче причини дозволяють відібрати свердловини, в яких вибух безперспективний або неможливий. Перш за все розглянемо випадки, коли використання вибуху неможливе. Простий і, на жаль, поширений випадок – заповнення стовбура піском (при дефекті колони або

фільтра), сторонніми предметами, що спостерігається, якщо свердловина залишається без нагляду. Неодноразово доводиться стикатися зі свердловинами, в яких знаходяться сторонні матеріали – каміння, шматки устаткування і навіть вугілля, що перекривають зону фільтра. В таких свердловинах робота по відновленню їх дебіту повинна починатися з розчищення стовбура, що, як правило, не вимагає використання вибухових речовин. Перевірки стовбура шаблонуванням і відбиттям вибою дають можливість порівняно просто визначити цю причину. Обидві операції, аби уникнути непотрібних виїздів бригади підричників, слід наполегливо рекомендувати до замовлення торпедування. Застосування кумулятивних зарядів для знищення сторонніх предметів в стовбурі хоча і можливо в окремих випадках, але досить складно і вимагає кваліфікованого виконавця робіт та може бути рекомендоване лише в окремих випадках.

Стан водоносу, його виснаження, визначаються звичайними гідродинамічними дослідженнями. Простий показник – порівняння статичних рівнів в свердловині у момент введення її в експлуатацію (якщо ці відомості є) з існуючим. Для оцінки стану водоносу можуть бути використані відомості по сусідніх свердловинах, що експлуатують ті ж горизонти. Детальне вивчення проникності фільтра і привибійної зони, дослідження характеру відновлення рівня, визначення динамічного рівня при відкачуваннях, можуть також дати ряд важливих відомостей про стан фільтра. Нарешті, фільтри, підняті на денну поверхню зі свердловин, що експлуатують водоносний горизонт, дозволяють візуально спостерігати осад і значно впевненіше давати рекомендації щодо вибору об'єкта в конкретному районі для використання вибуху при відновленні дебіту свердловин.

Дещо про корозійні процеси. Корозія може сильно послабити фільтр. Хімічний склад води у поєднанні зі спостереженнями за поведінкою свердловин в ході експлуатації дозволяє визначити, відбуваються чи не відбуваються корозійні процеси на фільтрі. Вони не завжди супроводжуються зменшенням проникності фільтра, але, як правило, міняють його механічну міцність. У таких свердловинах слід застосовувати мінімальний заряд – один шнур ДШ незалежно від діаметра фільтра або ж використовувати спеціальну технологію торпедування, розраховану на руйнування старого фільтра через новий, опущений в свердловину.

Накопичений певний досвід проведення робіт по відновленню дебітів водозабірних свердловин, що знаходилися в експлуатації. У своїй більшості свердловини збільшували дебіт і їх подальша експлуатація відбувалась нормально. Крім того, відомі численні випадки, коли дебіт свердловини після відновлення виявлявся істотно вищим, ніж при первинному введенні її в експлуатацію. Останнє служить зайвим підтвердженням того, що багато свердловин вводяться в експлуатацію із заглинيزованими фільтрами і вибух видаляє не лише експлуатаційні осади, але і очищає його та прилеглу до нього породу від часток глини.

Розглянемо досвід очищення вибухом стовбурів свердловин, складених твердою породою. У подібних свердловинах продуктивний пласт або обсаджений перфорованою сталевую трубою або експлуатується відкритим вибоєм. Щоб краще уявити можливості використання вибуху для відновлення дебіту, зупинимось детальніше на технології і результатах робіт, виконаних на одній із свердловин Московської області.

Водозабірна свердловина мала таку конструкцію: стовбур глибиною 160 м обсаджений перфорованою колоною навпроти продуктивного пласта, представленого тріщинуватими вапняками. До моменту вибуху свердловина сильно понизила дебіт. Забруднюючих часток при відкачуваннях виносилося мало. Для очищення продуктивного пласта в свердловину була опущена, встановлена по центру і підірвана торпеда із зарядом з детонуючого шнура. Після вибуху із свердловини відкачувалася рідина до освітлення.

Кількість осаду, вимитого із свердловини, виявилася близькою до 50 кг. Така кількість матеріалу, винесеного після вибуху відносно невеликого заряду із свердловини, пробуреної в твердих породах, була несподіваною. Очевидно, навіть відносно невеликий вибух, викликав не лише видалення осадів, але і дещо оновив поверхню породи та видалив шлам, внесений ще при бурінні. Реакція свердловини на вибух – збільшення дебіту в 2 рази (з 21 до 40 м³/год.) виявилася достатньою для її нормальної експлуатації.

Позитивні результати очищення поверхні твердих порід, що складають продуктивні пласти свердловин, вибухами відносно невеликих зарядів були отримані і в інших районах. Інколи при виконанні таких робіт застосовують заряд, здатний пошкодити труби, вважаючи, що це не утруднить подальшу експлуатацію свердловини.

Основний об'єм вибухових робіт по відновленню дебітів виконується в тих свердловинах, де водоносні горизонти представлені слабозцементованими породами, частіше за все пісками, а визначальним елементом конструкції служать дротяні, сітчасті або інші фільтри. Не маючи точних відомостей про стан фільтра, при торпедуванні обмежуються одним шнуром, хоча і такий заряд може виявитися надмірно великим. Лише коли накопичений досвід дає підставу точно оцінювати стан фільтра або є впевнені дані про його міцність, можна використовувати великі заряди. Сама ж техніка робіт як при відновленні дебітів, так і при розглинизації по суті однотипна.

Як і при розглинизації, в цьому випадку з поверхні фільтра вибухом збивається велика кількість осаду. Основна кількість осаду, що видаляється зі свердловини, виноситься в перших порціях рідини. В подальшому вміст домішок у воді швидко падає і при відповідному темпі відбору, вже через декілька годин стає незначним. Загальне винесення осаду при промиванні інколи може досягати десятків кілограмів, причому в це число входить і деяка кількість дрібного піску, що потрапив у стовбур. Застосування вибуху ТДШ при відновленні продуктивності свердловин міста Вільнюса, що знаходилися в експлуатації, показало, що дебіт свердловин після торпедування підвищився в 2,0–2,5 рази.

Багаторазове торпедування з інтервалом близько двох років в свердловині, в якій випадання осаду на фільтрі швидко призводить до зниження її дебіту, дозволяє значно відновити вихідний дебіт, що зменшується в ході експлуатації. Фактична вартість робіт з відновлення свердловин вибухом не перевищує декількох відсотків вартості буріння і 10 % вартості капітального ремонту свердловини. Роботи не вимагають витрат дефіцитних матеріалів і швидко виконуються.

Щоб мати можливість, не замислюючись, проводити роботи і багато разів торпедувати свердловини, необхідно щоб фільтр мав достатню міцність і був мало схильний до корозії. Виготовлення каркаса з перфорованої труби або стрижнів, а фільтруючої поверхні – із неіржавіючого дроту (діаметром 3 мм) здебільшого забезпечує виконання цих умов.

Потрапляння піску в стовбур свердловини не завжди свідчить про пошкодження фільтруючої поверхні фільтра. Інколи воно має тимчасовий характер і усувається простою промивкою стовбура,

інколи пов'язане з дефектами установки сальника і усувається проведенням нескладного ремонту.

Можливе також успішне комбінування торпедування ТДШ з кислотною обробкою. Проте в цьому випадку втрачається одна з головних переваг вибуху – його простота, що відразу погіршує перспективу застосування комплексу.

Де кілька слів про вартість робіт. При середній довжині фільтру 20 м вартість використовуваних матеріалів (електродетонаторів, детонуючого шнура) невелика. В нормальних умовах для проведення вибуху потрібно 2–3 людини, причому витрати часу на роботу на підготовленій до торпедування свердловині при глибині 200 м не перевищує 2–6 год. В організаціях, де число торпедувань значне, завжди доцільно мати власну вибухову службу, об'єднуючи її з виконанням каротажних робіт в свердловинах.

5.2.6. Специфіка вибухових робіт в свердловинах

Згідно класифікації вибухових матеріалів (ВМ) по мірі небезпеки поводження з ними при зберіганні і перевезенні їх розділяють на п'ять груп [46]. До першої відносяться ВР із вмістом рідких нітроефірів, що перевищує 15 %, нефлегматизований гексоген, тетрил. Усі речовини цієї групи мають підвищену чутливість, але практично не застосовуються для робіт у водозабірних свердловинах. До другої групи відносять аміачноселітрові ВР, ВР із вмістом рідких нітроефірів до 15 %, тротил і його сплави з нітросполуками, флегматизований гексоген, детонуючий шнур. Це основні ВР, що застосовуються для робіт у водозабірних свердловинах. Поводження з ними досить безпечне. Проте всередині групи, речовини за своїми властивостями дуже розрізняються. Так, флегматизований гексоген значно небезпечніший за тротил. До третьої групи відносять чорний і бездимний порох. У водозабірних свердловинах їх використовують рідко. Чорний порох – досить чутлива речовина, особливо до удару. До четвертої групи входять детонатори і засоби підривання. Усі засоби підривання вимагають максимальної обережності у поводженні з ними, оскільки їх вибух викликається дуже легко. Вони – обов'язкова компонента вибухових робіт у водозабірних свердловинах. Нарешті, до п'ятої групи належать перфораторні заряди і пристрої зі встановленими в них детонаторами.

Існує ряд обмежень на сумісне зберігання і перевезення вибухових матеріалів різних груп. Зміст обмежень – відокремити небезпечні ВМ від менш небезпечних, тим самим зменшивши масштаб аварії при випадковому вибуху.

Необхідно бути особливо уважним при роботах із засобами підривання. Пошкодження електродетонатора – ударом, стисканням (випадково впав або покладено на нього важкий предмет), навіть висмикування за провідники пробки із запальником, легко призводить до вибуху. Це часте джерело аварій при роботах з ВМ.

Щоб зменшити небезпеку випадкового удару по ВМ, слід застосовувати спеціальні запобіжні засоби. Дуже зручно для перевезення засобів підривання до місця роботи на водозабірній свердловині використовувати спеціальну тару. В неї можна поміщати простий пристрій – акуратно виготовлений дерев'яний брусок (що закривається кришкою) із гніздами, в які повністю поміщається капсуль. Для тієї невеликої кількості виробів, які одночасно використовуються на свердловині, тарою може бути невеликий ящик-сейф з відповідним внутрішнім устроєм, що зменшує до мінімуму поштовхи і удари по ВМ і здатний локалізувати дію вибуху, в тому випадку, якщо він станеться.

Засоби підривання, що використовуються в свердловинах в більшості випадків спрацьовують від джерела струму (і лише в спеціальних випадках можуть використовуватися вироби, що спрацьовують від наколювання). Перед застосуванням перевіряється електричний ланцюг. Перевірка ведеться пробниками встановленого зразка, допущеними Держтехнаглядом, що дають струм короткого замикання не більше 50 мА, причому тривалість перевірки не повинна перевищувати 4 с. Виріб, що перевіряється, поміщається так, щоб його вибух був безпечним для перевіряючого і оточуючих. Електродетонатор спрацьовує від струму 0,4–0,5 А. Категорично забороняється вести роботи із саморобними або несправними пробниками.

Організуючи вибухові роботи на підприємстві, необхідно потурбуватися про те, щоб все допоміжне устаткування для виконання робіт було своєчасно придбане і зберігалось в порядку. До такого устаткування, зокрема, відносяться вибухові машинки, застосування яких дозволяє відмовитися від використання силових і освітлювальних мереж на свердловині, пробники та ін.

Поширенням джерелом аварій при роботах з вибуховими

речовинами є випадкове надходження або подача струму в бойову магістраль. При виконанні робіт на свердловині слід вжити заходи щодо відключення всіх джерел живлення свердловини. Але завжди існує небезпека попадання в електричний ланцюг блукаючих струмів, особливо якщо свердловина розташована в районі виробничих комплексів або енергетичних магістралей. Щоб уникнути таких випадків вибухова магістраль при збиранні виробу має бути закорочена. Перед приєднанням прострілочного або вибухового апарату до бойової магістралі, якою в багатьох випадках служить каротажний кабель, магістраль перевіряється на відсутність напруги. Проста, але абсолютно недостатня перевірка – закорочуванням кінців, за наявності іскри. При перевірці кабелю на відсутність струму тривалість включення приладу має бути не менше 1 хв.

Заздалегідь перевірені електродетонатори або вибухові патрони встановлюють у виріб (торпеду, перфоратор) в останній момент, перед спуском в свердловину, причому підривник, який збирає виріб, завжди повинен мати перед собою хоча б один, контрольований ним безпосередньо, розрив у бойовій магістралі.

