

**Міністерство освіти і науки України  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ**



*П.П. Вирвінський  
Ю.Л. Кузін  
В.Л. Хоменко*

# **ТЕХНОЛОГІЯ БУРІННЯ**

для студентів напрямку "Геологія"

**Дніпропетровськ  
НГУ  
2014**

УДК 622.24(075); 550.822.7  
ББК 33.13  
В 92

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом "Геологія" (лист № 1/11-667 від 10.02.2010).*

Рецензенти:

П.І. Огородников, д-р техн. наук, професор, завідувач департаменту природознавчих наук і нафтової інженерії Міжнародного науково-технічного університету Міністерства освіти і науки України;

Л.М. Васильєв, д-р техн. наук, професор, завідувач відділу Інституту геотехнічної механіки НАН України, лауреат Державної премії України;

О.В. Орлінська, д-р геол.-мін. наук, професор, головний науковий співробітник ДВ УкрДГРІ.

Автори:

П.П. Вирвїнський – вступ, розділи 3, 6, 7, 9, 10, 12, 22;

Ю.Л. Кузін – розділи 14–21, 23;

В.Л. Хоменко – розділи 1, 2, 4, 5, 8, 11, 13.

**Вирвїнський П.П.**

**В 92** Технологія буріння. / П.П. Вирвїнський, Ю.Л. Кузін, В.Л. Хоменко – Д.: Національний гірничий університет, 2014.

ISBN 978-966-350-222-9

У першій частині наведено дані про техніку та технологію основних видів буріння свердловин. Описано фізико-механічні властивості гірських порід, буровий інструмент, розглянуто конструкції свердловин, бурове обладнання, промивання свердловин, ударно-канатне буріння, викривлення свердловин. Детально розглянуто прилади і технологію кернавого і шламowego опробування.

Подано приклади розв'язання практичних задач.

Призначений для студентів вищих навчальних закладів напряму підготовки "Геологія" і може становити інтерес для спеціалістів геологорозвідувальних організацій.

УДК 622.24(075); 550.822.7  
ББК 33.13

ISBN 978-966-350-222-9

© П.П. Вирвїнський, Ю.Л. Кузін, В.Л. Хоменко, 2014

© Національний гірничий університет, 2014

## **ВСТУП**

Дисципліна "Технологія буріння" є однією з профільюючих дисциплін на-пряму "Геологія". Геологорозвідувальна справа сьогодні – це складна і багатопланова галузь з численними методами, технологічними процесами, технічними засобами та засобами забезпечення. Майбутні виробничі функції бакалавра з геології тісно пов'язані з елементами існування об'єкта діяльності – геологорозвідувальної справи (проектуванням, виконанням, наглядом та ін.).

Основна мета цієї дисципліни – підготовка студентів для виконання на сучасному рівні проектів проведення геологорозвідувальних робіт із застосуванням передової технології та сучасного обладнання й інструменту.

Завданням дисципліни є надання кожному студенту таких компетенцій:

- розрахунок техніко-економічних показників буріння;
- вибір способу буріння;
- проектування конструкції свердловин;
- розрахунок цементування свердловин;
- проектування технології буріння;
- вибір способу опробування свердловин;

Системою знань для цього слугують:

- загальні відомості про буріння свердловин;
- фізико-механічні властивості гірських порід;
- техніка і технологія буріння неглибоких свердловин;
- буровий інструмент;
- бурове обладнання;
- технологія буріння;
- технологія опробування при бурінні свердловин;
- викривлення свердловин;
- причини виникнення і методи боротьби з ускладненнями та аваріями;
- роботи з ліквідації свердловин;

# ЧАСТИНА I. РОЗВІДУВАЛЬНЕ БУРІННЯ

## 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН

**Навчальні цілі:** у результаті вивчення розділу студент повинен знати елементи і параметри бурових свердловин, їх класифікації за призначенням, способи буріння, етапи спорудження свердловин, основні техніко-економічні показники, методику їх розрахунку та вміти визначити основні показники буріння свердловин.

### 1.1. Роль буріння в геологорозвідувальній справі

*Бурінням свердловин* називається сукупність робіт з утворення в гірських породах отворів круглого перерізу. Ці роботи виконуються спеціальними технічними засобами, як правило, без доступу людини всередину отворів. Таким чином, процес буріння – один з перших процесів у тривалій історії технічного прогресу, де переважна більшість операцій здійснюється без особистої участі людини.

Значення буріння для геології і народного господарства важко переоцінити. Свердловина є основним і найважливішим каналом для одержання геологічної інформації. В інших галузях народного господарства буріння використовується також досить широко. Без нього неможливо уявити собі сучасне будівництво, водопостачання, зрошення й осушення, видобуток корисних копалин, особливо таких як вода, нафта і газ. За допомогою буріння проводяться аварійно-рятувальні роботи, вирішується багато завдань, пов'язаних з обороною країни та охороною навколишнього середовища.

Свердловини можна бурити із земної поверхні, з підземних гірничих виробок і природних пустот усередині Землі, з поверхні водойм або з дна водойм, з поверхні Місяця, а в майбутньому – з поверхні інших космічних об'єктів.

Розвідувальні бурові роботи – один з ефективних способів пошуків і розвідки родовищ корисних копалин. Витрати на них складають близько 50 % від загальних витрат на геологічні роботи. Тому необхідно приділяти велику увагу вдосконалюванню техніки, технології та організації бурових робіт.

Роль бурових робіт величезна. Усі рідкі й газоподібні корисні копалини розвідуються та експлуатуються за допомогою свердловин, тверді – в основному буровими роботами. Для розвідки поліметалевих руд, а також руд рідких, благородних металів використовують свердловини в сполученні з гірничорозвідувальними виробками. При будівництві різних споруд широко застосовується буріння інженерно-геологічних свердловин.

Переваги розвідувального буріння:

1. Вивчення земної кори на великих глибинах шляхом підйому кернів (зразків порід) з наступним їхнім дослідженням і складанням геологічного розрізу.

2. Буріння свердловин можливо у всіх породах при будь-якому припливі води. Проведення ж гірничих виробок в деяких умовах взагалі нездійсненне. Так, проведення гірничих виробок (шурфів, шахт, штреків тощо) утруднене,

якщо необхідно пересікти цими виробками водоносні пласти з великим припливом. У таких випадках єдиною гірничою виробкою для розвідувальних цілей залишається свердловина.

3. Можливість повної герметизації, тобто непроникності свердловини, й зручність експлуатації рідких і газоподібних корисних копалин. Ця перевага обумовлює виняткову, якщо не вважати колодязів, застосовність свердловин для розвідки та видобутку води, нафти і газу.

4. Висока продуктивність буріння свердловин порівняно з проходкою гірничорозвідувальних виробок у таких самих умовах.

5. Економічність, тобто вартість одного метра свердловини менше вартості одного метра гірничої виробки, що пояснюється малим перерізом свердловин і великою продуктивністю буріння.

Недоліки свердловин:

1. Неможливість безпосереднього спостереження стінок свердловини, тобто штучних оголень, одержуваних у результаті буріння, через малий діаметр свердловин. Для усунення цього недоліку застосовують фотографування стінок свердловини.

