

*В. С. Войтенко, В. Г. Вітрик,
Р. С. Яремійчук, Я. С. Яремійчук*

ТЕХНОЛОГІЯ І ТЕХНІКА БУРІННЯ

**Узагальнююча
довідникова книга**



УДК 622.25

В. С. ВОЙТЕНКО, В. Г. ВІТРИК, Р. С. ЯРЕМІЙЧУК, Я. С. ЯРЕМІЙЧУК,

Технологія і техніка буріння: узагальнююча довідникова книга. –

Львів: Центр Європи, 2012. – 708 с.

Книга призначена для студентів вищих навчальних закладів, що навчаються за спеціальностями «Буріння свердловин», «Технологія і техніка розвідки й розробки родовищ корисних копалин», «Технологія геологічної розвідки», «Гірнична справа», і для фахівців за всіма напрямками підготовки і перепідготовки гірничих інженерів, інженерів-буровиків.

Редактор: Аліса Муратова

ISBN 979-966-964-000-5

© Войтенко В. С., Вітрик В. Г.,
Яремійчук Р. С., Яремійчук Я. С., 2012
© Видавництво “Центр Європи”, 2012

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	8
------------------------	---

Частина I. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ

1.1. Коротка довідка про історію розвитку бурових робіт	10
1.2. Основні поняття, терміни й уявлення.....	15
1.3. Призначення свердловин.....	25
1.4. Способи руйнування гірських порід і класифікація технологій буріння.....	27
1.5. Стандартна схема технологічного процесу обертального буріння.....	39

Частина II. БУРОВІ УСТАНОВКИ І ЇХ СИЛОВІ ПРИВОДИ

2.1. Бурові установки	42
2.1.1. Загальні відомості.....	42
2.1.2. Вибір бурових установок	42
2.1.2.1. Розрахунок витрат потужності на процес буріння верстатами шарошкового буріння	43
2.1.2.2. Розрахунок витрат потужності на процес буріння установками шнекового буріння.....	45
2.1.2.3. Розрахунок витрат потужності на процес буріння установками ударно-канатного буріння.....	45
2.1.2.4. Розрахунок витрат потужності на процес буріння установками колонкового буріння.....	46
2.1.2.5. Розрахунок потужності, що витрачається на підйом колони труб	49
2.1.2.6. Розрахунок витрат потужності на процес буріння установками глибокого буріння.....	50
2.1.3. Ручні (переносні) бурові верстати і комплекси	50
2.1.4. Бурильно-кранові машини	53
2.1.5. Бурові установки для буріння інженерно-геологічних свердловин.....	59
2.1.6. Пальонабивні бурові установки	67
2.1.7. Бурові верстати, які застосовуються при розробці родовищ твердих корисних копалини.....	69
2.1.8. Бурові установки ударно-канатного буріння	75
2.1.9. Бурові установки шнекового буріння	76
2.1.10. Бурові установки комбінованого буріння.....	78
2.1.11. Бурові установки низькообертального буріння	107
2.1.12. Бурові установки високообертального буріння	115
2.1.13. Бурові установки для буріння глибоких свердловин	130
2.1.14. Основні параметри бурових установок	132
2.1.15. Короткі технічні характеристики наземних споруд і бурового обладнання російського виробництва	153
2.1.16. Короткі характеристики бурового обладнання деяких зарубіжних фірм.....	155
2.1.17. Бурові щогли й бурові вишки. Вибір вишки за вертикальними навантаженнями	167
2.1.18. Морські бурові установки.....	169
2.1.19. Бурові установки для буріння гірничих виробок	174
2.1.20. Бурові установки для роботи з колоною гнучких труб (колтубінгові установки)	178
2.2. Силові приводи бурових установок.....	184

Частина III. ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПРОЦЕС БУРІННЯ, І ОСНОВНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ЇХ РУЙНУВАННЯ

3.1. Загальні відомості про гірські породи.....	189
3.1.1. Поняття «Гірська порода».....	189
3.1.2. Склад геологічних гірських порід.....	192
3.1.3. Структура і текстура гірських порід	194
3.1.4. Неоднорідність гірських порід	197
3.1.5. Сили зчеплення гірських порід	198
3.1.6. Параметри стану гірських порід	200
3.1.7. Параметри, що характеризують переривчастість складу скелету гірської породи	203