Найчастіше в свердловинах доводиться проводити роботи з детонуючим шнуром. Детонуючий шнур марки ДШВ (у водонепроникній оболонці) поступає в бухтах, що містять 50 м шнура. Щоб відрізати необхідну кількість шнура, бухту розмотують і укладають так, щоб не розмотана частина бухти знаходилася на відстані 10 м від точки перерізу. Із шнура недалеко від точки перерізання роблять петлю (рис. 5.10). Петля припиняє поширення детонації по шнуру в тому випадку, якщо вона виникає, оскільки детонаційна хвиля, що йде по шнуру в місці перехрещення, зруйнує сусідній шнур, не збуджуючи його детонації. Дійшовши до пошкодженого місця і зустрівши розрив, детонація затухає. Перерізують шнур мідним гострим ножом на дерев'яній пластинці. При роботах з ВР забороняється застосовувати металевий інструмент, що дає іскру.

До заходів безпеки слід віднести заходи щодо запобігання відмов або неповного спрацьовування шнура. Найбільш часта їх причина – намокання ВР внаслідок проколу оболонки дротиками кабелю або троса, на якому монтується заряд. Відмови можуть спостерігатися, якщо зустрічаються перегини шнура, не забезпечена герметизація кінців шнура або не забезпечені умови передачі детонації від одного відрізка шнура до іншого.

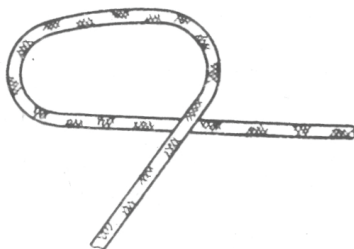


Рис. 5.10. Запобіжна петля при перерізанні детонуючого шнура

Нарешті, слід звернути особливу увагу на присутність сторонніх в районі проведення вибухових робіт на свердловині. Категорично забороняється стороннім знаходитися в зоні виконання вибухових робіт.

З окремих питань техніки безпеки, пов'язаних з виконанням вибухових робіт у водозабірних свердловинах, зупинимося на наступних. Слід мати на увазі, що продукти вибуху ВР, що мають негативний кисневий баланс (наприклад, тротил) горючі. У несприятливих умовах вони, піднявшись через товщу води і змішуючись з повітрям, що заповнює частину стовбура свердловини до рівня рідини, можуть утворювати вибухову суміш. Іскра, недопалок, кинутий в стовбур, здатні викликати підпал суміші і її вибух. Такі випадки відомі. Із ще більшою обережністю необхідно підходити до використання газових вибухових систем у водозабірних свердловинах.

Слід пам'ятати, що при досить великих вибухах мають місце два викиди рідини зі свердловини, якщо остання наповнена рідиною до гирла. Перший відбувається практично миттєво через $\frac{H}{1500}$ с після вибуху (H – глибина свердловини в м). Фактично його завжди ототожнюють з моментом вибуху. Він відбувається при виході ударної хвилі на поверхню рідини. Другий відбувається через деякий час і при малих зарядах виражається в переливанні свердловини. Переливання пов'язане з рухом газоподібних продуктів вибуху, що розширюються в процесі підйому. Проте, при великих зарядах замість переливання може бути досить інтенсивний викид рідини. Час запізнення викиду для глибоких водозабірних свердловин залежить від їх глибини і може перевищувати 10 хв. Сильний викид може мати місце і при роботах із застосуванням апарату АСГ. Тому слід зачекати

деякий період і не проводити робіт над гирлом свердловини протягом цього часу, якщо в ній використовувалися великі заряди.

При проведенні регенерації свердловин з використанням вибухових речовин необхідне чітке виконання правил техніки безпеки відповідно до діючих нормативних документів та керівництв [47, 48].

5.3. Електрогідроударний метод'

Електрогідроударна дія на фільтри і прифільтрові зони свердловин заснована на імпульсному виділенні електричної енергії між електродами розрядника, встановленого всередині фільтру. Основи технології електрогідроударної обробки розроблені Новочеркаським політехнічним інститутом, Миколаївським СКБ НПО «Агроприлад», Ленінградським інженерно-будівельним інститутом.

При подачі імпульсів струму високої напруги на електроди розрядника, зануреного у воду, відбувається пробій рідини в міжелектродному проміжку, який супроводжується виділенням значної кількості енергії, накопиченої раніше в конденсаторній батареї. Інтенсивне розігрівання розрядним струмом плазми, що утворюється, призводить до підвищення тиску в розрядному каналі і його розширення з сильним стискуванням прилеглих шарів рідини, в якій виникає ударна хвиля. Розрядний канал при цьому трансформується в парогазову порожнину, що швидко збільшується в розмірах, пульсація якої викликає серію послідовних одна за одною акустичних хвиль стискування – розрідження і знакозмінні гідропотоки. Декольтматція фільтру і прилеглих шарів обсіпки при електрогідрравлічному ударі досягається в основному під дією ударної хвилі, акустичних хвиль і гідропотоків.

Метод електрогідрравлічного удару застосовується в широкому діапазоні гідрогеологічних і експлуатаційних умов, як в пористих, так і в тріщинуватих колекторах, найчастіше для відновлення продуктивності свердловин, що знаходяться в процесі експлуатації і обладнані фільтрами різних конструкцій. Найбільш ефективне застосування методу при очищенні фільтрів, закольматованих щільними конгломератоподібними осадами різного складу.

До складу електрогідроударної установки входять пристрій для зарядки конденсаторної батареї до робочої напруги (трансформатор, випрямляч високої напруги і зарядний опір) та пристрій для

При викладенні матеріалу підр. 5.3–5.8 використано роботу [2].

перетворення електричної енергії в механічну (батарея імпульсних конденсаторів, повітряний розрядник для роз'єднання розрядного ланцюга при зарядці конденсаторів і підключення конденсаторів до навантаження, рідинний розрядник, робочий кабель).

Ефективність декольматації фільтрів електрогідроударним методом залежить від тиску на фронті ударної хвилі, тривалості її дії на фільтр, кількості створюваних імпульсів. Дослідженнями [49] встановлено, що тиск на фронті ударної хвилі p збільшується із зростанням напруги розрядного контуру u і ємкості конденсаторів c , зменшується по мірі збільшення відстані r від каналу розряду і довжини робочого кабелю l_k , зростає (до деякої оптимальної величини) зі збільшенням міжелектродного проміжку l_e в рідинному розряднику (рис. 5.11). Встановлено, що ефективність e_ϕ очищення фільтру зростає по мірі збільшення тиску на фронті ударної хвилі і енергії розряду, хоча і різною мірою. При одній і тій же енергії розряду кольматант руйнується ефективніше при вищій напрузі розрядного контура u і відповідно менших значеннях ємкості конденсаторів c (рис. 5.12).

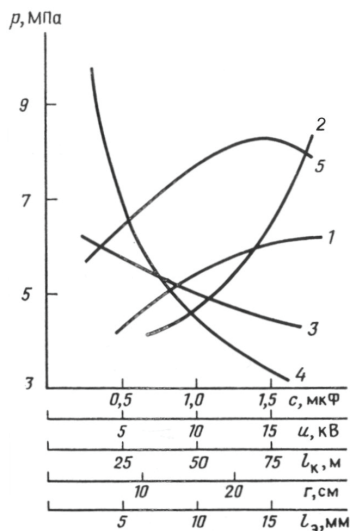


Рис. 5.11. Залежність максимального тиску ударної хвилі від ємкості конденсаторів (1), напруги розрядного контуру (2), довжини кабелю (3), радіусу фільтра (4), міжелектродного проміжку (5)

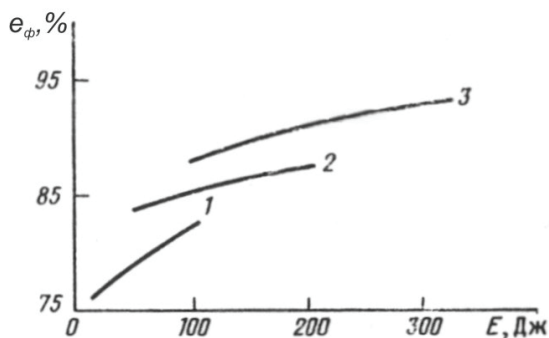


Рис. 5.12. Залежність ефективності очищення фільтру e_f від електричної енергії розряду E . Напряга розрядного контуру u , кВ:
1 – 10; 2 – 15; 3 – 20

Таблиця 5.11. Технічні характеристики електрогідроударних установок [2]

Показники	ЕГУ-69	ЕГУ-76	Вільнюське управління «Водоканал»
Максимальна глибина занурення робочого розрядника, м	140	150	100
Внутрішній діаметр водоприймальної частини, що обробляється, мм	100–300	80–300	100–300
Розрядна напруга, кВ	60	50	50
Ємність конденсаторної батареї, мкФ	0,7	0,5	10–18
Напруга мережі живлення, В	Автономне живлення	220	380
Тип базового автомобіля	КрАЗ-219 КрАЗ-256	УАЗ-452	«Урал-337»

Продовження табл. 5.11

Показники	ЛІСІ	СЕУ	РА-СЕУ-1	ЕРА-300/50/1
Максимальна глибина занурення робочого розрядника, м	150	350	350	300
Внутрішній діаметр водоприймальної частини, що обробляється, мм	50–300	140–300	140–300	80–300
Розрядна напруга, кВ	30	40–50	50	50
Ємність конденсаторної батареї, мкФ	2	3–12	6–12	1
Напруга мережі живлення, В	380	380	380	380
Тип базового автомобіля	КрАЗ-651	ЗІЛ-157К, ЗІЛ-131	МАЗ-500А	ЗІЛ-131

Тривалість дії ударної хвилі визначається головним чином ємкістю конденсаторної батареї, проте з її збільшенням зростає небезпека руйнування конструктивних елементів фільтру.

Для виконання електрогідроударних обробок використовують різні типи установок, характеристики яких приведені в табл. 5.11. В їх числі переважають спеціалізовані установки типу СЕУ, розроблені СКБ НПО «Агроприлад» в м. Миколаєві. Останнім часом з'явилися також різні модифікації електрогідроударних установок, за допомогою яких можна виконувати супутні спуско-підйомні операції без залучення бурових установок, автокранів або іншого вантажопідйомного устаткування (РА-СЕУ-1, ЕРА-300-50/1).

Працездатність установок для електрогідроударної обробки значною мірою залежить від експлуатаційних характеристик робочих кабелів, які повинні мати мінімальну індуктивність і високу електричну міцність. Цим вимогам відповідають коаксіальні кабелі типів РК 50-17-12, РК 50-24-15, РК 50-24-16, РК 50-24-17, РК 50-33-15, РК 50-44-16, РК 50-44-17 та деякі інші, здатні витримувати напругу до 50–80 кВ і мають індуктивність на 1,0 м 0,25–0,27 мкГн [49].

Найбільш відповідальна частина електрогідроударної установки – рідинний розрядник, який функціонує у важких умовах великих динамічних навантажень, сильних електричних і магнітних полів, високих температур. Конструкції рідинних розрядників дуже різні. Високою надійністю при експлуатації в різних умовах відрізняється, зокрема, розрядник з дископодібною основою негативного електроду', приведений на рис. 5.13. Він складається з позитивного електроду 5, прикріпленого до коаксіального кабелю 1, ізолятора 4 і негативного електроду 7, сполученого стяжками 6 з фланцем 3 за допомогою гайок 2. Особливість пристрою полягає в тому, що негативний електрод, у вигляді двох пересічних взаємно перпендикулярних дисків, виконує функції направляючого елементу при спуску розрядника в свердловину і легко проходить місця переходу діаметрів, що полегшує, зокрема, введення розрядника у фільтри, встановлені впотай.

Недоліком цієї конструкції є те, що значна частина енергії електрогідролічного удару поширюється вертикально вниз уздовж осі свердловини, не надаючи декольматуючої дії на стінки фільтра.

Конструкція СКБ НПО «Агроприлад».

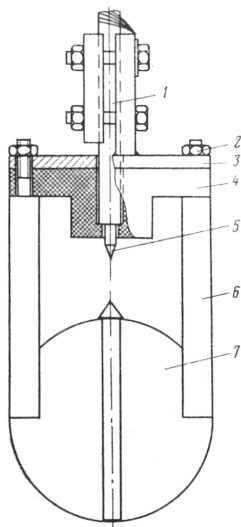


Рис. 5.13. Рідинний розрядник з негативним електродом у вигляді дисків, що пересікаються

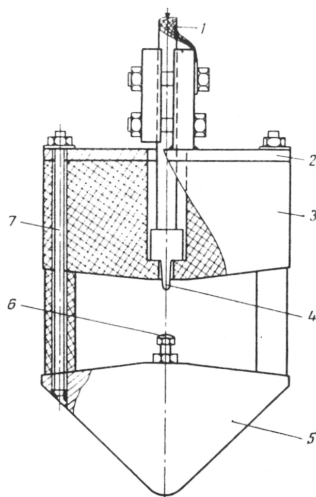


Рис. 5.14. Рідинний розрядник з електродами у вигляді конічних відбивачів:
 1 – коаксіальний кабель; 2 – верхній фланець; 3 – ізолятор позитивного електроду;
 4 – позитивний електрод; 5 – металічна основа; 6 – негативний електрод; 7 – стягуючий стрижень

Ефективніше енергія розряду витрачається при використанні розрядника з електродами, розташованими у вершинах конічних поверхонь, за допомогою яких досягається перерозподіл енергії, що виділяється, у напрямі стінок фільтру' (рис. 5.14).