2. Неповне витягування зразків гірських порід через їхнє стирання і розмив у свердловині. Наслідком цього є спотворення складеного геологічного розрізу. Для усунення цього недоліку витягають зразки зі стінок свердловини і застосовують геофізичні методи дослідження свердловин.

3. Малий об'єм зразків твердої корисної копалини порівняно з об'ємом, отриманим при проходці гірничих виробок. Однак цей недолік невеликий, тому що необхідні дослідження можуть бути виконані й на зразках малого об'єму.

4. Викривлення свердловин, тобто відхилення свердловини від заданого напрямку, спотворює уявлення про глибини залягання пластів, їхню потужність і розташування в надрах. Для усунення цього недоліку застосовують прилади для виміру викривлення свердловин, що дає можливість установити дійсне розташування свердловин у надрах.

## **1.2. Короткі відомості з історії бурових робіт**

Буріння своїми коренями йде в глибoku стародавність, аж до пізнього палеоліту і неоліту (13–7 тисячоріччя до н.е.). По суті, будь-який процес створення отворів у гірській породі може кваліфікуватися як буріння. Найраніші просвердлені предмети з каменю зустрічаються в знахідках з верхнього палеоліту. Отвори робили кремнієвими свердлами.

Зародження власне буріння, тобто одержання глибокого отвору в надрах землі, зазвичай відносять до VI–III ст. до н.е. на території Китаю. Свердловини бурилися без обертання, інструмент для руйнування породи підвішувався на канаті та заглиблювався за рахунок удару.

Філософ Конфуцій за 600 років до н.е. вже повідомляв про китайські свердловини глибиною до 500 м. Цей рекорд глибини був перекритий тільки в XIX ст.

Свердловини бурилися для видобутку соляних розчинів і питної води. Іноді разом з ними одержували газ і навіть нафту.

Винахід китайців зі сторіччями майже не змінювався. Французи Г. Імберт і А. Гумбольдт, які побували в Китаї на початку XIX ст., описували китайський метод буріння таким, яким він був близько 2,5 тис. років тому.

У XI–XIII ст. в районах Усоля, Солі-Камської і Балахни (Росія) зародилася своя, відмінна від китайської, технологія буріння свердловин на розсоли. Перші рукописні згадування про соляні промисли відносяться до 1332–1370 рр., але буріння почалося набагато раніше. Діаметр соляних свердловин був близько метра, а глибина – понад 100 м. Навіть для сучасної техніки буріння таких свердловин справа далеко не проста. Труби виготовлялися з дерева, металеві труби з'явилися в бурінні тільки в XIX сторіччі.

Відомий один з перших рукописних посібників з буріння свердловин, датований XVI ст. Він називався "Роспись, как зачать делать новая труба на новом месте". У ньому описані досить розвинуті техніка і технологія буріння того часу.

Перша у світі свердловина на нафту ручним ударним способом була пробурена полковником А.Н. Новосельцовим у 1835 році на р. Кубань у Краснодарському краї.

Перша свердловина, що дала нафту на Апшеронському півострові, пробурена в 1869 році.

Початок обертального колонкового алмазного буріння відносять до 1862 року, коли швейцарський годинникар Лешо запропонував застосувати алмази для буріння гірських порід при проходці залізничного тунелю Мон-Сени в Альпах. З метою економії він розташував алмази на кільцевому корпусі коронки.

У 1887 році шведський інженер Креліус створив конструкцію бурового верстата для обертального буріння, що отримала надалі широке застосування.

У 1914 році німецький інженер Ломан одержав твердий сплав воломіт (литий карбід вольфраму), який знайшов застосування в бурінні. У нашій країні колонкове буріння твердими сплавами стало впроваджуватися з 1928 року, після випуску твердого сплаву побідит.

У 1899 році інженер Девіс (США) уперше застосував дробове буріння, у нашій країні воно стало розвиватися з 1928 року.

У XIX і на початку XX ст. розвідувальне буріння в основному здійснювалося вручну, тільки на нафту бурили свердловини ударним способом. З 1922–1923 рр. нафтове буріння почали переводити з ударного способу на більш ефективний – роторний із промиванням глинистим розчином. У 1923 році М.А. Капелюшниковим винайдений турбобур, на основі якого пізніше групою вчених був створений і впроваджений безредукторний багатоступеневий турбобур, з появою якого відпала необхідність обертати довгий бурильний вал.

Після війни 1941–1945 рр. у нашій країні проведено повне переозброєння бурових робіт: створено кілька поколінь бурових верстатів, здійснено перехід із дробового на алмазний спосіб буріння, розроблено технічні засоби і технологію гідроударного і пневмоударного буріння, застосовано буріння зі знімними керноприймачами та з гідротранспортом керна зі свердловини тощо.

У другій половині 80-х років обсяги геологорозвідувального буріння різко скоротилися через фінансові труднощі, одночасно збільшилися обсяги буріння технічних і свердловин на воду. Однак ці зміни тимчасові, тому що зміцнення сировинної бази будь-якої держави неможливе без геологорозвідувальних робіт.

### 1.3. Свердловина, її елементи і параметри

**Свердловиною** називається штучна циліндрична гірнична виробка в земній корі, що має малі поперечні розміри в порівнянні з глибиною. Діаметри свердловин змінюються від 25 до 1000 мм і більше (при проходці шурфів і стовбурів шахт їхні діаметри досягають 8000 мм). Глибина свердловин змінюється від 5 до 10000 м і більше. У СНД пробурена найглибша у світі Кольська свердловина СГ-3, глибина якої перевищила 12000 м (проектна глибина 15000 м).

При розвідці родовищ твердих корисних копалин глибина свердловин, пробурених з відбором керна, перевищила 4000 м. Найглибші свердловини бурять з метою пошуків та розвідки нафти й газу, а також вивчення глибинної будови земної кори. Їх глибина досягає 5000–8000 м.

Елементи свердловини (рис. 1.1):

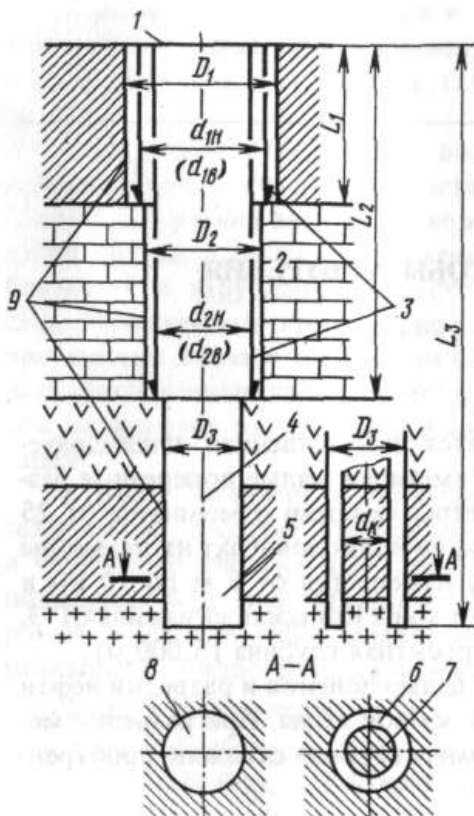


Рис. 1.1. Елементи свердловини

**Конструктивні параметри свердловини:**

- діаметри стовбура  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  – прийнято діаметр свердловини приймати рівним діаметрові породоруйнівного інструменту;
- загальна глибина  $L_3$ ;
- інтервали закріплення стовбура  $L_1$ ,  $L_2$ , складеного нестійкими породами, – зазначені інтервали перекриваються трубами 3, які називають **обсадними**;