3.1.8. Вологоємність, природна вологість і флюїдонасиченість гірських порід.....	20
3.1.9. Проникність і здатність гірських порід поглинати промивальну рідину.....	20
3.1.10. Енергетика вологи в системі «свердловина–гірський масив».....	20
3.1.11. Дія рідин на гірські породи.....	21
3.1.12. Класифікація гірських порід за ступенем зв'язності, ступенем стійкості і гранулометричному складу.....	21
3.2. Основні фізико-механічні і технологічні властивості гірських порід, що впливають на їх буримість.....	21
3.2.1. Загальні уявлення.....	21
3.2.2. Пружні властивості гірських порід.....	21
3.2.3. Пластичність і крихкість гірських порід.....	22
3.2.4. Міцність і твердість гірських порід.....	22
3.2.5. Теплові властивості гірських порід.....	23
3.2.6. Абразивна здатність гірських порід.....	23
3.2.7. Буримість гірських порід.....	24
3.2.8. Анізотропія технологічних властивостей гірських порід.....	24
3.2.9. Тиск у стовбурі свердловини, що буриться.....	24
3.3. Основні закономірності руйнування гірських порід.....	24
3.3.1. Загальні відомості.....	24
3.3.2. Руйнування гірських порід при бурінні.....	25
3.3.3. Використання лабораторних даних щодо механічних властивостей гірських порід в практиці буріння.....	26

Частина IV. ТЕХНОЛОГІЯ БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН

4.1. Основні технологічні процеси і способи буріння свердловин.....	26
4.1.1. Загальні технологічні процеси.....	26
4.1.2. Результуючі (індивідуальні) технологічні процеси.....	26
4.1.3. Способи буріння свердловин.....	26
4.1.4. Види буріння.....	27
4.2. Проектування конструкцій бурових свердловин.....	27
4.2.1. Методика проектування конструкцій розвідувальних свердловин на тверді корисні копалини.....	28
4.2.2. Методика проектування конструкцій експлуатаційних свердловин на нафту і газ.....	28
4.2.3. Методика проектування експлуатаційних геотехнологічних свердловин.....	29
4.2.3.1. Конструкція експлуатаційних свердловин для підземного вилугування (ПВ) металів.....	29
4.2.3.2. Конструкція свердловин для гідровидобутку (СГВ) корисних копалин.....	29
4.2.3.3. Конструкція свердловин для підземного розчинення солей (ПРС).....	29
4.2.3.4. Конструкція свердловин для підземної виплавки сірки (ПВС).....	29
4.2.4. Методика проектування конструкцій експлуатаційних свердловин на воду.....	30
4.2.4.1. Безфільтрові свердловини.....	30
4.2.4.2. Свердловини, обладнані фільтрами.....	30
4.2.4.3. Конструкція свердловин при обертальному бурінні з прямою промивкою.....	30
4.2.4.4. Конструкція свердловин при обертальному бурінні зі зворотною промивкою.....	30
4.2.4.5. Конструкція свердловин при ударно-канатному бурінні.....	30
4.3. Технологічне обладнання для буріння свердловин.....	30
4.3.1. Ротори.....	30
4.3.2. Вертлюги, бурові шланги і сальники.....	30
4.3.3. Бурові насоси, їх обв'язування, обладнання напірної лінії, розрахунок продуктивності бурового насоса.....	31
4.3.4. Турбобури, РТБ і КТД.....	31
4.3.5. Гвинтові вибійні двигуни.....	32
4.3.6. Електробури.....	33
4.3.7. Пневмо- і гідродударники.....	33
4.4. Породоруйнівний інструмент для буріння глибоких експлуатаційних нафтогазових і пошуково-розвідувальних свердловин.....	34
4.4.1. Класифікація породоруйнівних інструментів.....	34