Розроблені також деякі інші конструкції розрядників [49]. У більшості випадків вони оснащуються пасткою (пристосуванням для збору частини кольматанту, що скидається зі стінок фільтру на вибій свердловини при обробці). Пастка є циліндричною або конусоподібною посудиною, що відкрита зверху і підвішена на тросі під розрядником. Дослідження вмісту пастки після кожного циклу обробки – важливе джерело інформації про склад кольматанту, що закупорює фільтр та про ефективність очищення його поверхні.

При виборі оптимального режиму обробки, згідно з рекомендаціями НДІ ВОДГЕО, слід виходити з передбачуваної міцності кольматуючих осадов, що не перевищує 1,0–1,5 МПа, і допустимого тиску ударної хвилі для конкретного фільтру, встановленого в оброблюваній свердловині (табл. 5.12).

Таблиця 5.12. Допустимий тиск на фронті ударної хвилі, МПа [2]

Тип каркасу фільтра	Додаткова водоприймальна поверхня відсутня	Дротяна обмотка	Штампований лист товщиною 0,8–1 мм	Сітчаста водоприймальна поверхня
Трубчастий сталевий	60	50	20	10
Каркасно-стрижневий	40	30	20	10
Штампований сталевий	30	30	–	10

Примітки: 1. Допустимий тиск для трубчастих поліетиленових фільтрів складає 5 МПа, для трубчастих вінілпластових фільтрів і фільтрів блокового типу 2 МПа.

2. При обробці свердловин, що знаходяться в експлуатації, допустимі тиски мають бути зменшені в порівнянні з табличними величинами з урахуванням передбачуваної корозії фільтрів.

Для регулювання тиску ударної хвилі p , слід вдаватися до зміни лише одного параметра – міжелектродного проміжку l_e в рідинному розряднику. З цією метою складені відповідні графіки залежності між p та l_e для фільтрів різного діаметру при різній довжині кабелю. Для регулювання тривалості дії ударної хвилі, від якої залежить не лише ефективність декольматації, але і збереження фільтра, рекомендується змінювати в невеликих межах ємкість конденсаторної батареї (від 1,0 мкФ при обробці фільтрів з покриттям з неміцних матеріалів типу латунних, вінілпластових сіток і тому подібне до 2,0 мкФ при обробці

міцніших фільтрів у вигляді перфорованих сталевих каркасів без сітчастого покриття). Для повної декольматації 1,0 м фільтру рекомендується проводити від 300 до 500 розрядів.

Згідно рекомендацій Миколаївського СКБ «Агроприлад», для досягнення оптимального технологічного режиму процесу слід регулювати високу напругу u розряду, ємкість c батареї конденсаторів і число розрядів n на одиницю довжини фільтра. При цьому рекомендуються оптимальні значення перерахованих параметрів, які представлені в табл. 5.13.

Таблиця 5.13. Режими електрогідроударної обробки [2]

Склад водовміщуючих порід	Обладнання водоприймальної частини	Режим обробки		
		Розрядна напруга, кВ	Ємкість конденсаторів, мкФ	Кількість імпульсів на 1 м
Міцносцементовані тріщинуваті породи (вапняки, пісковики та ін.)	Відкритий стовбур Фільтри з трубчастими сталевими каркасами без додаткової водоприймальної поверхні (діаметром 152–203 мм)	35–40 30–35	5–10 5	150–200 50–150
Піски	Фільтри з трубчастими сталевими каркасами діаметром 152–203 мм з гравійною обсіпкою Те ж з дротяною обмоткою Те ж з сітчастою обмоткою	25–35 20–30 20–25	5 5 5	100–150 50–100 50–100

В роботі [49] рекомендовано такі оптимальні режими процесу електрогідроударної обробки (табл. 5.14).

Таблиця 5.14. Режими електрогідроударної обробки (по В.А. Романенко) [49]

Склад водовміщуючих порід	Тип фільтра	Режим обробки		
		Розрядна напруга, кВ	Ємкість конденсаторів, мкФ	Кількість імпульсів на 1 п. м
Пісок "-"	Сітчастий Дротяний з гравійною обсіпкою	30–35 35–40	3–6 6	150–200 100–120
Вапняк, пісковик "-"	Сітчастий, дротяний	35–40	6	100–120
"-"	Трубчастий з перфорацією Без фільтра	50 50	6–9 6–9	150–200 150–200
Граніт	Без фільтра	50	9–2	150–200

Оптимальне значення міжелектродного проміжку в рідинному розряднику, згідно рекомендаціям СКБ «Агроприлад» і В.А. Романенко, визначається із співвідношення

$$l_e = (0,75 - 0,8)\nu, \quad (5.15)$$

де l_e – міжелектродний проміжок, мм; ν – напруга розрядного контуру, кВ.

Враховуючи розбіжності в рекомендованих значеннях параметрів процесу, при виборі оптимального технологічного режиму обробки конкретної свердловини існуючі рекомендації слід розглядати як орієнтовні. При практичному виконанні обробок необхідно враховувати досвід проведення аналогічних робіт на інших свердловинах в конкретних умовах даного об'єкту або регіону, а за відсутності такого – приймати мінімальні рекомендовані значення основних параметрів. В ході перших обробок слід якомога частіше контролювати ефективність дії по вмісту пастки розрядника і результатах відкачування зі свердловини після кожного циклу обробки. На основі отриманих даних вносять необхідні корективи до режиму процесу при подальших циклах обробки тієї ж свердловини або обробках інших свердловин в ідентичних умовах.

Метод електрогідроудару допускає можливість управління параметрами процесу і доступний для освоєння в умовах виробничих організацій. Основний його недолік полягає в неповному очищенні фільтруючих каналів від залишків зруйнованого і диспергованого кольматанта, що наближає момент повторної закупорки фільтра і прифільтрової зони. Для більш повної декольматації після електрогідроудару доцільно виконувати реагентну обробку.

Досвід практичного застосування електрогідроударного методу на водозабірних і дренажних свердловинах в Білгородській, Кіровській, Ленінградській, Ростовській областях Росії, в багатьох районах Литви і України, показав, що в більшості випадків досягнуте істотне збільшення дебітів (до 60–70 % від первинної продуктивності свердловин).

5.4. Пневмовибуховий метод

Пневмовибухова дія основана на використанні енергії стисненого до високого тиску повітря, що викидається з

пневмовипромінювача у водоприймальну частину свердловини¹. Заздалегідь накопичене стиснене повітря через опущений в свердловину пневмопристрій з великою швидкістю вихлопується в рідину і розширюється, утворюючи повітряний пухир. В процесі пульсації повітряної порожнини в прилеглому до неї водному середовищі утворюються хвилі стискування і гідропотоки, що руйнують кольматант. Тиск на фронті ударної хвилі при пневмовибуху досягає 15 МПа; величина ділянки активної дії при обробці фільтрів діаметром 250–300 мм в інтервалі обробки 20–50 м складає близько 230–370 мм.

Для обробки свердловин методом пневмовибуху використовуються в основному агрегати типу АВПВ-150/150 і АСП-Т, що дозволяють обробляти свердловини глибиною до 150 м і діаметром не менше 118 і 80 мм, відповідно. У комплект агрегату входять, зокрема, компресор (типу АК2-150, ДБ-10, ДК-2 та ін.), здатний забезпечити тиск стисненого повітря до 15 МПа при подачі від 2 до 20 л/хв., повітрозбірник для накопичення і резервування стисненого повітря, комплектуваний з декількох 40-літрових балонів високого тиску сумарною місткістю 120–160 л, пневмопристрій для випромінювання пневмоімпульсів в стовбурі свердловини під тиском від 2 до 10–15 МПа (типу ПСК-70/1, АСПТ-73/3 та ін.).

Пневмопристрій ПСК-70/1 (рис. 5.15) має змінний комплект робочих камер об'ємами 0,3; 0,5 і 1,0 л. Його конструкція дозволяє застосовувати декілька (5–8) робочих модулів з камерами об'ємом 0,3 л, що приєднуються до одного розрядного пристрою, тобто створювати багатосекційний пневмопристрій послідовної або одночасної (залпової) дії. Потужність багатосекційного пневмопристрою зростає пропорційно кількості робочих камер, що використовуються. При використанні багатосекційних пневмопристроїв протяжність інтервалу, що обробляється зростає до 3 м.

Технологічний режим пневмовибухової обробки визначається робочим тиском, об'ємом робочої камери, що використовується, щільністю імпульсів і кількістю рейсів. Оптимальні значення цих показників встановлюються залежно від експлуатаційних і конструктивних особливостей свердловини. Зокрема, при діаметрі фільтрів до 150 мм і їх невеликій механічній міцності, а також за наявності біологічного кольматажу, обумовленого діяльністю залізомарганцевих бактерій, рекомендується використовувати

¹ Основи методу розроблені АЗНДІ водних проблем і НДІ геофізики.

мінімальний об'єм пневмокамери (0,3 л) і обмежувати тиск стисненого повітря в пневмоснаряді у межах 4–6 МПа. Обробку свердловин, для яких характерне сильне падіння початкової продуктивності, рекомендується починати із застосування камер мінімального об'єму (0,3 і 0,5 л) при тиску повітря до 6 МПа, після чого обробку продовжують з використанням камер об'ємом до 1,0 л при вищому тиску (до 8 МПа). У свердловинах, обладнаних фільтрами з перфорованих металевих труб або каркасно-стрижневими фільтрами, а також у свердловинах з діаметром фільтра більше 230 мм, допускається застосування пневмопристрою з об'ємом 1,0 л і тиском близько 10 МПа.

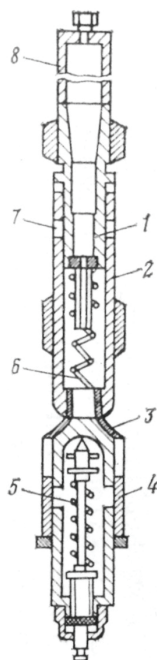


Рис. 5.15. Свердловинний пневмопристрій ПСК-70/1:

1 – золотник; 2 – циліндр; 3 – запірний клапан; 4 – клапан; 5 – пружина;
6 – поворотна пружина; 7 – вихлопні вікна; 8 – корпус робочої камери

Щільність імпульсів при пневмовибуховій обробці в більшості випадків не повинна перевищувати 3–5 на 1 м довжини фільтру. Повторні рейси призначаються лише в разі недостатньої кількості

шламу в шламовідбірнику. Тиск повітря в пневмопристрої в процесі його заглиблення у фільтр повинен підвищуватися через кожні 2 м на 0,1 МПа. Поточний контроль за ефективністю пневмовибухової обробки здійснюється за складом і кількістю шламу, що накопичується в шламовідбірнику під пневмопристроєм.

Метод пневмовибуху отримав певне поширення в практиці стимулювання водовідбору при розглинизації споруджуваних свердловин і декольматзації таких, що знаходились в експлуатації. Зокрема, він успішно застосовувався для відновлення водозабірних свердловин в Комсомольську Полтавської області, Курську, а також на дренажних системах в районах Куйбишевського і Каховського водосховищ. Застосування методу на діючих свердловинах дозволило відновити питомі дебіти до 20–70 % від початкових.

5.5. Імплозійний метод

Імплозійна дія на водоприймальну частину свердловини оснований на створенні миттєвого перепаду між пластовим і вибійним тисками, який викликає інтенсивну фільтрацію рідини з пласта в свердловину з одночасною декольматациєю фільтруючих каналів. Для створення імплозійного ефекту в стовбурі свердловини за допомогою тампона або пакера створюють ізольовану порожнину із зниженим тиском (в порівнянні з гідростатичним) або використовують спеціальний пристрій (імплозатор) з камерою, в якій створюють знижений тиск.