- **вибій** – дно свердловини, що поглиблюється у процесі її проходки; вибій може руйнуватися по всій площі 8 або по кільцю 6 із залишенням у центральній його частині незруйнованого стовпчика породи – керна 7, що є наочним геологічним зразком;

- **стілки** 9 – бічна поверхня свердловини;

- **уста** 1 – місце перетинання стовбура свердловини із землею поверхнею або з гірничою виробкою;

- **стовбур** – простір, обмежений стінками свердловини (2 – обсаджений трубами 3, 5 – не обсаджений);

- **вісь свердловини** 4 – траєкторія, описувана у просторі центром вибою, що поглиблюється.

Свердловина є інженерним спорудженням і характеризується конструкцією, тобто її будовою у земній корі.

- діаметри  $d_{1н}$ ,  $d_{2н}$ ,  $d_{1в}$ ,  $d_{2в}$  (зовнішній "н" і внутрішній "в") обсадних труб;
- інтервали заповнення затрубного простору (кільцевий зазор між стінками свердловини і зовнішнім діаметром обсадних труб) непроникним матеріалом для роз'єднання перебудованих пластів;
- при бурінні свердловин на рідкі корисні копалини (нафта, прісні та мінеральні води) у поняття "конструкція свердловини" входить також її будова у межах продуктивного пласта, що підлягає випробуванню й експлуатації.

#### 1.4. Класифікація свердловин за призначенням

За цільовим призначенням бурові свердловини класифікують на три основні категорії: геологорозвідувальні, експлуатаційні і технічні.

Перша категорія – *геологорозвідувальні свердловини*, що проводяться для вивчення родовищ корисних копалини або з метою вивчення геологічної будови певного району. Геологорозвідувальні свердловини за цільовим призначенням підрозділяються на такі різновиди:

1. *Картувальні свердловини* – бурять при проведенні геологічної зйомки з метою оголення корінних порід, по яких ведеться геологічне картування, в районах, де ці породи приховані шаром наносів.

2. *Пошукові свердловини* – бурять з метою визначення наявності або відсутності в даному районі тої або іншої корисної копалини.

3. *Розвідувальні свердловини* – бурять з метою оконтурювання і визначення запасів корисної копалини на даному родовищі.

4. *Гідрогеологічні свердловини* – бурять з метою вивчення підземних вод, умов їх залягання, можливого дебіту і хімічного складу.

5. *Артезіанські свердловини* – є різновидом гідрогеологічних свердловин, пробурених на напірні води пластів.

Артезіанські свердловини отримали своє найменування від давньоримської назви Артезія – провінція у Франції, яка тепер називається провінцією Артуа. У 1126 р. в цій провінції була пробурена перша в Європі самовиливна свердловина на воду. Проте подібні свердловини і колодязі бурилися у глибокій давнині в Китаї та Єгипті.

6. *Інженерно-геологічні свердловини* – бурять для розкриття верхніх горизонтів земної кори з метою складання геологічного розрізу, випробувань фізико-механічних властивостей ґрунтів у свердловині і відбору зразків ґрунтів з непорушеною структурою для визначення їх властивостей у лабораторних умовах для потреб промислового та цивільного будівництва.

7. *Сейсмічні свердловини* – бурять при сейсмічній розвідці, для проведення підземних вибухів, у результаті яких за допомогою сейсмографів визначають глибину і кути падіння пластів.

8. *Параметричні свердловини* – бурять з метою вимірювання параметрів геофізичних властивостей гірських порід і температури в умовах природного залягання порід і вивчення глибинної будови можливих зон нафтогазо-накопичення.



9. **Структурні свердловини** – бурять з метою вивчення геологічних структур і елементів залягання (потужності, кутів падіння і простягання) пластів порід, для контролю й уточнення даних геологічної і геофізичної зйомок.

10. **Опорні свердловини** – бурять в межах площ, геологічна будова яких не висвітлена бурінням для геологічної зйомки, пошуків, регіонального вивчення глибинної геологічної будови, рудоносності або нафтогазоносності глибоких горизонтів.

Друга категорія – **експлуатаційні свердловини**, що проводяться для видобування з надр рідких (питна або мінералізована вода, нафта) і газоподібних корисних копалин. Сюди відносяться такі різновиди:

1. **Водозабірні свердловини** – для водопостачання міст, промислових підприємств, курортів, сільського господарства, залізничного транспорту.

2. **Нафтові та газові свердловини** – для видобутку нафти і газу.

3. **Свердловини підземної газифікації** вугілля – для отримання горючих газів шляхом неповного згорання вугілля безпосередньо в масиві вугільного родовища. Отримувані гази використовуються як паливо або сировина в хімічній промисловості.

4. **Свердловини для видобутку розсолів**, що залягають в колекторах земної кори, слугують для вилуговування різних солей: броду, йоду та ін.

5. **Геотехнологічні свердловини** – бурять з метою гідродинамічного руйнування гірських порід, що містять корисні копалини, або з метою нагнітання в свердловину розчинів кислот, які розчинюють мінерали корисної копалини з подальшим винесенням її на поверхню.

Третя категорія – **технічні свердловини**, що буряться для різних технічних цілей. До них належать такі різновиди:

1. **Підривні свердловини** – призначені для розміщення в них зарядів вибухової речовини з метою відділення корисної копалини або породи від масиву при проведенні вибуху на відкритих або підземних гірничих роботах. **Шпура-ми** називаються підривні свердловини малих розмірів: діаметром від 30 до 60 мм і глибиною до 5 м.

2. **Стовбури шурфів і шахт**, пройдені в гірських породах бурінням.

3. **Свердловини для заморожування ґрунтів** – пробурюють по кільцю навколо стовбура майбутньої шахти для заморожування водоносних порід перед проходкою шахтного стовбура й усунення тим самим затоплення водою шахти під час її проходження та зведення водотривкого кріплення. Заморожування водоносних порід при цьому здійснюється шляхом спуску труб в пробурені свердловини і циркуляції по цих трубах охолоджених розчинів.

4. **Свердловини для зміцнення ґрунтів** – при будівництві шляхом нагнітання в тріщинуваті породи цементного розчину, різних смол або рідкого скла.

5. **Водознижувальні або дренажні свердловини** – призначені для дренажу, тобто для осушення кар'єру, родовища або ділянки під будівництво шляхом зниження рівня підземних вод.

6. **Водоспускні свердловини** – для спуску води з одного підземного горизонту в інший при осушенні гірничих виробок, а іноді й цілих водоносних пластів.

7. **Нагнітальні свердловини** – слугують для організації нагнітання води, повітря або нафтового газу в оконтурену зону нафтового покладу з метою вчинити тиск на нафту і поліпшити приплив нафти в цьому покладі до експлуатаційної свердловини.