4.4.2. Долота ріжучо-сколюючої дії	342
4.4.3. Долота стираючо-ріжучої дії з твердосплавним озброєнням	344
4.4.4. Одношарошкові долота	346
4.4.5. Стираючо-ріжучі долота, що оснащені природними і штучними алмазами	347
4.4.6. Долота, оснащені алмазотвердосплавними пластинками (АТП) і різцями (АТР)	350
4.4.7. Долота, оснащені елементами озброєння з надтвердих матеріалів (долота ІСМ)	352
4.4.8. Шарошкові долота подрібнюючо-сколюючої дії	353
4.4.8.1. Опори шарошкових доліт	354
4.4.8.2. Системи промивання доліт подрібнюючо-сколюючої дії	358
4.4.8.3. Розміри і шифр шарошкових доліт	360
4.4.8.4. Ознаки відмови доліт	361
4.4.9. Колонкові долота і допоміжний інструмент	363
4.4.9.1. Мета і особливості руйнування гірських порід кільцевим вибоєм	363
4.4.9.2. Основні схеми колонкових доліт і конструктивні особливості керноприймальних пристроїв	364
4.4.9.3. Бурильні головки	366
4.4.9.4. Чинники, що впливають на повноту відбирання керна. Класифікація гірських порід за важкістю відбирання керна	369
4.4.9.5. Допоміжний породоруйнівний інструмент	371
4.4.9.6. Інструмент і пристрій для ударно-канатного буріння	373
4.4.9.7. Техніко-економічні показники роботи долота	374
4.5. Бурильна колона	375
4.5.1. Загальні положення	375
4.5.2. Конструкція бурильної колони	376
4.5.3. Умови роботи і схеми розрахунку бурильної колони	386
4.5.4. Перевірочний розрахунок бурильної колони за В.П. Зіненко	396
4.5.5. Експлуатація бурильної колони	405
4.6. Режими буріння	409
4.6.1. Загальні положення	409
4.6.2. Вплив режиму буріння на кількісні і якісні показники буріння	410
4.6.3. Вибір способу буріння	412
4.6.4. Раціональне відпрацювання доліт	413
4.6.5. Розробка оптимальних параметрів режиму буріння	416
4.6.6. Методика визначення оптимальних параметрів режиму буріння для певного типу бурової установки	419
4.6.7. Методика визначення оптимальних параметрів режиму буріння для наявної бурової установки	420
4.6.8. Вибір оптимальних параметрів режиму буріння на основі узагальнення передового досвіду бурових бригад	423
4.6.9. Щодо параметрів режиму буріння при боротьбі з різними ускладненнями, що зустрічаються в процесі буріння свердловин	424
4.6.10. Щодо параметрів режиму буріння при відборі керна	425
4.6.11. Режими при шнековому бурінні	425
4.6.12. Режими при ударно-канатному бурінні	426
4.6.13. Режими при обертальному колонковому і безкерновому бурінні	428
4.6.14. Режими буріння, застосовувані в США	436
4.6.15. Контроль за параметрами режиму буріння	437
4.6.16. Подача інструменту	442
4.7. Викривлення свердловин і буріння похило-спрямованих стовбурів	445
4.7.1. Попередження викривлень глибоких свердловин	445
4.7.2. Буріння похило-спрямованих свердловин	450
4.7.3. Розрахунок і побудова профілю похилої свердловини	461
4.7.4. Кушове буріння свердловин	468
4.7.5. Буріння багатовибійних (багатостовбурних) горизонтально розгалужених і горизонтальних свердловин	470