У момент відкриття доступу в камеру (порожнину) зниженого тиску вибійний тиск різко знижується і виникає інтенсивний гідропотік, що призводить до швидкого заповнення порожнини. Швидкості руху рідини в прифільтровій зоні в початковий момент імплозії залежать від різниці тиску всередині імплозійної камери і поза нею і можуть досягати 100–300 м/с і достатні для відриву часток коьматанта від поверхні фільтруючих каналів і винесення їх в свердловину. Одночасно відбувається гідравлічний удар падаючого стовпа води, що знаходиться над імплозатором. Падаючий за інерцією стовп рідини протягом долей секунди здатний створити тиск, який може у декілька разів перевершувати гідростатичний. Потужний гідравлічний удар сприяє розтріскуванню і розшаруванню слабозцементованих коьматуючих осадів на поверхні фільтру. Як і при пневмовибуху, основними декольматуючими чинниками при

імплізійній дії, є хвилі стискування і розрідження, інтенсивні гідропотоки і фільтраційний потік.

Ефективність імплізійної дії залежить від початкового перепаду тиску, швидкості відкриття доступу в імплізійну порожнину, її об'єму, наявності або відсутності в ній повітря. Встановлено, що при знятті перешкоди між областями високого і низького тиску протягом 0,01–0,02 с (що характерно для більшості механічних, гідромеханічних і електромеханічних клапанних систем) амплітуда зміни тиску при заповненні області низького тиску мала і не перевищує 10–15 % від початкового перепаду тиску. Результативність такої імплізійної дії невелика. При практично миттєвому відкритті доступу в зону низького тиску (що спостерігається, наприклад, при роздавлуванні скляних капсул, що знаходяться під вакуумом) амплітуда коливань тиску при заповненні імплізійної порожнини може більше ніж в 2 рази перевищувати початковий перепад тиску. Ефективність процесу значно вища.

Найбільш поширений технологічний варіант імплізійної дії на пласт, пов'язаний із застосуванням випробувачів пластів в процесі буріння і освоєння гідрогеологічних свердловин. При відкритті клапанів випробувача пласта, ізольована пакером частина стовбура, отримує з'єднання з порожньою колоною труб, на яких підвішений пристрій. В результаті створюється значний перепад між пластовим і вибійним тисками (у початковий момент практично рівний напору водоносного горизонту), і рідина пласта з великою швидкістю спрямовується через підпакерний простір в колону бурильних труб. Інтенсивний потік, що виникає при цьому, покращує фільтраційні характеристики прифільтрової зони.

У нафтопромисловій практиці при освоєнні нагнітальних свердловин широкого поширення набув розроблений в УфНДІ Ф.С. Абдуліним і Ш.С. Гаріфулліним спосіб створення високих миттєвих депресій. Суть його полягає в тому, що в свердловину на насосно-компресорних трубах опускають пакер, що встановлюється над фільтром, та вибійний клапан. За допомогою пакера вибійна частина свердловини з фільтром ізолюється від решти частини стовбура, після чого рівень води в свердловині максимально знижується за допомогою сваби або компресора. Потім насосно-компресорні труби піднімають над вибоєм, вибійний клапан відкривається і рідина пласта під великим перепадом тиску спрямовується в свердловину. При цьому на вибої створюється

висока миттєва депресія, що забезпечує великі початкові швидкості руху рідини в прифільтровій зоні і, отже, очищення порового простору і фільтруючих поверхонь. Описаний спосіб технологічно нескладний і перспективний для відновлення продуктивності водозабірних і водопонижуючих свердловин, особливо у високонапірних водоносних горизонтах.

В практиці деяке застосування отримала імпульсійна обробка свердловин, що полягає в роздавлюванні скляних капсул, що знаходяться під вакуумом (під дією гідростатичного тиску стовпа рідини в свердловині або іншим способом). При цьому виникає практично миттєвий перепад між пластовим і вибійним тисками, що викликає інтенсивну фільтрацію рідини з пласта в умовах більших початкових гідравлічних градієнтів і, як наслідок, ефективне очищення прифільтрових зон.

Розроблено пристрій для імпульсійної обробки фільтра і прифільтрової зони водозабірної свердловини, що містить герметичну циліндричну капсулу, яка знаходиться під вакуумом, і засіб руйнування капсули [50].

Товщина h стінки циліндричної герметичної капсули із вакуумом, що забезпечує неможливість руйнування капсули від зовнішнього гідростатичного тиску, що діє на зовнішню поверхню герметичної капсули із вакуумом, при спусканні її в зону залягання продуктивного пласта, розраховується згідно формули [51]

$$h = \sqrt{r(1 - 2p / \sigma_\theta)}, \quad (5.16)$$

де r – зовнішній радіус циліндричної герметичної капсули із вакуумом; p – гідростатичний тиск на зовнішню поверхню стінки циліндричної герметичної капсули із вакуумом; σ_θ – границя міцності на розрив матеріалу, з якого виготовлена капсула.

Так, для найбільш поширених конструкцій водозабірних свердловин із внутрішнім діаметром обсадної труби 210 мм при використанні скляної циліндричної герметичної капсули із вакуумом із зовнішнім діаметром 190 мм при значеннях $\sigma_\theta = 60 \cdot 10^5$ Па і $p = 6 \cdot 10^5$ Па товщина стінки циліндричної герметичної капсули із вакуумом, згідно формули (5.16), повинна бути не меншою, ніж 2,5 мм. Довжина циліндричної герметичної капсули із вакуумом визначається в залежності від потужності продуктивного пласта і

можливостей технічних засобів її виготовлення. Для продуктивних пластів середньої та великої потужності (більше 10 м) в інтервалі обробки продуктивного пласта розміщують декілька герметичних циліндричних капсул із вакуумом.

Після розміщення циліндричної герметичної капсули із вакуумом в зоні залягання продуктивного пласта з допомогою вибухового патрона здійснюють підривання детонуючого шнура. При цьому відбувається руйнування камери і утворення порожнини в свердловині в інтервалі залягання продуктивного пласта.

В момент вибухового руйнування циліндричної герметичної капсули із вакуумом за рахунок створення миттєвого перепаду між пластовим тиском і тиском на вибої свердловини виникає депресійна дія на прифільтрову зону свердловини, яка супроводжується інтенсивним гідропотоком в прифільтровій зоні свердловини, що призводить до відривання частинок коьматанту від поверхні фільтра і каналів фільтрації і вносу коьматанту в свердловину, в результаті чого фільтр і прифільтрова зона свердловини очищаються від коьматанту.

Недолік способу – відносно невеликий об'єм вакуумованих капсул, складність виготовлення капсул із заданою міцністю, небезпека їх передчасного руйнування на поверхні.

Для створення імплзії можуть використовуватися і невакуумовані капсули, виготовлені з будь-якого матеріалу. Одна з модифікацій цього способу заснована на використанні металевої капсули, заповненої повітрям під атмосферним тиском і забезпеченої скляною пробкою. Після спуску імплзатора на задану глибину скляна пробка руйнується за допомогою електродетонатора і вода з великою швидкістю спрямовується в металеву капсулу, що викликає імплзійний ефект.

Імплзійний метод може застосовуватися як при освоєнні, так і при експлуатації свердловин. Технологічно він сумісний з багатьма іншими видами стимулюючої дії. Зокрема імплзійно-електрогідродарна обробка використовується для інтенсифікації роботи поглинаючих свердловин в системах вертикального дренажу на території Одеси.

5.6. Вібраційний метод

Суть вібраційної обробки полягає в тому, що водоприймальну частину свердловини піддають дії гідродинамічного

тиску, що збуджується в стовпі води вібруючим уздовж осі свердловини робочим органом. Останній є насосно-компресорною трубою (із закріпленими на ній дисками), яка сполучена з вібратором (рис. 5.17).

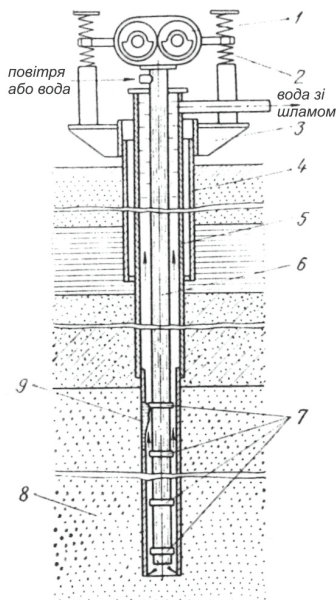


Рис. 5.17. Схема віброустановки:

- 1 – вібратор; 2 – амортизуючі пружини; 3 – опорна рама; 4 – обсадна колона;
5 – експлуатаційна колона; 6 – насосно-компресорні труби; 7 – гумово-металеві диски;
8 – водоносний пласт; 9 – фільтр

Коливання дисків призводять до утворення змінних по знаку і величині імпульсів тиску, що сприяють руйнуванню кольматуючої речовини, її диспергуванню і вимиванню¹.

Метод вібраційної обробки дуже ефективний при декольматзації фільтрів, закупорених пастоподібними або пухкими незцементованими осадами.

Амплітуда коливань гідродинамічного тиску, що визначає ефективність вібраційної дії, залежить від ряду технологічних параметрів (рис. 5.18).

¹Технологія методу розроблена НДІГС та НДІ ВОДГЕО.

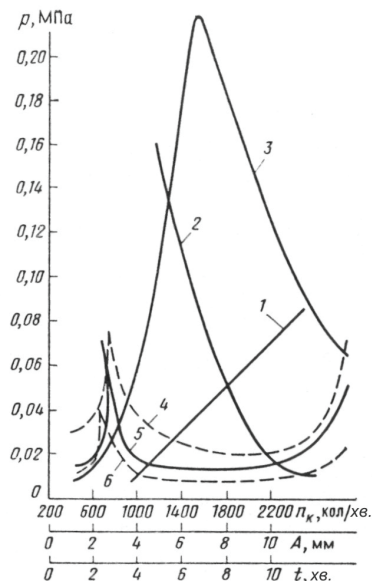


Рис. 5.18. Залежність амплітуди коливання гідродинамічного тиску p від технологічних параметрів:

1 – амплітуди коливань робочого органу; 2 – часу, необхідного для повного відновлення проникності фільтра; 3 – частоти коливань робочого органу в повністю закольматованому фільтрі при відношенні внутрішнього діаметра труби до зовнішнього діаметра диска 1,17; те ж в повністю очищеному фільтрі: 4 – 1,03; 5 – 1,17; 6 – 1,5

Зокрема, вона зростає із збільшенням амплітуди коливань робочого органу і зменшенням зазору між дисками і каркасом фільтра; при незмінній амплітуді коливань робочого органу залежність між амплітудою коливань тиску і частотою коливань робочого органу має вигляд резонансної кривої, характер якої різний для закупореного і очищеного фільтрів; збільшення амплітуди коливань гідродинамічного тиску скорочує час, необхідний для повного відновлення проникності фільтра. Встановлено, що по мірі очищення водоприймальної частини від кольматанта амплітуда коливань імпульсів гідродинамічного тиску поступово зменшується до певного мінімального значення, що відповідає за часом періоду максимального відновлення проникності фільтра і прифільтрової зони.

Оптимальна амплітуда коливань гідродинамічного тиску, що забезпечує найбільш ефективну декольматизацію, складає 0,2–0,3 МПа. Для виконання вібраційної гідродинамічної обробки свердловин застосовують віброустановки типу ВУР, здатні збудити в стовбурі свердловини імпульси гідродинамічного тиску з амплітудою 0,4–0,5 МПа (табл. 5.15).

Таблиця 5.15. Технічні характеристики віброустановок типу ВУР [2]

Показники	ВУР-2	ВУР-3	ВУР-4
Тип установки	Поверхневий		Заглибинний
Максимальна глибина свердловин, що обробляються, м	120	250	800
Мінімальний діаметр колони, мм: експлуатаційної фільтрової	168 114	168 114	219 114
Амплітуда коливань робочого органу при його максимальній масі, мм	6	6	7
Частота коливань робочого органу за 1 хв.	700	700	800
Потужність приводного електродвигуна, кВт	7,5	13	5,5
Маса віброустановки без робочого органу, кг	800	1 300	240

Віброустановки типів ВУР-2 і ВУР-3 складаються з вібратора дебалансового типу і опорної рами, зв'язаних між собою направляючими стрижнями і амортизуючими пружинами. Привід вібратора здійснюється від електродвигуна, встановленого на опорній рамі або корпусі вібратора.

Погружна віброустановка ВУР-4 складається з вібратора, електродвигуна, робочого органу, колони бурильних труб, пульта управління та оголовка. Вібратор кінематичного типу змонтований в герметичному корпусі і має привід від електродвигуна. В установці ВУР-4 піддається вібрації не вся колона, а лише робочий орган з дисками, що дозволяє використовувати її на свердловинах глибиною більше 200–250 м.