8. **Спостережні свердловини** – слугують для здійснення систематичного контролю за зміною рівня води у свердловині або за зміною тиску рідині або газу в процесі експлуатації нафтогазоносного пласта.

9. **Внутрішньопластові свердловини** – бурять з підземних виробок по пластах з метою їх дегазації і знепилювання вугілля під час його виїмки шляхом нагнітання води через ці свердловини у вугільний пласт для його зволоження.

10. **Допоміжні свердловини** – слугують для вентиляції виробок, прокладки трубопроводу з метою подачі стислого повітря від компресора на земній поверхні до пневмомашин у гірничих виробках, спуску кріпильних лісоматеріалів, а також для гасіння підземних пожеж.

Цільові призначення свердловин можуть об'єднуватися або змінюватися під час бурових робіт. Наприклад, опорна свердловина може об'єднувати цільові призначення пошукової, структурної і параметричної свердловин; пошукова або розвідувальна свердловина на воду, нафту або газ може стати експлуатаційною тощо.

Відповідно до класифікації бурових свердловин за цільовим призначенням існують три різновиди буріння свердловин: розвідувальне, експлуатаційне і технічне.

## 1.5. Способи буріння свердловин

У табл. 1.1 наведена класифікація способів буріння свердловин, в основу якої покладені процеси та способи руйнування гірських порід. Основні ознаки класифікації – засоби і використовувана енергія, за допомогою яких може руйнуватися порода при формуванні стовбура свердловини.

До першого класу відносять широко використовуваний у практиці механічний спосіб буріння, при якому реалізуються механічні процеси руйнування порід, що виникають за рахунок дії силового поля, створюваного ударом, обертанням, вібрацією й осьовим навантаженням або задавлюванням інструменту. Відповідно до цього за характером діючих навантажень можна виділити чотири основних і кілька комбінованих способів руйнування порід.

При **ударному (ударно-поворотному) способі буріння** породи руйнуються шляхом нанесення ударів породоруйнівним інструментом з визначеною силою  $P_d$  і швидкістю  $V$ . Після кожного удару долото повертається на деякий кут без навантаження. У таких умовах реалізуються процеси зминання, дроблення і сколювання породи.

**Обертальний спосіб** здійснюється при обертанні породоруйнівного інструменту, що занурений в гірську породу під дією постійного (статичного) осьового навантаження  $G_0$  і сили різання  $F_p$  (протікають процеси зминання, роздавлювання, сколювання, зрушення, відриву, різання, стирання).

Класифікація способів буріння (за С.С. Сулакшиним)

Способи буріння		Різновиди способів буріння
Клас	Група	
I. Буріння із засто- суванням породоруйнівних інстру- ментів	Механічний	Ударний Обертальний Обертально-ударний Вібраційний Вібраційно-обертальний Задавлюванням інструменту
II. Буріння без по- родоруйнівних ін- струментів	Гідравлічний	Гідромоніторний Гідроімпульсний Гідроударний
	Термічний	Термодинамічний Термостатичний Термоциклічний
	Вибухоударний	Вибухами твердих ВР Вибухами рідких ВР
	Електричний	Електроіскровий або електроімпульсний
	Фізико-хімічний	Руйнування породи розчиненням Руйнування породи плавленням Руйнування породи спалюванням
III. Комбіновані способи буріння	Гідромеханічний	Гідромоніторно-обертовий Гідромоніторно-ерозійний Гідроударно-ерозійний
	Термомеханічний	Термообертовий Обертовотермоелектродуговий Термоелектромагнітообертовий Термоударний
	Вибухомеханічний	Вибухообертовий

**Обертально-ударний спосіб** здійснюється за допомогою спеціального породоруйнівного інструменту шарошкового типу, при обертанні якого зубці шарошок, що перекочуються, наносять удари по вибою, у результаті чого порода руйнується як і при ударному способі за рахунок зминання, дроблення, сколювання й тільки частково за рахунок різання в момент проковзування шарошок.

**Ударно-обертальний спосіб** реалізується шляхом обертання інструменту під дією сили  $F_p$  і занурення його під дією осьового навантаження  $G_0$  і ударів, що наносять за допомогою спеціальних механізмів з визначеною частотою  $\psi$ . При цьому реалізуються процеси зминання, роздавлювання, сколювання, різання і стирання породи.

**Вібраційний спосіб** полягає в зануренні спеціального бурового інструменту в пухку породу під дією змушених високочастотних зворотно-поступальних подовжніх коливань (вібрацій), динамічного  $P_d$  та осьового нава-

нтаження (протікають процеси зминання, переміщення й ущільнення в стінках свердловини елементів породи).

**Вібраційно-обертальний спосіб** полягає в руйнуванні породи під дією сили різання  $F_p$  при обертанні спеціального інструменту, що заглиблюється в породу під дією осьового навантаження  $G_0$  і динамічних високочастотних імпульсних навантажень (вібрацій)  $P_d$ . При цьому реалізуються процеси зминання, роздавлювання, дроблення, сколювання, різання, стирання.

**Спосіб задавлювання** полягає в зануренні породоруйнівного інструменту, що має форму конуса або порожнього циліндра, у м'яку породу під дією осьового навантаження  $G_0$ . Порода у цьому випадку ущільнюється в стінках свердловини (процеси зминання і переміщення маси).

Другий клас включає кілька груп способів буріння, при яких порода руйнується під дією фізичних полів або речовин з використанням різних видів енергії. При реалізації цих способів буріння можуть протікати ті або інші процеси руйнування (плавлення, випарювання, горіння, розчинення).

Способи руйнування, що входять у третій клас, являють собою ту або іншу комбінацію зі способів першого і другого класів.

У практиці буріння геологорозвідувальних свердловин застосовуються поки що тільки механічні способи першого класу.

## **1.6. Етапи спорудження свердловин і загальна схема обертального буріння геологорозвідувальних свердловин з промиванням**

Процес спорудження свердловини включає підготовчий, основний і завершальний етапи.

**Підготовчий етап** включає такі види робіт і операцій:

1. Винесення точки закладення свердловини на місцевість.
2. Планування бурового майданчика.
3. Обладнання циркуляційної системи для промивальної рідини.
4. Установка фундаментів під бурову вишку і верстат.
5. Монтаж вишки, бурової будівлі та устаткування.
6. Підготовка під'їзних шляхів, ліній електропередачі.
7. Перевірка готовності бурової до виконання робіт і прийняття її спеціальною комісією.

Перераховані види робіт виконуються в основному при спорудженні відносно глибоких свердловин з використанням стаціонарних або пересувних бурових установок. При бурінні свердловин самохідними установками на невеликі глибини роботи підготовчого етапу істотно скорочуються.

**Основний етап** включає власне буріння, супровідні операції та інші необхідні види робіт. Буріння здійснюється шляхом чергування рейсів. **Рейс** складається з буріння і супутніх йому операцій: підготовка до рейсу (збирання колонкового снаряда, виконання необхідних вимірів і т.д.), спуск бурового снаряда, доходження до забою, буріння із зупинками на нарощування і перекріплення, заклинювання керна, підйом бурового снаряда і витягання керна.