Робочий орган віброустановки представляє собою насосно-компресорну трубу діаметром 60 або 73 мм, до нижньої частини якої кріплять гумово-металеві або сталеві кільця завтовшки 10 мм, зовнішнім діаметром на декілька міліметрів менше внутрішнього діаметра фільтра.

При необхідності видалення глинистого коьматанта з дрібнозернистих водоносних пісків можна застосовувати робочий

орган, диски якого здійснюють відносно один одного зустрічні або протифазні коливальні рухи, що забезпечують збудження в стовпі води протилежно направлених гідродинамічних імпульсів.

В комплект устаткування, що використовується при вібраційній гідродинамічній обробці, входить декілька вібронасосів, які є самостійними клапанними пристроями для перекачування води в певному напрямі. При поєднанні вібраційної обробки з відкачуванням, вібронасоси вмонтовують в колоні насосно-компресорних труб над робочим органом (вище фільтра) з інтервалом 8–10 м один від одного в положенні, що забезпечує пропуск води знизу вверх. Вібронасоси, що використовуються в установках ВУР-2 і ВУР-3, здатні відкачувати воду, що містить значну кількість суспензій, з подачею до 6 м³/год.

Для виконання всього комплексу робіт, пов'язаних з вібраційною обробкою, що включає, окрім неї, спуск і підйом різного устаткування, очищення стовбура желонуванням, ерліфтне відкачування та інші операції, застосовують спеціалізовані самохідні агрегати типу АВО², які оснащені вантажопідйомною лебідкою, монтажною щоглою, електричним генератором, компресором з повітрярозбірником, вібраційною установкою, що транспортується на причепі. Механізми, змонтовані на основному шасі, мають привід від робочого двигуна автомобіля, віброустановка приводиться в дію від електричного генератора. Агрегат АВО-1 оснащується віброустановкою марки ВУР-3 або ВУР-4; агрегат АВО-2 – віброустановкою ВУР-2 або ВУР-4. Транспортною базою агрегату АВО-1 слугує автомобіль ЗІЛ-131, агрегату АВО-2 – автомобіль ГАЗ-66. Внаслідок різної конструкції щогл агрегат АВО-1 переважно використовується при освоєнні нових свердловин, а агрегат АВО-2 – також і при декольматації свердловин, що знаходяться в експлуатації.

Процес декольматації водоприймальної частини свердловини вібраційним методом здійснюється в такому порядку. Після монтажу устаткування приступають до відкачування ерліфтом і періодично, на 3–5 хв. включають віброустановку. При відновленні відкачування контролюють вміст суспензій у відкачуваній воді і після її освітлення знову запускають віброустановку в роботу. Вібраційну обробку періодично відновлюють до тих пір, поки вона не перестане супроводжуватися помітним збільшенням вмісту суспензій у відкачуваній воді. При використанні вібронасосів вібраційну обробку

²Конструкція НДІГС та тресту «Промбурвод».

і відкачування виконують одночасно (віброустановку включають в роботу на 20–30 хв. з перервами 10–15 хв.).

Вібраційна гідродинамічна обробка належить до найбільш ефективних фізичних методів інтенсифікації водовідбору зі свердловин. Вона набула широкого поширення як потужний засіб розглинизації прифільтрових зон після буріння і все ширше використовується в практиці експлуатації водозабірних споруд. Метод успішно випробуваний на території Воронежської області. Вібраційна обробка відрізняється дуже високою результативністю (часто досягається повне відновлення первинної продуктивності свердловин).

5.7. Акустичний метод

Акустичний метод стимулювання водовідбору' полягає в тому, що в порожнині фільтру і прифільтрової зоні створюється потужне ультразвукове поле, дія якого призводить до диспергування або відшарування кольматанта, що відклався у водоприймальній частині свердловини. Декольматація відбувається під впливом радіального тиску порядку 0,15–0,3 МПа, кавітації і «звукового вітру» – хаотичного різноспрямованого перебігу звукового поля, що перешкоджає злипанню диспергованого кольматанта.

Для акустичної обробки свердловин на воду використовують установку УЗРС. До її комплексу входять: перетворювач струму високої частоти, ультразвуковий снаряд, щити управління випромінювачем, електроустаткуванням і пакерами, а також різне допоміжне устаткування, що включає дротяний йорж для очищення фільтру, дві збірно-розбірні ємності з прогумованої тканини об'ємом 1,5 м³ та ін. Технічна характеристика установки УЗРС приведена в табл. 5.16.

Основний робочий орган установки – ультразвуковий пристрій, що забезпечує оробку фільтра ультразвуковим полем і ізоляцію оброблюваного інтервалу. Ультразвуковий пристрій (рис. 5.19) складається із сталевий опорної труби 1 діаметром 76 мм, до якої кріплять два пневматичних пакера 8 з гумовими оболонками. Між ними встановлюють два співвісно закріплених магнітострикційних випромінювачів 2, що живляться від серійного перетворювача частоти ВП4-30/8000.

Технологія методу розроблена НДІОСП.

Таблиця 5.16. Технічна характеристика установки УЗРС [2]

Гранична глибина оброблюваної свердловини, м	120–130
Діаметр фільтрової колони оброблюваної свердловини, мм	273
Споживана потужність, кВт	25
Споживаний струм: напруга, В сила, А частота, Гц	Змінний трьохфазний 380 35–40 50
Вихідний струм: напруга, В сила, А частота, Гц	Змінний однофазний 400–430 42–46 8 000
Струм підмагнічування	Постійний
Сила струму підмагнічування, А	30
Діаметр ультразвукового снаряда, мм	240
Довжина активної частини снаряда, мм	750
Маса снаряда, кг	110
Маса установки, т	7

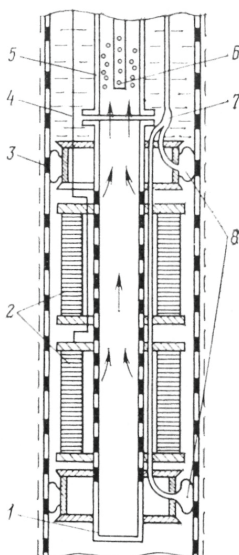


Рис. 5.19. Схема обробки водопрямальної частини свердловини ультразвуковим методом:

1 – опорна перфорована труба; 2 – магнітострикційний випромінювач; 3 – фільтр свердловини; 4 – високочастотний силовий кабель; 5 – колона водопрямальних труб; 6 – форсунка ерліфта; 7 – повітряний шланг; 8 – пневматичні пакери

Відновлення свердловини починають з очищення дротяним йоржем. В разі необхідності очищення може комбінуватися з гідророзмивом осаду на вибої свердловини і одночасним ерліфтным прокачуванням для видалення забрудненої пульпи із стовбура свердловини. Після закінчення гідромеханічного очищення стовбура приступають до обробки фільтра ультразвуковим пристроєм, що опускається на колоні водопідйомних труб разом з пневматичними пакерами для ізоляції оброблюваного інтервалу. Обробку проводять поінтервально з одночасним ерліфтным відкачуванням води, що поступає в інтервал, ізолюваний пакерами. Швидкість обробки складає від 1,5 до 3 м/год.

Ультразвукова обробка випробувана з позитивними результатами на водопонижуючих свердловинах Соколовсько-Сарбайського гірничо-збагачувального комбінату та на Канівській ГЕС. За наявними даними ультразвукову дію доцільно застосовувати при відносно невеликій глибині кольматації прифільтрових зон незцементованим пухким кольматантом переважно залізистого складу міцністю менше 0,5 МПа.

5.8. Метод вакуумування

Вакуумування – поширений метод інтенсифікації водовідбору, що застосовується також при експлуатації водопонижуючих свердловин та різних дренажних пристроїв в районах гірничорудних розробок і в водопониженні. Суть методу полягає в підвищенні енергії фільтраційного потоку за рахунок створення пониженого тиску (вакууму) в стовбурі свердловини, ізолюваному від проникнення атмосферного повітря.

Для створення досить глибокого і стійкого вакууму застосовуються вакуумні насоси з різною подачею, що відсмоктують повітря з герметично закритого простору між водопідйомною трубою і експлуатаційною колоною. Найчастіше для вакуумування свердловин використовують вакуумні водокільцеві насоси типів КВН або ВВН, що забезпечують розрідження до 0,08–0,09 МПа.

Експлуатація свердловин, обладнаних вакуум-насосами, зводиться до підтримки всередині стовбура необхідного розрідження періодичним включенням насоса. Ефект вакуумування може бути досягнутий також за допомогою водонепроникної перемички, що встановлюється в просторі між водопідйомними трубами і

експлуатаційною колоною над заглибинним насосом. З цією метою використовують спеціальну чашоподібну манжету з еластичної гуми, яку кріплять на водопідіймальних трубах при монтажі насоса. Після включення насоса манжета притискається до експлуатаційної колони, відокремлюючи розташований над нею стовп води і ізолюючи водоприймальну частину свердловини, в якій створюється знижений тиск.

Вакуумування свердловин, що призводить до зростання швидкостей фільтрації в прифільтровій зоні і збільшення водоприпливу, певною мірою сприяє також і очищенню фільтруючих каналів від тонкодисперсного коагулянта різного походження (залишків промивальної рідини, хемогенних пухких осадів та ін.), тобто дозволяє підтримувати проникність прифільтрових зон на відносно вищому рівні в порівнянні зі свердловинами, експлуатованими без вакуумування.

Метод вакуумування застосовується для стимулювання водовідбору зі свердловин, що експлуатують як напірні, так і безнапірні водоносні горизонти, при різних глибинах залягання і складу водовміщуючих порід. Особливо ефективне вакуумування при осушенні пухких обводнених порід із слабкою водовіддачею і низькою водопроникністю, зокрема, мілко- і тонкозернистих глинистих пісків з коефіцієнтом фільтрації менше 1 м/добу. Цей метод успішно випробуваний, зокрема, для інтенсифікації водоприпливу до свердловин, пробурених для осушення рудної товщі з коефіцієнтом фільтрації менше 0,1–0,2 м/добу.

Вакуумування водопонижуючих свердловин отримало поширення в Підмосковному і Дніпровському вугільних басейнах, Нікопольському марганцевому басейні та деяких інших гірничорудних районах. Досвід практичного застосування методу в гірничорудній промисловості показав, що окрім істотного (в середньому 2–3-кратного) збільшення водовідбору, вакуумування дозволяє істотно прискорити усунення залишкових напорів водоносних горизонтів при освоєнні обводнених родовищ і значно скорочує тривалість осушення порід із слабкою водовіддачею в умовах несталої фільтрації.

Вакуумування широко застосовують також в практиці будівельного водопониження при осушенні котлованів, траншей і тунелів у водонасичених піщаних, часто пливунних ґрунтах за допомогою легких фільтрових установок (типу ЛПУ-6Б, УВВ-1, 4ВВ-

2, 4ВВ-3 та ін.), що приводяться в дію вакуумними водокільцевими насосами.

Включення вакуумування до групи методів інтенсифікації водоприпливу в деякій мірі умовне, оскільки посилений водовідбір з вакуумованих свердловин досягається лише в період створення вакууму. Тому вакуумування правильніше розглядати як ефективний метод експлуатації водопонижуючих і водозабірних пристроїв в складних умовах водовідбору.

5.9. Комбіновані методи'

Для стимулювання водовідбору розроблені комбіновані методи очищення водозабірних свердловин, які поєднують імпульсну обробку із наступним або одночасним використанням інших методів відновлення продуктивності свердловин.

Віброреагентний метод

Віброреагентний (віброхімічний) метод" заснований на одночасному використанні двох декольматуючих чинників: хімічній активності реагенту, здатного розчиняти закупорюючий матеріал та імпульсній вібраційній дії на прифільтрову зону, що інтенсифікує процес розчинення в результаті створення знакозмінного тиску і різноспрямованих фільтраційних потоків, які виникають в зоні контакту реагенту з кольматантом. Активна гідродинамічна дія на систему розчинник–кольматант в процесі реагентної обробки дозволяє істотно прискорити процес декольматації і поліпшити ступінь очищення водоприймальної частини свердловини. Значно збільшується також глибина декольматації та її рівномірність.

Віброреагентну обробку застосовують для освоєння свердловин з метою видалення залишків промивального розчину, а також для відновлення водовідбору з експлуатованих свердловин при складних умовах декольматації фільтру (великій глибині зони кольматації, зцементованості кольматуючого осаду та ін.), коли застосування звичайних вібраційних або реагентних методів не дає істотного ефекту. Обов'язкова умова – достатня корозійна стійкість фільтру до дії реагенту. Основні положення технології відновлення дебіту

'При викладенні матеріалу підр. 5.9 використано роботи [2, 14].

"Технологія віброреагентної декольматації свердловин розроблена НДІ ВОДГЕО та НДІ ГС сумісно із трестом «Промбурвод».

свердловин віброхімічним методом в частині підбору реагентних складів, їх концентрації, об'єму, дозування цільових добавок, устаткування для транспортування і закачування реагентів в основному ті ж, що і при звичайній хімічній обробці. Для розчинення кольматанту при віброхімічній обробці можна використовувати практично всі без виключення реагенти, які застосовуються при хімічних обробках свердловин незалежно від їх фазового стану (рідкі, тверді, газоподібні). У такій же мірі зберігають силу і рекомендації по застосуванню різного устаткування для створення імпульсних вібраційних навантажень, розроблені для звичайної віброобробки.

Застосовується декілька різних технологічних схем виконання віброхімічної обробки, відповідно яким в свердловині монтується різне віброустаткування.

Найбільш простий технологічний варіант полягає в тому, що в свердловину, обладнану вібратором з робочим органом звичайного типу, через гирло подається реагентний розчин, що досягає через деякий час фільтру, після чого проводять вібрацію. Для підвищення ефекту обробки можна використовувати робочий орган вібратора із зустрічним рухом дисків або з протифазними коливальними рухами.

Складніша схема обробки передбачає циркуляцію реагентного розчину в стовбурі свердловини в процесі вібрації (рис. 5.20). З цією метою в колоні насосно-компресорних труб робочого органу з інтервалом 8–10 м встановлюють декілька вібронасосів, що перекачують розчин знизу вгору, а в середній частині робочого органу вмонтовують трубу з перепускними вікнами.

Найбільшою ефективністю відрізняється технологічний варіант обробки з використанням вібронагнітача, що працює в імпульсному режимі, і пакерів для герметизації фільтрового інтервалу. Згідно технології, рекомендованої НДІ ВОДГЕО, спочатку виконують два–три цикли віброобробки за звичайною технологією до повного освітлення відкачуваної зі свердловини води. Потім в гирлову частину свердловини через відвід на оголовку подають першу порцію реагентного розчину, який переміщаючись вниз по стовбуру, витісняє воду із стовбура свердловини в пласт. Після того, як реагентний розчин досягне водоприймальної частини свердловини, фільтровий інтервал ізолюють за допомогою пакера і включають вібратор.

Тривалість першого циклу вібрації – 10 хв. Протягом цього часу вібронагнітач закачує реагент в ізольований пакером фільтровий інтервал під тиском до 0,3–0,4 МПа.

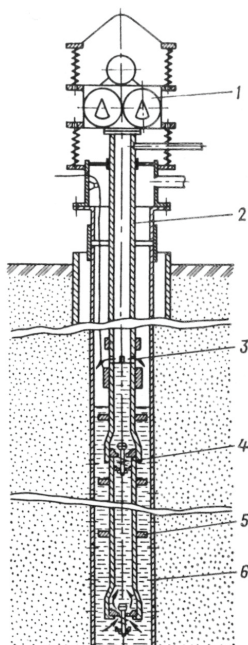


Рис. 5.20. Устаткування свердловини при віброреагентній обробці:
 1 – вібратор; 2 – труба робочого органу; 3 – перепускне вікно; 4 – вібронасос;
 5 – диски робочого органу; 6 – фільтр

Після закінчення вібрації пакер розгерметизовують, внаслідок чого додатковий тиск на пласт знімається і відбувається відтік реагентного розчину з прифільтрової зони в стовбур. Після 20-хвилинного дренажу пласта знов відновлюють вібрацію, що продовжується близько 10 хв. Вказані цикли повторюють 3–5 разів. Далі в свердловину тим же способом подають другу порцію реагентного розчину і повторюють операції в тій же послідовності. На завершальному етапі процесу виконують ерліфтне відкачування зі свердловини до повного видалення твердих і газоподібних продуктів реакції.

Віброреагентна обробка успішно випробувана при збільшенні продуктивності водозабірних і водопонижуючих свердловин в Черкасах і Курську, в районі Каховського водосховища. Застосування методу дозволило збільшити питомі дебіти в 1,5–4,7 рази (до 0,2–0,7

первинної продуктивності). Метод перспективний для широкого впровадження в практику спорудження і експлуатації водозаборів.

Термовіброреагентний метод'

Процес декольматації фільтру і прифільтрової зони при віброхімічній обробці свердловини може бути ще більше інтенсифікований підігріванням реагентного розчину у водоприймальній частині свердловини до температури 60–80 °С. При цьому досягається додаткове істотне прискорення процесу і значне збільшення ступеню розчинення кольматанта.

Термовіброреагентний метод, який об'єднує в одному технологічному процесі теплову, вібраційну і хімічну дії, дозволяє істотно підвищити ефективність декольматації свердловин в особливо складних умовах. Наприклад, при необхідності видалення крем'янистого кольматанту, розчинення якого в звичайних умовах проходить з малою швидкістю і не повністю.

Для реалізації методу, застосовують раніше описане вібраційне устаткування і реагенти, що використовуються при хімічній обробці (за винятком поліфосфатів і дітіоніту натрію). Розчин при термовіброреагентній обробці підігрівають свердловинними електронагрівачами, що розташовані на робочому органі вібратора, або хімічним шляхом за допомогою термореагентів, що вводяться через гирло свердловини всередину робочого органу за допомогою спеціального пристрою [12]. У першому випадку реагент в стовбурі свердловини можна нагрівати блоком позитивних і негативних електродів, що чергуються, і які розташовані в нижній частині корпусу робочого органу. Конструктивні особливості електродів, виконаних у вигляді порожнистих усічених конусів, сприяють збільшенню швидкості нагрівання рідини, а наявність зворотного клапана і перепускних отворів в колоні робочого органу забезпечує циркуляцію нагрітого розчину в зоні фільтру.

Пневмореагентний метод

Пневмореагентний метод інтенсифікації водовідбору з експлуатованих свердловин є раціональним поєднанням хімічної обробки і пневмовибуху. При реалізації методу диспергуюча дія пульсуючих реагентних потоків змінного напрямку, що виникають в процесі пульсації газової порожнини, доповнюється розчинною дією

Технологію методу розроблено НДІ ВОДГЕО.

реагенту'. Міра і рівномірність очищення прифільтрової зони при цьому значно зростають внаслідок активного перемішування реагенту і переміщення часток кольматанту, що диспергують, в зоні обробки. Пневмореагентна дія застосовується для інтенсифікації водовідбору у різних гідрогеологічних і експлуатаційних умовах при будь-яких конструкціях фільтрів, досить стійких до дії реагенту. Метод ефективний при різному складі кольматанта (особливо для видалення осадів з переважанням гідроксиду заліза). Пневмореагентну обробку застосовують на свердловинах глибиною до 150 м із статистичними рівнями не нижче 50 м і при довжині фільтру до 20 м.

При необхідності в технологічну схему процесу може бути включене циклічне задавлювання реагентного розчину за контур фільтру тиском стисненого повітря.

Для пневмореагентної обробки використовується те ж устаткування, яке застосовують при звичайному пневмовибуху та реагентній обробці. В комплект устаткування для циклічної пневмореагентної обробки входить також пневматичний пакер, що встановлюється в надфільтровій частині стовбура для ізоляції інтервалу, що обробляється.

Поряд з рідкими реагентами при пневмореагентній дії можна застосовувати і порошкоподібні речовини. При використанні порошкоподібних реагентів в свердловину опускають повітряні труби, по яких в стовбур подають невелику кількість стисненого повітря від компресора. У вируючу повітряно-водяну суміш засипають розрахункову кількість порошкоподібного реагенту. Далі в свердловину опускають пакерний герметизуючий пристрій, який встановлюють на 0,5–1,0 м вище за статичний рівень (рис. 5.21).

Тиск стисненого повітря в пакері підтримується постійним (близько 0,15 МПа). Після перевірки всієї системи на герметичність пневмоснаряд встановлюють у верхній частині фільтру і в процесі обробки переміщують на 10 см після кожного пострілу до нижньої частини фільтру, а потім – до верхньої (досить двох–чотирьох спусків-підйомів). Після закінчення пневмовибухової обробки за наявності достатньої активності реагентного розчину приступають до циклічного (5–10-кратного) продавлювання реагенту вглиб прифільтрової зони. З цією метою періодично створюють пригрузку

Технологію методу розроблено НДІ геофізики, АзНДІ водних проблем і НДІ ВОДГЕО.

рідини в підпакерному просторі тривалістю 5–10 хв. тиском стисненого повітря в межах 0,04–0,13 МПа. Пригрузку чергують із скиданням тиску в підпакерному просторі до атмосферного. В результаті реагентний розчин багато разів переміщається до периферійної частини прифільтрової зони і назад до стовбура свердловини, що сприяє більш повній та рівномірній декольматації порового простору.

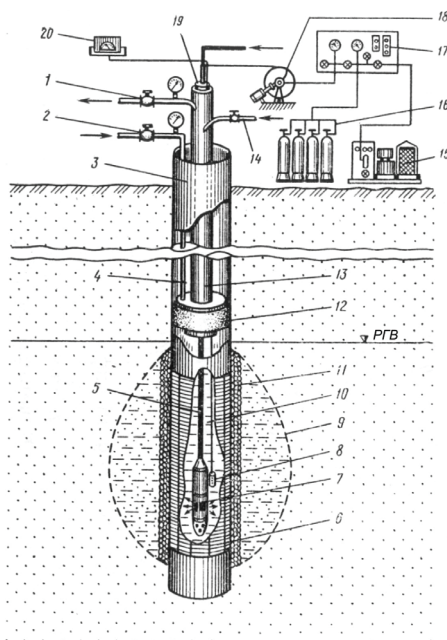


Рис. 5.21. Устаткування свердловини при віброреагентній обробці:

- 1 – патрубок для скидання тиску; 2 – патрубок для подачі повітря в камеру пакера;
- 3 – фільтрова колона; 4 – повітряний шланг; 5 – шланг високого тиску; 6 – фільтр;
- 7 – пневмоснаряд; 8 – електрод; 9 – межа зони поширення реагенту; 10 – реагент;
- 11 – гравійна обсіпка; 12 – пакер; 13 – труба пакера; 14 – патрубок для подачі повітря низького тиску; 15 – електрокомпресор; 16 – повітрязбірник; 17 – щит управління;
- 18 – лебідка; 19 – сальник; 20 – омметр

Оптимальна кількість циклів витіснення-повернення реагентного розчину визначається в процесі обробки по стабілізації швидкості відновлення рівня води в підпакерному просторі після скидання тиску. З цієї метою під пакером встановлюють контактний пристрій, що спрацьовує при відновленні рівня води після зняття тиску.

При значній глибині свердловин необхідно передбачати подачу реагентного розчину безпосередньо у водоприймальну частину свердловини, що дозволить запобігти зайвому розбавленню і забрудненню реагента.

Досвід практичного використання пневмореагентних обробок на одному із водозаборів Курська та на інших об'єктах, показав що застосування методу дозволило досягти значного, в 1,7–4,8 рази, збільшення питомих дебітів (до 70–75 % від первинних).

Метод електровібраційної обробки (ЕВО), розроблений в Івано-Франківському інституті нафти і газу, ґрунтується на створенні в реагенті низьковольтних розрядів. При подачі напруги на електроди розрядника відбувається розігрівання електроліту з утворенням первинних парогазових пухирів. Подальше розігрівання реагенту призводить до створення єдиного парогазового пухиря, що охоплює всю поверхню електроду і до розриву електричного ланцюга. Під дією гідростатичного тиску відбувається закриття пухиря з утворенням імпульсів тиску, що досягають 0,8 МПа. Процес наростання температури стабілізується через 5–7 хв. і температура досягає 50–60 °С. Інтенсифікація процесу розчинення кольматуючих відкладів забезпечується за рахунок розігрівання і пульсуючого руху реагенту і диспергування відкладів [52]. Технічна характеристика установки ЕВО приведена в табл. 5.17.

Таблиця 5.17. Технічна характеристика установки ЕВО

Максимальна глибина оброблюваної свердловини, м	150
Внутрішній діаметр свердловини, мм	108–352
Напруга живлячої мережі, В	220 або 380
Напруга на розряднику, Г	200–900
Частота імпульсів, Гц	0,5–200
Споживана потужність, кВт	15

Дослідна установка ЕВО розміщена в кузові автомобіля ГАЗ-53А і складається з електричної і гідравлічної частин. Електрична частина призначена для збудження і передачі імпульсу на електроди свердловинного снаряду (рис. 5.22). Управляючий генератор забезпечує частоту імпульсів 0,5–200 Гц і розрядну напругу 200–900 В. Електрична енергія перетворюється в енергію коливань рідини і в теплову в свердловинному снаряді. У металевому корпусі снаряду розташований високопотенційний електрод з кумулятивними

виїмками і каналами. Її бічна поверхня ізолювана діелектриком 3. Подача реагента в робочу зону здійснюється по трубці через штуцер 4. Центральна жила кабелю приєднана до активного електрода, а другим полюсом служать фільтр і корпус снаряда. Можлива робота установки і з свердловинними снарядами інших конструкцій.