При бурінні звичайно виконуються додаткові роботи, пов'язані з обслуговуванням свердловини, бурового устаткування та інструменту (кріплення обсадними трубами, боротьба з геологічними ускладненнями, проведення досліджень свердловин, заміна елементів бурового снаряда, профілактичний огляд, змащування і поточний ремонт устаткування).

Крім необхідних робіт, буріння може супроводжуватися непередбаченими витратами часу на простої і ліквідацію аварій.

**Завершальний етап** включає проведення відповідних досліджень у свердловині і вимірів (глибини свердловини, параметрів викривлення), витягання обсадних труб, ліквідаційне тампонування, демонтажні роботи, рекультивацію площі.

Основним способом буріння геологорозвідувальних свердловин є обертальне буріння свердловин із промиванням.

У наміченому для буріння місці монтується бурова установка (рис. 1.2), яка має верстат 8, буровий насос 9, вишку 16, будинок 15, систему відстійників 13, стелажі для інструменту й ін.

При колонковому бурінні як породоруйнівний інструмент використовують бурову коронку 1, різці якої руйнують гірську породу кільцевим вибоєм. При цьому утворюється стовпчик непорушеної породи – керн.

Коронка 1 з'єднана через керновідривач 2 з колонковою трубою 3, що слугує для розміщення керна.

Через перехідник 4 колонкова труба з'єднується з колоною бурильних труб 5 меншого діаметра (рис. 1.2, а).

Колона бурильних труб є довгим валом, який призначений для передачі обертання й осьового навантаження від бурового верстата 8 на поверхні до різців бурової коронки 1, що працює на вибої свердловини.

Бурильна колона складається з окремих труб 5, з'єднаних між собою за допомогою бурових замків 7 і муфт 6 на різі.

Набір технологічного бурового інструменту, що включає коронку, керновідривач, колонкову трубу, перехідник і бурильну колоду, називається **буровим снарядом**.

Верхня бурильна труба, з'єднана з верстатом, називається **ведучою**.

Буровий насос 9 подає промивальну рідину (зазвичай воду або глинистий розчин) через нагнітальний шланг 10, сальник 11 у бурильні труби 5. Сальник 11 слугує для з'єднання нерухомого нагнітального шланга з колоною труб, що обертається.

Після бурильних труб промивальна рідина проходить над вибоєм, охолоджує породоруйнівний інструмент 1, очищує вибій і по кільцевому зазору між колоною бурильних труб і стінками свердловини виносить на поверхню зруйновану породу – буровий шлам. Якщо як промивальну рідину застосовують спеціальний розчин, він одночасно зміцнює стінки свердловини.

Промивальна рідина разом зі шламом протікає через систему жолобів 12 і відстійників 13, у яких шлам осаджується.

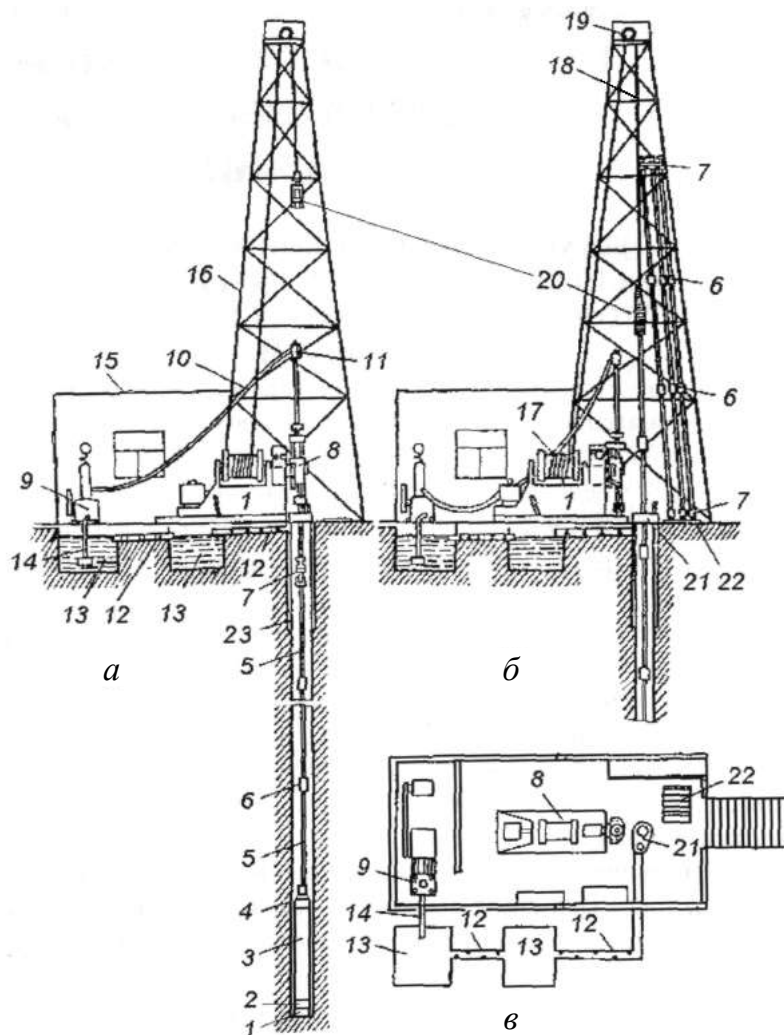


Рис. 1.2. Загальна схема бурової установки:  
 а – при бурінні; б – при підйомі; в – план бурової установки

Очищена рідина засмоктується насосом 9 через усмоктувальний шланг 14 з відстійника 13 і знову направляється до вибою. Таким чином, у процесі буріння здійснюється безперервна замкнута циркуляція промивальної рідини.

При колонковому бурінні заглиблення за один рейс невелике, звичайно не перевищує декількох метрів і обмежується або зносом бурової коронки, або необхідністю витягання керна з колонкової труби.

Для забезпечення заглиблення необхідно з поверхні регулювати процес руйнування породи і винесення породи на поверхню.

**Режимом буріння** називається сполучення параметрів, що характеризують процес роботи породоруйнівного інструменту.

Основні **параметри режиму** колонкового буріння:

- осьове навантаження на породоруйнівний інструмент;
- частота обертання породоруйнівного інструменту;
- кількість і якість промивальної рідини, що подають у свердловину.

По закінченні буріння керн заклинюють у буровій коронці і відривають від вибою за допомогою керновідривача, після чого починають підйом снаряда.

Для підйому від колони відгвинчують ведучу бурильну трубу і буровий верстат разом з нею відсувається від устя свердловини (рис. 1.2, б).

Починається підйом бурового снаряда за допомогою лебідки верстата 17, сталевого каната 18, що проходить через кронблок 19, вишки 16 та елеватора 20, що слугує для захоплення колони.

Для прискорення підйому шляхом скорочення операції з розгвинчування нарізних з'єднань снаряд піднімають не по одній трубі, а свічами, що складаються з декількох бурильних труб.

Свічі з'єднуються між собою замками 7, а бурильні труби у свічі – муфтами 6.