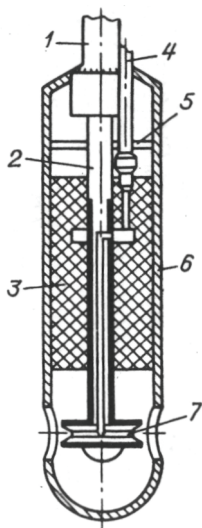


Рис. 5.22. Свердловинний снаряд для електровібраційної обробки фільтрів:
1 – кабель; 2 – центральний електрод; 3 – ізолятор; 4 – штуцер; 5 – кришка; 6 – корпус;
7 – кумулятивні виїмки

Гідралічна частина установки забезпечує подачу реагента з робочої ємності безпосередньо в зону розташування свердловинного снаряду. Подача реагента здійснюється по гнучкому трубопроводу шляхом витискання його стисненим повітрям з робочої ємності, яка може також використовуватись для приготування розчину реагента з порошкоподібних речовин і тимчасового його зберігання.

Обробку свердловини проводять в такій послідовності. Установку підключають до силової мережі і через гірло свердловини опускають снаряд. Свердловину заповнюють реагентом. Обробку проводять при напрузі на розряднику 300–500 В, частоті імпульсів 50–200 Гц, кроку піднімання снаряду 0,5 м і часу роботи на одній позиції 7–10 хв. Поступово, піднімаючи снаряд, обробляють весь інтервал фільтра. Оптимальний час обробки складає близько 1,5 год.

Після завершення обробки витягують зі свердловини снаряд і проводять прокачування свердловини до повного видалення продуктів реакції і реагента.

Досвід застосування електровібраційного способу регенерації показує, що при незначному терміні експлуатації свердловин (до 3–5 років) можливе збільшення їх дебіту до первинного або близького до нього [53].

Реагентно-акустичний метод'

В основу реагентно-акустичного методу покладено поєднання хімічної і ультразвукової обробок в одному технологічному процесі. Реагентна обробка кольматанту в умовах інтенсивного озвучування фільтра ефективніша, ніж кожен із методів окремо, оскільки при комплексній дії істотно збільшується відкрита поверхня кольматуючого осаду, що доступна для реагентної дії, і покращуються умови видалення продуктів руйнування кольматанту. В результаті досягається повніша і глибша декольматация фільтрів і прифільтрових зон.

Виконанню реагентно-акустичної обробки передують попереднє очищення стовбура за допомогою йоржа і ерліфтного відкачування. Після цього приступають до реагентної обробки, яка виконується за типом реагентної ванни або обробки прифільтрової зони з повним чи частковим витісненням реагента за контур фільтра. В обох випадках вона може супроводжуватися циклічною пригрузкою реагента, що знаходиться в стовбурі або в прифільтровій зоні, стисненим повітрям. У водоприймальну частину свердловини реагент подають через колону водопідіймальних труб або гумовий шланг.

Після подачі реагентного розчину на вибір і початку реагування, в свердловину опускають колону водопідіймальних труб з ультразвуковим снарядом. Після входу колони зі снарядом у водоприймальну частину може бути проведене поінтервальне циклічне задавлювання реагентного розчину в ізольовані пакерами ділянки фільтра завдовжки по 0,75 м. Для задавлювання використовують стиснене повітря, яке подають від компресора по опущеному всередину колони гумовому шлангу з форсункою.

Після досягнення свердловинним снарядом нижньої ділянки фільтра починають поінтервальну акустичну обробку з одночасним ерліфтним відкачуванням з інтервалів, що ізольовані пакером.

Технологію методу розроблено НДІ ОСП.

Довжина інтервалу, що озвучується при одному положенні снаряду, складає 0,75 м. Тривалість озвучування фільтра в кожному інтервалі коливається від 10 до 20 хв. залежно від наявності у відкачуваній воді залишків кольматанту і суспензій. При послідовному переміщенні снаряда на вищерозміщений інтервал озвучування, відкачування не припиняють (скидається лише тиск повітря в камерах пакера).

При виборі оптимальної технології процесу важливо враховувати міру відробітку реагентного розчину в період поінтервального озвучування фільтра, що супроводжується одночасно ерліфтным відкачуванням. Щоб уникнути передчасного видалення із стовбура ще активного розчину або, навпаки, озвучування фільтра в реагентному середовищі, що вже повністю втратило активність, доцільно планувати проведення технології так, щоб ультразвукова обробка виконувалась приблизно на серединній фазі реагування.

Реагентно-акустична обробка випробувана у виробничих умовах Соколовсько-Сарбайського гірничо-збагачувального комбінату і на водозаборі Курська. В результаті досягнуто 1,7–2,5-кратне збільшення питомих дебітів (до значень, близьких до первинної продуктивності свердловин або тих, що перевищують їх).

Для водоносних пластів невеликої потужності (до 8,0–10,0 м) розроблений спосіб ударно-депресійної обробки фільтра і прифільтрової зони свердловини [54], що включає створення імпульсами стисненого повітря ударної дії на фільтр і прифільтрову зону свердловини, який відрізняється тим, що в областях над підшовою і під покрівлею продуктивного пласта розташовані циліндричні герметичні капсули із вакуумом, при руйнуванні яких відбувається також депресійна обробка фільтра і прифільтрової зони свердловини.

Товщина стінок циліндричних герметичних капсул із вакуумом повинна бути такою, щоб при розташуванні капсул в межах залягання продуктивного пласта забезпечити неможливість руйнування герметичних капсул під дією гідростатичного тиску рідини. Розрахунок товщини стінок герметичних капсул здійснюють згідно відомих методик [51].

Після розміщення двох циліндричних герметичних капсул із вакуумом і балона високого тиску в межах залягання водоносного пласта в послідовності – нижня капсула над підшовою водоносного пласта, балон високого тиску в області середньої частини пласта, верхня капсула під покрівлею пласта, проводиться нагнітання та

стискання повітря в балоні високого тиску до значень від 2,0 до 15,0 МПа в залежності від типу кольматанта в фільтрі та прифільтровій зоні свердловини.

В подальшому, після відкриття в балоні високого тиску отворів для вихлопу, стиснене повітря з великою швидкістю надходить у рідину в свердловині, здійснюючи імпульсну обробку фільтра і прифільтрової зони свердловини.

В результаті вихлопу стисненого повітря, утворена у рідині в свердловині хвиля тиску руйнує циліндричні герметичні капсули із вакуумом. При цьому тиск в зоні розташування капсул із вакуумом різко спадає і відбувається депресійна обробка фільтра і прифільтрової зони свердловини.

Технічний результат досягається завдяки створенню в процесі такої обробки як ударної, так і депресійної дії на фільтр та прифільтрову зону свердловини, що в цілому підвищує ефективність очищення фільтра і прифільтрової зони свердловини від кольматанту.

5.10. Вибухові роботи в свердловинах з неміцними фільтрами'

В свердловинах, фільтри яких виготовлені з крихких чи неміцних матеріалів, або зазнали сильної корозії, застосування вибуху може супроводжуватися руйнуванням конструкції і заповненням стовбура піском. Навіть використання таких тонко регульованих вибухових процесів, як газова детонація, не знімає повністю труднощів, пов'язаних з відновленням дебітів подібних свердловин. У зв'язку з цим певний інтерес може представляти метод вибухового відновлення їх дебітів, приведений в роботі [55] і успішно застосований на свердловинах Московського дренажу'.

Суть методу полягає в наступному. Міцні каркаси витримують без пошкодження вибух досить великих (декілька ниток ДШ) зарядів, тоді як крихкі, маломіцні або фільтри, що зазнали корозії, легко руйнуються при вибуху одного шнура. Через фільтр, а тим більше через каркас, позбавлений фільтруючої оболонки, в затрубний простір йде ударна хвиля з великим запасом енергії. Ґрунтуючись на цих фактах, був запропонований наступний спосіб відновлення дебіту подібних свердловин. Не витягуючи старого фільтра, що вже не пропускає рідину, в стовбур опускають новий фільтр меншого

При викладенні матеріалу підр. 5.10 використано роботи [14, 26].

діаметру, виготовлений з міцних матеріалів, і встановлюють його на вибої по центру стовбура, перекривши всю ділянку старого фільтру. Простір між фільтрами засипають гравієм, після чого в свердловину опускають торпеду з детонуючого шнура і встановлюють по центру нового фільтру (а отже, і проти старого). При вибуху заряду ударна хвиля проходить через новий фільтр, шар гравію і, зруйнувавши старий фільтр, відкриває канали для руху рідини з пласта в свердловину. Завдяки тому, що елементи старого фільтру і гравій залишаються на місці, вибух не створює умов для винесення піску з пласта. Вибір заряду в цьому випадку визначається конструкцією нового, спущеного в свердловину фільтра і його розміром.

Запропонована схема залежно від умов може доповнюватися деталями і конкретизуватися. Так, у багатьох випадках буде достатньо замість нового фільтра спускати перфоровану трубу, оскільки це у поєднанні з гравійною засипкою в більшості випадків запобігає поступанню піску в свердловину після вибуху. Проте подібні зміни є лише уточненнями загальної схеми, що не змінюють її принципової частини.

Подібні роботи виконувалися в неглибоких дренажних свердловинах. Заряд торпед складався з трьох відрізків детонуючого шнура. Старими фільтрами були фільтри з чавунними щілинними каркасами розміром 175×205 мм з мідною сіткою галунного плетіння. Новими – перфоровані труби 100×110 мм і отворами діаметром 11 мм до скважності 8,2 % із засипкою простору між фільтрами гравієм з діаметром фракцій 7–10 мм. В результаті торпедування дебіт свердловин помітно зріс і практично збігся з дебітом нових дренажних свердловин, пробурених в цьому районі. Значного винесення породи з пласта в свердловинах, що зазнали торпедування, не спостерігалось.

Цей метод може застосовуватися і у водозабірних свердловинах. І перш за все, при ремонтних роботах, оскільки проведення такого вибуху вимагає значно менших витрат праці, матеріалів і часу, ніж при звичайних ремонтних роботах, дозволяючи істотно знизити вартість відновлення свердловини.

При вибуху торпед ТДШ створюються високі імпульсні тиски, які досягають на поверхні фільтра діаметром 150 мм величини 50 МПа, що не дозволяє використовувати шнурові торпеди для обробки фільтрів, виготовлених з матеріалів з обмеженою механічною міцністю (керамічних, пластмасових) або ослаблених

корозією в процесі тривалої експлуатації свердловин. В цьому випадку може використовуватися розроблена в ЛІСІ торпеда [56], представлена на рис. 5.23.

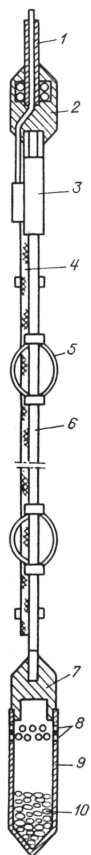


Рис. 5.23. Торпеда з детонуючого шнура ТДШ для обробки маломісних фільтрів:

1 – кабель; 2 – головка; 3 – вибуховий патрон; 4 – детонуючий шнур; 5 – центратори;
6 – сталеві стрижні; 7 – натяжний вантаж; 8 – отвори; 9 – порожнистий циліндр;
10 – газовиділяючий реагент

Торпеда складається з детонуючого шнура 4 у водостійкій оболонці (1,0 м детонуючого шнура містить 12,5 г вибухової речовини), який кріпиться до шарнірно скріплених один з одним сталевих стрижнів 6 з центраторами 5. Головка 2 служить для

кріплення торпеди до кабелю 1, на якому її опускають в свердловину. Детонуючий шнур 4 сполучений з термостійким вибуховим патроном або електродетонатором 3. У нижній частині торпеди на стрижні 6 закріплений циліндричний натяжний вантаж 7, на якому за допомогою різьбового з'єднання встановлений порожнистий циліндр 9 з отворами 8 на бічній поверхні у верхній його частині. Нижня частина циліндра 9 заповнена реагентом 10, що здатний до інтенсивного газовиділення, наприклад сухим льодом.

Перед обробкою свердловини порожнистий циліндр заповнюється реагентом і нагвинчується на вантаж 7. Заряджена торпеда опускається на кабелі 1 через стовбур свердловини і встановлюється всередині фільтрової труби. Газ, що виділяється всередині замкнутої камери 9, виходить під тиском у вигляді бульбашок через отвори 8 і піднімається вгору, утворюючи завісу, що обволікає внутрішню поверхню фільтра. Під дією ударної хвилі від вибуху детонуючого шнура 4, біля внутрішньої поверхню фільтрової труби виникає кавітація, під дією якої відбувається руйнування і диспергування осадів, що кольматують поверхню фільтру і прифільтрову зону пласта.

Небезпека руйнування фільтрів при використанні такого пристрою значно зменшується, оскільки потужна первинна ударна хвиля, що виникає при вибуху детонуючого шнура, дробиться на безліч слабкіших вторинних імпульсів тиску, що діють локально на малих ділянках фільтра, відповідно з діаметром бульбашок газу. Так, в результаті проведених в ЛІСІ досліджень встановлено, що якщо при вибуху тротилового шнура на поверхню фільтру свердловини діє імпульсний тиск рівний 50 МПа, то при використанні запропонованого пристрою, що створює бульбашкову завісу, тиск на стінки свердловини зменшується до 16 МПа.

Обробку свердловини за допомогою шнурової торпеди проводять в такій послідовності. Вмонтовують ерліфт і прокачують свердловину до повного видалення шламу із відстійника. Вимірюють дебіт свердловини, визначають пониження і демонтують ерліфт. Потім збирають торпеду, причому її довжину приймають рівною довжині фільтра або його інтервалу, що підлягає ремонту. Зібрану торпеду опускають в свердловину. Торпеда має бути відцентрована по осі свердловини, оскільки при її відхиленні на 0,3 радіуса фільтра енергія, що передається на каркас фільтра, подвоюється, а при зсуві на 0,5 радіуса фільтра збільшується в 4 рази. Співісність торпеди і

фільтра забезпечується центраторами. Детонатор встановлюють на торпеду лише перед самим спуском її в свердловину так, щоб він знаходився поза зоною робочої частини фільтру. Детонатор слід виводити на 0,5–1,0 м від місця зварювання труб і сальників. Торпеда у жодному випадку не повинна упиратися вантажем у відстійник свердловини. Після підривання торпеди монтують ерліфт і прокачують свердловину до повного видалення шламу [57].

Для обробки фільтрів свердловин з обмеженою механічною міцністю пропонується в торпеді, що містить відрізки детонуючого шнура і порожнистий циліндр, розміщений в нижній частині торпеди (частина якого заповнена реагентом, що здатний до інтенсивного газовиділення) між відрізками ДШ розміщувати заповнені повітрям герметичні капсули із матеріалу, що руйнується' [58]. Після розміщення такої торпеди в інтервалі фільтра за допомогою ініціюючого пристрою здійснюють підривання торпеди, в результаті чого фільтр зазнає ударно-депресійної дії. При цьому (як і при підриві торпеди, що представлена на рис. 5.23) небезпека руйнування фільтра в процесі ударного навантаження знижується, а депресійний вплив на пласт, що виникає від руйнування заповнених повітрям герметичних капсул, супроводжується очищенням фільтра від кольматуючих осадів.

Конструкцію торпеди ударно-депресійної дії розроблено сумісно з С.В. Петрушенком.

Список використаної літератури

1. Бейсебаев А.М., Туякбаев Н.Т., Федоров Б.В. Бурение скважин и горно-разведочные работы. – М.: Недра, 1990. – 303 с.
2. Специальные работы при бурении и оборудовании скважин на воду / Д.Н. Башкатов, С.Л. Драхлис, В.В. Сафонов, Г.П. Квашнин. – М.: Недра, 1988. – 268 с.
3. Тугай А.М., Орлов В.О., Шадура В.О. Бурова справа в водопостачанні. – Рівне: Нац. ун-т водного господарства та природокористування, 2004. – 267 с.
4. Мамедов А.А. Предотвращение нарушений обсадных колонн. – М.: Недра, 1980. – 240 с.
5. Кристин М., Сокол С., Константиnescу А. Увеличение продуктивности и приемистости скважин. – М.: Недра, 1985. – 184 с.
6. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений / Муравьев И.М., Андриасов Р.С., Гиматулинов Ш.К. и др. – М.: Недра, 1965. – 504 с.
7. Башкатов Д.Н., Роговой Г.Л. Бурение скважин на воду. – М.: Колос, 1976. – 208 с.
8. Морозов Э.А., Мерший В.А. Сооружение и эксплуатация водозаборных скважин. – К.: Будівельник, 1976. – 149 с.
9. Andrew Shturm. Кольматаж фильтров скважин и методы восстановления производительности водозаборных скважин. – <http://wellscreen.narod.ru/index.html>, 2004.
10. Башкатов А.Д. Предупреждение пескования скважин. – М.: Недра, 1991. – 176 с.
11. Гаврилко В.М., Алексеев В.С. Фильтры буровых скважин. – М.: Недра, 1976. – 345 с.
12. Алексеев В.С., Гребенников В.Т. Восстановление дебита водозаборных скважин. – М.: Агропромиздат, 1987. – 239 с.
13. Плотников Н.А., Алексеев В.С. Проектирование и эксплуатация водозаборов подземных вод. – М.: Стройиздат, 1990. – 256 с.
14. Романенко В.А., Вольницкая Э.М. Восстановление производительности водозаборных скважин. – Л.: Недра, 1986. – 112 с.
15. Справочник по бурению скважин на воду / Под ред. Д.Н. Башкатова / – М.: Недра, 1979. – 560 с.
16. Киселев О.К. Повышение срока эксплуатации водозаборных скважин. – М.: Колос, 1975. – 206 с.
17. Гаврилко В.М., Бессонов Н.Д. Опыт эксплуатации скважин, оборудованных фильтрами из пористой керамики. – М.: Труды ВНИИ ВОДГЕО, 1966, вып. 13. – С. 8–10.
18. Алексеев В.С. Методика прогноза химического кольматажа фильтров водозаборных скважин // Водоснабжение и санитарн. техника. – 1968, № 10. – 28 с.
19. Рекомендации по импульсным методам восстановления производительности скважин на воду. – М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1979. – 114 с.

20. Несветайлов Г.А., Серебряков В.А. Теория и практика электрогидравлического эффекта. – Минск: 1966.
21. Наугольных К.А., Рой Н.А. Электрические разряды в воде. – М.: Наука, 1971.
22. Ловля С.А. Взрывное дело. – М.: Недра, 1976. – 269 с.
23. Падуков В.А., Антоненко В.А., Подозерский Д.С. Разрушение горных пород при ударе и взрыве. – М.: Недра, 1971. – 160 с.
24. Склянский В.Г. Временная инструкция по применению пневмовзрыва для увеличения производительности скважин на воду. – Баку – Донецк: АзНИИ водных проблем, 1975.
25. Мосинец В.Н., Пашков А.Д., Латышев В.А. Разрушение горных пород. – М.: Недра, 1975. – 215 с.
26. Ловля С.А. Взрывные работы в водозаборных скважинах. – М.: Недра, 1971. – 119 с.
27. Шапкин Н.Ф. Характеристики твердости котельной накипи по сопротивлению ее разлому. – «Заводская лаборатория», 1952, № 4.
28. Ловля С.А., Горбенко Л.А., Каплан Б.Л. Торпедирование и перфорация скважин. – М.: Недра, 1959.
29. Вольницкая Э.М., Шляйферт М.А. Увеличение дебитов водяных скважин взрывом. – М.: Недра, 1970. – 63 с.
30. Коул Р. Подводные взрывы. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1950. – 495 с.
31. Ляхов Г.М. Основы динамики взрывных волн в грунтах и горных породах. – М.: Недра, 1974. – 192 с.
32. Покровский Г.И., Федоров И.С. Возведение гидротехнических земляных сооружений направленным взрывом. – М.: Стройиздат, 1971. – 216 с.
33. Нова технологія інтенсифікації видобутку нафти і природного газу із застосуванням енергії вибуху // А.В. Михалюк, Ю.І. Войтенко, Н.В. Лігоцький. – Нафт. і газова пром-сть, 1997, № 4. – С. 24–26.
34. Нагорный В.П., Глоба В.М., Денисюк И.И. Взрывные работы при добыче природных углеводородов, строительстве магистральных трубопроводов и подземных хранилищ. – К.: «Полиграфист», 2009. – 330 с.
35. Михалюк А.В. Торпедирование и импульсный гидроразрыв пород. – К.: Наук. думка, 1986. – 207 с.
36. Регенерация водозаборных скважин взрывными методами с использованием эффекта разуплотнения пород водоносного горизонта / В.А. Чуриков, В.Д. Кукшин, Ю.С. Непочатов, А.Ф. Кравцов // Теория и практика совершенствования взрывных работ. – К.: Наук. думка, 1990. – С. 98–101.
37. Солодухин Р.И. Ударные волны и детонация газов. – М.: Физматгиз, 1963.
38. Школьный Н.П. Разработка виброимпульсного способа регенерации скважин на воду: Дис. ... канд. техн. наук. – Ивано-Франковск, 1984. – 155 с.
39. Романенко В.А., Соловьева Н.С. Исследование способа очистки фильтров водозаборных скважин взрывом ацетилено-воздушной смеси // Изв. вузов. Строительство и архитектура, 1979, № 12. – С. 101–104.

40. Ивашечкин В.В. Газоимпульсная технология восстановления пропускной способности фильтров водозаборных скважин. – Минск: БНТУ, 2005. – 269 с.
41. Желтов Ю.П. Деформация горных пород. – М.: Недра, 1966.
42. Беляев Б.М., Васильев С.А., Николаев С.И. Разрыв пласта давлением пороховых газов. Тематический научно-технический обзор. – М.: ВПИИОЭНГ, 1967.
43. Степанов В.И. О фильтрации жидкости, вызванной импульсом давления. – Труды ВНИИ. Теория и практика добычи нефти, 1965.
44. Беляков В.М. Влияние химического зарастания прифильтровой зоны скважин на их производительность // Вопросы гидрогеологических расчетов водозаборов и дренажей. Сб. № 5. – М.: Госстройиздат, 1964.
45. Труэлсен Д. Расчет колодцев для предотвращения их засорения и коррозии. – «Das gas und wasser», 1958, т. 99.
46. Кутузов Б.Н. Взрывные работы. – М.: Недра, 1980. – 392 с.
47. Единые правила безопасности при взрывных работах. – М.: Недра, 1976. – 240 с.
48. Техническая инструкция по прострелочно-взрывным работам в скважинах. – М.: Недра, 1978. – 63 с.
49. Рекомендации по импульсно-реагентному восстановлению производительности скважин. – М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1982. – 92 с.
50. Патент України на корисну модель 50571 МПК Е 21 В 43/25. Пристрій для депресійної обробки фільтра і прифільтрової зони свердловини / В.П. Нагорний. Заявл. 13.01.10. Опубл. 10.06.10. Бюл. № 11.
51. Сопротивление материалов / Г.С. Писаренко, В.А. Агарев, А.Л. Квитка и др. – Киев: Изд-во «Вища школа», 1986. – 775 с.
52. Петряшин Л.Ф., Чуриков В.А. Электровибрационный метод регенерации водозаборных скважин // Гидротехника и мелиорация, 1980, № 3. – С. 69–71.
53. Рекомендации по виброреагентному восстановлению производительности скважин. – М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1980. – 130 с.
54. Патент України на корисну модель 52155 МПК Е 21 В 43/25. Спосіб ударно-депресійної обробки фільтра і прифільтрової зони свердловини / В.П. Нагорний. Заявл. 25.03.10. Опубл. 10.08.10. Бюл. № 15.
55. Гаврилко В.Н. Опыт восстановления водозахватной способности скважин взрывом детонирующего шнура // Гидротехника и мелиорация, 1958, № 11.
56. Торпеда из детонирующего шнура для очистки фильтров скважин. А. с. № 859559 / Романенко В.А., Смелов Н.С., 1981. – Бюл. № 32.
57. Инструкция по очистке фильтров водозаборных и дренажных скважин взрывом торпеды из детонирующего шнура ТДШ. – М.: ВНИИгеофизика, 1966. – 17 с.
58. Деклараційний патент на винахід 6627 Е МПК Е 21 В 43/25. Торпеда для обробки фільтрів свердловин / В.П. Нагорний, С.В. Петрушенко. Заявл. 20.10.2004. Опубл. 16.05.2005. Бюл. № 5.

Довідкове видання

Нагорний Володимир Петрович

**Імпульсні методи відновлення продуктивності
водозабірних свердловин: Довідник**

Підписано до друку 30.03.2011.

Формат 60×84/16. Папір офсетний.

Друк. арк. 11,32; умов. друк. арк. 9,91.

Замовлення № 9 від 02.08.2011. Наклад 200 прим.

Віддруковано у друкарні Тов. фірми «Ессе»

Україна, 03142, м. Київ-142,
проспект Вернадського, 34/1