Після підйому на довжину свічі колона закріплюється (підвішується) за допомогою підкладної вилки на труборозгвинчувачі 21, потім піднята свіча відгвинчується від колони.

Відгвинчену свічу встановлюють на підсвічник 22, елеватор 20 від'єднується від верха свічі й опускається вниз. На усті його з'єднують з колоною і знову повторюється підйом снаряда на довжину свічі.

Після підйому на поверхню колонкового набору, що складається з коронки, керновідривача, колонкової труби і перехідника, здійснюється витягання керна з колонкової труби, заміна зношеної бурової коронки.

Потім виконується спуск снаряда в свердловину. Довжину колони при цьому збільшують на величину, необхідну для заглиблення протягом наступного рейсу, шляхом додавання бурильних труб між ведучою трубою і буровим снарядом. Ця операція називається *нарощуванням*.

При бурінні свердловина у верхній частині розрізу перетинає м'які або нестійкі гірські породи (глини, піски, валунно-галькові відклади, зруйновані скельні породи). Для закріплення стінок свердловини інтервал нестійких порід перекривається колоною обсадних труб 23. Обсадними трубами при потребі закріплюються й інтервали свердловини, які залягають на великій глибині.

Метою буріння геологорозвідувальних свердловин є комплексні геологічні дослідження, тому, крім витягання зразків порід, у свердловині проводяться спеціальні роботи: вимірювання її викривлення, гідрогеологічні та геофізичні дослідження (каротаж), випробування стінок свердловини, орієнтування керна.

Ряд робіт здійснюється для забезпечення нормального стану свердловини та якості робіт. Це закріплення нестійких інтервалів шляхом тампонування, скероване буріння шляхом штучного скривлення свердловини, ліквідація виникаючих аварій.

Після виконання свердловиною геологічного завдання роблять ліквідаційне тампонування шляхом заповнення її пластичними твердіючими розчинами на основі цементу з метою охорони надр.

Устаткування і вишку перевозять на нове місце в зібраному або демонтованому вигляді.

## **1.7. Техніко-економічні показники буріння**

Показниками буріння називаються параметри, що характеризують кількість і якість результатів проходки свердловин. Найголовніші з них: швидкість буріння, вартість одного метра пробуреної свердловини, відсоток виходу керна, напрямок стовбура свердловини та ін.

Якість виконання технологічних процесів, пов'язаних з проходкою свердловини, може бути охарактеризована швидкістю буріння. Розрізняють кілька різновидів швидкості – механічна, рейсова, технічна, комерційна і циклова.

**Механічна швидкість буріння:**

$$V_m = \frac{L}{T_{\text{бур}}}, \text{ м/ГОД}, \quad (1.1)$$

де  $L$  – величина поглиблення свердловини за час чистого буріння, м;  $T_{\text{бур}}$  – час чистого буріння (час, протягом якого відбувається руйнування породи вибою), год.

Механічна швидкість – основний показник, що характеризує ефективність застосовуваного способу буріння і породоруйнівного інструменту, а також досконалість бурової установки та технологічного режиму буріння.

**Рейсова швидкість буріння:**

$$V_p = \frac{L_p}{T_{\text{бур}} + T_{\text{сп}}}, \text{ м/ГОД}, \quad (1.2)$$

де  $L_p$  – довжина рейсу, м;  $T_{\text{сп}}$  – час на виконання спуско-підймальних і допоміжних робіт, год.

**Технічна швидкість буріння:**

$$V_t = \frac{L_{\text{св}}}{T_{\text{бур}} + T_{\text{сп}} + T_{\text{дод}}}, \text{ м/ГОД}, \quad (1.3)$$

де  $L_{\text{св}}$  – глибина свердловини, м;  $T_{\text{дод}}$  – тривалість усіх продуктивних додаткових робіт, крім  $T_{\text{бур}}$  і  $T_{\text{сп}}$  (час на кріплення, інклінометрію, випробування, тампонування свердловини, установку фільтра в свердловину на воду), год.

**Комерційна швидкість буріння:**

$$V_k = \frac{L_{\text{св}}}{T_{\text{бур}} + T_{\text{сп}} + T_{\text{дод}} + T_{\text{неп}}}, \text{ м/ГОД}, \quad (1.4)$$

де  $T_{\text{неп}}$  – тривалість непродуктивних витрат часу (зупинки, ремонти, ліквідації аварій), год.

**Циклова швидкість буріння:**

$$V_c = \frac{L_{\text{св}}}{T_{\text{бур}} + T_{\text{сп}} + T_{\text{дод}} + T_{\text{неп}} + T_{\text{вм}}}, \text{ м/ГОД}, \quad (1.5)$$

де  $T_{\text{вм}}$  – тривалість монтажу і демонтажу вишки та бурової установки, витягування обсадних труб і ліквідація свердловин.

## 1.8. Кольська надглибока свердловина

Яскравий приклад того високого рівня, якого досягла техніка і технологія буріння свердловин – буріння Кольської надглибокої свердловини.

Потрібно відзначити, що наші пізнання глибинних областей Землі поки що досить обмежені. Максимальна глибина свердловин на сьогодні складає близько 9–10 км. Таким чином, при радіусі земної кулі 6370 км наше найглибше проникнення в надра Землі поки не перевищує 0,0015 від радіуса.



У науці про Землю подальше вирішення ряду найважливіших геологічних проблем без буріння неможливо. Буріння свердловин глибиною понад 15 км – справа майбутнього.

Одна з таких свердловин глибиною 7300 м була пробурена біля озера Аралсор з метою вивчення геологічних структур Прикаспійської низовини і з'ясування перспектив її нафто- і газоносності.

Друга надглибока свердловина пробурена в районі Баку для вивчення нафтоносності Апшеронського півострова на великих глибинах. З тією же метою в Білорусі пробурена свердловина глибиною 7410 м.

Третя надглибока свердловина СГ-3 була закладена 25 травня 1970 р. у Печенгському рудному районі на Кольському півострові. Цей район багатий великими мідно-нікелевими зрудніннями.

В кристалічних породах фундаменту буріння здійснювали стандартною буровою установкою вантажопідйомністю 200 т турбінним способом. Перший етап буріння на глибині 7263 м був закінчений у квітні 1975 р., тому що глибше бурити цією буровою установкою було неможливо.

Уральський завод важкого машинобудування спроектував і виготовив нову надпотужну бурову установку для буріння свердловини до глибини 15000 м. На цій установці всі трудомісткі операції комплексно-механізовані, а багато які автоматизовані. Під час монтажу нової установки і будівництва комплексу будинків бурили свердловину-дублер, на якій відпрацьовували технологічні операції з новим буровим породоруйнівним інструментом. У 1977 р. закінчився монтаж і випробування нової унікальної установки й почався другий етап буріння. Ця свердловина досягла глибини понад 12000 м і є самою глибшою у світі. Вона також характерна тим, що цілком пройдена у твердих кристалічних породах.

Проведені у свердловині комплексні дослідження істотно змінили уявлення про глибинну будову докембрійських структур Балтійського щита. Уперше виявлені залежності інтенсивності метаморфізму кристалічних порід від глибини їхнього залягання. По свердловині в інтервалі 1600–1800 м установлені численні осередки мідно-нікелевого зрудніння, що суттєво розширює перспективи пошуків мідно-нікелевих руд на великих глибинах.

Подальше поглиблення свердловини здійснювалося турбінним способом на бурильних трубах, виготовлених зі спеціальних алюмінієвих сплавів.

У надглибокій свердловині велися спостереження за температурою. Температура порід до глибини 3000 м піднімалася з градієнтом 1 °С на 100 м, а глибше – із градієнтом 2,5 °С на 100 м. На глибині 10000 м температура порід була 180 °С.

При бурінні свердловини геофізики знайшли на глибині 4500 м стрибкоподібне зменшення щільності гірських порід, швидкостей пружних хвиль, при цьому збільшилася пористість порід. Подібне явище зафіксоване і на межі в найдавнішому архейському шарі на глибині 6800 м. Очікуваний контакт граніту з базальтом (шар Конрада) не зустрінутий до глибини 11700 м.

## 1.9. Буріння свердловин поза Землею

Національним управлінням США з авіації та космонавтики і дослідження космічного простору (НАСА) була розроблена широка програма досліджень, спрямована на вирішення проблеми буріння свердловин і добору проб ґрунту на місячній поверхні. Усі відомі конструкції бурового устаткування розроблені до проектів освоєння Місяця: "Сервейер" і "Аполлон".

Буріння свердловин на місячній поверхні почато з метою добору зразків гірських порід і наступного вивчення їхнього мінералогічного складу, структури, геологічних особливостей, походження, фізичних та механічних властивостей.

Екіпажі космічних кораблів "Аполлон-15" і "Аполлон-17" бурили свердловини буровим верстатом, розробленим фірмою "Блек і Беккер". Цей верстат являє собою ручний електробур з живленням від батареї, розрахованої на 40 хв безперервної роботи. Буріння здійснювалося ударно-обертальним способом із застосуванням тврдосплавного породоруйнівного інструменту діаметром 26,2 мм до глибини 2,8 м. Частота обертання бурового снаряда складала 300 об/хв при 2270 уд/хв. Реактивний крутний момент дорівнює 27,4 Н·м. Маса всього верстата (на Землі) 11,8 кг, осьове навантаження створювалося вагою бура й астронавта.

Буровий верстат складається з корпусу, виготовленого зі сплаву магнію і просоченого для герметичності поліефірною смолою, ударного механізму, фрикційної муфти, шпинделя і бурового снаряда. У середині корпусу, заповненого азотом під тиском 130 кПа, знаходиться електродвигун постійного струму колекторного типу із щітками. Тепло, що виникає при роботі двигуна, через азот передається на стінки корпусу і випромінюється в простір. Ударний механізм кулачкового типу розвиває енергію удару 4,6 Дж. Очищення вибою від шламу здійснюється шнековим транспортером, а нарощування бурового снаряда роблять вручну. Довжина однієї секції дорівнює приблизно 0,7 м. Розрахункова швидкість буріння цим верстатом складала в середньому: 25,4 мм/хв по базальту, 127 мм/хв по пористому базальту, 300–700 мм/хв по породах типу пемзи. Фактична швидкість буріння виявилася менша.

Якщо буріння місячного ґрунту американці робили традиційними способами при значному застосуванні мускульної сили, то буріння місячного ґрунту радянськими буровими установками здійснювалося цілком автоматично. Перший у світовій практиці досвід автоматичного буріння на Місяці був проведений 20 вересня 1970 р., коли радянська автоматична станція "Місяць-16" здійснила м'яку посадку на місячну поверхню в морі Достатку. У результаті багатобічних досліджень для станції "Місяць-16" був створений спеціальний буровий верстат із гвинтовою подачею і рухливим обертачем (рис. 1.3). Верстат приводиться в дію від двигуна постійного струму. Конструкторами цього бурового верстата було вирішене найскладніше питання відносно відбору керна як сипучих, так і монолітних порід, для чого вони розробили оригінальний буровий снаряд. Загальна маса бурового устаткування не перевищувала 15 кг, а маса верстата складала 11,8 кг.

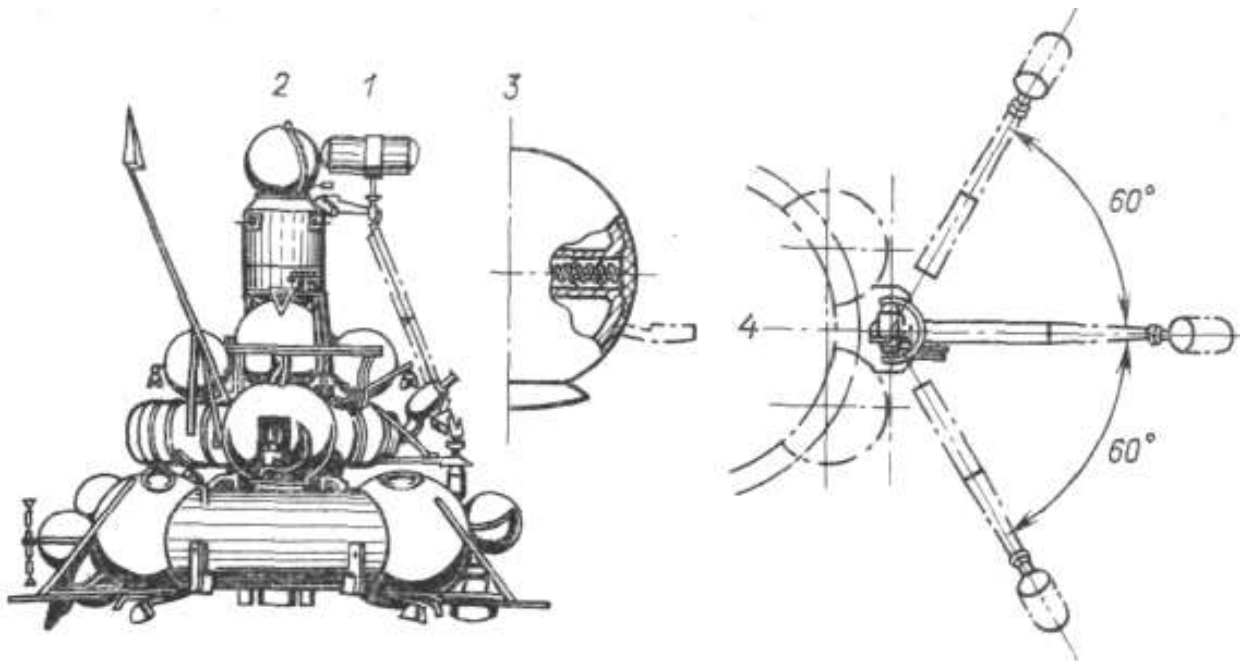


Рис. 1.3. Загальний вигляд автоматичних міжпланетних станцій "Місяць-16" і "Місяць-20": 1 – буровий пристрій; 2 – апарат, що повертається на Землю; 3 – схема герметизації ґрунту з бурильною трубою; 4 – можливі переміщення штанги з буровим пристроєм у горизонтальній площині

На Місяці було проведено неглибоке колонкове буріння (35 см), при цьому отриманий практично 100 %-вий вихід керна. Зразки місячного ґрунту були автоматично поміщені в герметичний контейнер, який за командою з Центра керування польотами повернуто на Землю. Досвід буріння на Місяці станцією "Місяць-16" був повторений станцією "Місяць-20". Ці два космічних експерименти заклали основу для подальших робіт у цьому напрямку.

9 серпня 1976 р. стартувала автоматична станція "Місяць-24", оснащена буровим пристроєм, що забезпечував буріння місячного ґрунту на глибину більш ніж 2 м, і спеціальним контейнером для доставки місячного керна на землю. Станція "Місяць-24" здійснила м'яку посадку в морі Криз.

Перед творцями пристрою для буріння місячного ґрунту були поставлені досить складні завдання: сконструювати автоматичний бур, здатний при досить обмеженій масі, малих витратах енергії провести буріння місячного ґрунту в автоматичному режимі; узяти повноцінний kern; автоматично укласти kern у послідовному порядку в герметичну капсулу, що повертається на Землю.

Поверхня Місяця покрита роздробленою і зміненою під дією космосу (перепади високих і низьких температур) породою – реголітом. Фізико-механічні властивості реголіту досить різноманітні – це може бути пухкий і навіть сипучий ґрунт із включеннями твердих кусків, але можна зустрінути прошарки монолітної твердої корінної породи. Тому буріння на Місяці – завдання дуже складне.

На підставі проведених всебічних експериментальних і теоретичних досліджень був розроблений породоруйнівний інструмент (коронка), що може вибурити kern діаметром 8 мм і здатний відбирати і зберігати його навіть при перебурюванні пухких та пилюватих ґрунтів.

При створенні бурової установки й інструменту була використана широка гама титанових і алюмінієвих сплавів, високоміцних легованих сталей, різних пластиків і гуми. Деякі композиційні матеріали створено вперше. Розроблений і виготовлений спеціальний електродвигун для приводу бурової установки, здатний працювати в безповітряному просторі на енергії, що виробляє сонячна станція.

Були прийняті такі способи буріння: для м'яких порід – обертальний, для більш міцних – ударно-обертальний.

Перехід з одного способу буріння на інший здійснювався автоматично залежно від опору ґрунту дії коронки. Загальний робочий хід бурової коронки з кернаприймачем – 2,6 м. Однак наявність зазору між верхнім (вихідним) положенням і поверхнею місячного ґрунту знижує глибину свердловини до 2 м. На Землі були розроблені і ретельно відібрані спеціальні пристрої та механізми для відбору довгого, нерівномірного за твердістю і ступенем розпушення керна досить малого діаметра (8 мм) з наступним його автоматичним укладанням у невеликий герметичний контейнер. Загальний вид бура поданий на рис. 1.4.

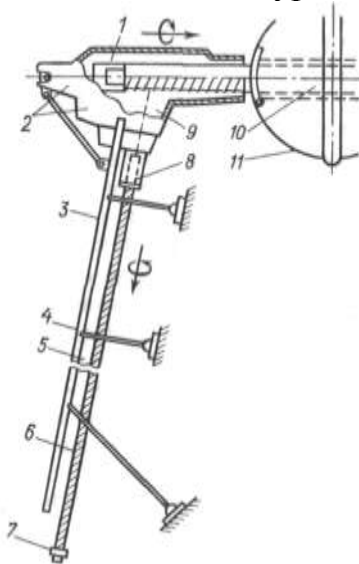


Рис. 1.4. Схема бурового пристрою станції "Місяць-24":

1 – барабан зі спіральним жолобом; 2 – корпус і приводи; 3 – напрямні; 4, 6 – стояки;  
5 – бурильна шнекова труба; 7 – коронка; 8 – обертач; 9 – гнучка тяга; 10 – контейнер;  
11 – апарат, що повертається на Землю

18 серпня 1976 р. бурова установка станції "Місяць-24" почала буріння. На початку, через те що ґрунт був м'який, буріння велося на обертальному режимі. Опір ґрунту на відмітці близько 800 мм трохи збільшився, але буріння обертальним способом продовжувалося. На глибині близько 1200 мм опір місячного ґрунту швидко збільшився, навантаження на привід бурового автомата зросли і він автоматично перевів буріння на ударно-обертальний режим. З глибини від 600 до 2200 мм обертальний режим буріння чергувався з ударно-обертальним.

Потім коронка заглиблювалася в щільні, більш монолітні пласти. Буріння автоматично було зупинено на відмітці 2600 мм. Після цього буровий снаряд піднявся у верхнє положення, а кернавий матеріал довжиною близько 2 м спе-

ціальними механізмами був переміщений у контейнер (капсулу) без порушення послідовності пластів.

Буріння проводили під кутом 30° до місячної вертикалі, тобто свердловина була похилою. Вихід керна склав 71 %. Після закінчення буріння включився зворотний хід механізму. Приймальний барабан був зафіксований напроти приймального вікна апарата, що повертається. Потім уключили подавальний механізм, керна в еластичному ґрунтоносі був покладений у спіральні жолоби горизонтально обертового барабана. У процесі вкладення барабан переміщався вперед до вікна на величину кроку намотування за кожен оберт. Роз'єднувальний замок від'єднав привід від барабана, пружина завантажила барабан у контейнер апарата, що повертається, а піропатрони відстрілили трос механізму подачі й деталі верхнього кріплення. Потім буровий пристрій відкинувся убік і залишився на посадковому блоці. Апарат, що повертається, стартував для зворотного польоту. Так місячний ґрунт був доставлений на Землю.

### **Висновок**

У цьому розділі коротко висвітлена історія та найсучасніші досягнення у галузі буріння свердловин; розглянуті елементи і параметри свердловин, класифікація свердловин за призначенням, способи буріння й етапи спорудження свердловин; наведені техніко-економічні показники і методика визначення швидкості буріння.

### **Контрольні питання**

1. Роль буріння в геологорозвідувальній справі.
2. Де можна бурити свердловини?
3. Які переваги буріння свердловин перед проведенням гірничих виробок?
4. Недоліки свердловин.
5. Коли зародилося буріння?
6. Визначення свердловини.
7. Елементи свердловини.
8. Класифікація свердловин за призначенням.
9. Які свердловини належать до геологорозвідувальних?
10. Які свердловини належать до експлуатаційних?
11. Технічні свердловини.
12. Основні операції обертового буріння.
13. Параметри режиму буріння свердловин.
14. Перелічіть основні способи буріння свердловин.
15. Механізм руйнування породи при ударному способі буріння.
16. Механізм руйнування породи при обертовому способі буріння.
17. Механізм руйнування породи при вібраційному способі буріння.
18. Які основні операції обертового способу буріння?
19. Що включає технологічний буровий інструмент?
20. Перелічіть основні показники буріння.
21. Що таке рейсова швидкість буріння?
22. Що таке технічна швидкість буріння?
23. Розкажіть про найглибші свердловини СНД.
24. Де, ким і на яку глибину пробурені свердловини поза Землею?
25. Який спосіб буріння й інструмент застосовувалися для буріння свердловин поза Землею?