4.7.6. Особливості технології і технічні засоби управління тракторією стовбура геологорозвідувальних свердловин	472
4.8. Промивання свердловин	476
4.8.1 Призначення та функції бурових промивних рідин	477
4.8.2 Глинистий розчин як колоїдно-суспензійна система	479
4.8.3 Контроль якості й технологічних властивостей бурових промивних рідин	483
4.8.4 Класифікація сучасних бурових промивних рідин	492
4.8.5. Бурові промивні рідини на водній основі	493
4.8.5.1 Диспергуючі бурові промивні рідини	494
4.8.5.2 Недиспергуючі бурові промивні рідини	497
4.8.5.2.1 Інгібуючі бурові промивні рідини	498
4.8.5.3. Полімерглинисті і безглинисті розчини	502
4.8.5.4. Обваженні глинисті розчини	504
4.8.6. Мінералізовані системи розчинів	504
4.8.7. Використання води в якості промивної рідини	505
4.8.8. Буріння свердловин з очищенням вибоєм повітрям або газом.	506
4.8.9 Бурові промивні рідини на вуглеводневій основі	509
4.8.9.1 Характеристика розчину на основі мінерального масла	509
4.8.10. Вибір типу бурової промивної рідини	510
4.8.11 Спрощений гідравлічний розрахунок промивання свердловини	512
4.8.12 Методи та обладнання для очищення бурових промивних рідин	517
4.8.12.1 Контроль вмісту твердої фази	517
4.8.12.2 Методи регулювання вмісту твердої фази	518
4.8.13. Форма організації робіт по приготуванню і використанню БПР	527
4.9. Кріплення свердловин	529
4.9.1. Загальні поняття і уявлення	529
4.9.2. Обсадні труби	532
4.9.3. Пристрої і пристосування для оснащення обсадних колон	533
4.9.4. Стандартний розрахунок колони обсадних труб	539
4.9.4.1. Навантаження, що діють на обсадні труби при спуску і під час експлуатації свердловини	539
4.9.4.2. Методика розрахунку рівномірних колон обсадних труб	540
4.9.4.3. Формули для розрахунку колон обсадних труб	549
4.9.5. Спрощений розрахунок обсадних і насосно-компресорних труб	552
4.9.6. Спуск обсадної колони у свердловину	553
4.9.7. Цементування свердловин	557
4.9.8. Тампонажні матеріали і обладнання для цементування свердловин	564
4.9.9. Стандартний розрахунок цементування свердловин	568
4.9.9.1. Розрахунок одноступінчатого цементування	568
4.9.9.2. Визначення необхідної кількості цементувальних агрегатів і цементозмішувальних машин	576
4.9.9.3. Визначення оптимальної висоти установки муфти для двоступінчатого цементування	577
4.9.10. Спрощений розрахунок цементування	581
4.9.11. Підготовчі роботи і процес цементування	582
4.9.12. Завершальні роботи і перевірка результатів цементування свердловин	584
4.10. Розкриття, випробування і освоєння продуктивних пластів	586
4.10.1. Загальні поняття і уявлення	586
4.10.2. Розкриття і випробування нафтонасичених пластів	588
4.10.3. Розкриття водоносних пластів	591
4.10.4. Способи освоєння (декольматажу) і їх параметри	592
4.10.4.1. Гідродинамічні способи декольматажу привибійної зони бурових свердловин	593
4.10.4.2. Гідрофізичні способи декольматажу привибійної зони бурових свердловин	598
4.10.4.3. Хімічні способи декольматажу привибійної зони бурових свердловин	600
4.10.4.4. Комбіновані способи декольматажу привибійної зони бурових свердловин.	601

4.10.4.5. Варіанти оцінки ефективності способів декольматажу	602
4.11. Ускладнення в процесі буріння свердловин	604
4.11.1. Загальні положення	604
4.11.2. Ускладнення, обумовлені нестійкістю гірських порід у стінках свердловини	605
4.11.2.1. Класифікація порушень цілісності стінок свердловини	605
4.11.2.2. Гіпотеза проявів гірського тиску у свердловині	608
4.11.2.3. Прогноз зміщення стінок свердловини: визначення розмірів граничної області. Розрахунок швидкості звуження стовбура свердловини	613
4.11.2.4. Визначення необхідної густини бурового розчину	616
4.11.2.5. Оцінка розміщувальної дії бурового розчину	618
4.11.2.6. Перевірка опірності обсадних труб змінанню гірським тиском	621
4.11.3. Попередження поглинань бурового розчину й боротьба з ними	623
4.11.4. Попередження газових, нафтових і водяних проявів та боротьба з ними	627
4.11.5. Особливості проводки свердловин в умовах сірчановодневої агресії	634
4.11.6. Особливості при бурінні свердловин у багатолітньомерзлих породах	636
4.12. Аварії в бурінні та їх ліквідація	638
4.12.1. Причини і види аварій	638
4.12.2. Заходи запобігання основним видам аварій	639
4.12.3. Ліквідація прихоплень	642
4.12.4. Ловильний інструмент і робота з ним	644
4.12.5. Організація робіт при аварії	650
4.13. Особливості буріння свердловин на морі	651
4.13.1. Загальні положення	651
4.13.2. Підводне устьове обладнання	651
4.13.3. Деякі особливості буріння морських нафтових і газових свердловин	653
4.13.4. Обслуговування робіт в морі	653
4.14. Особливості колтубінгового буріння	654
4.14.1. Проведення бурових робіт	654
4.14.2. Принципова схема розрахунку параметрів колони гнучких труб при бурінні	656
4.15. Будівництво вертикальних гірських виробок спеціальними способами	660
4.15.1. Загальні поняття	660
4.15.2. Буріння шахтних стовбурів	663
4.15.3. Буріння свердловини великого діаметру для створення допоміжних стовбурів	671
4.15.4. Буріння заморожуючих свердловин	673

Частина V. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ БУРІННЯ. ДОКУМЕНТАЦІЯ. ОРГАНІЗАЦІЯ РОБІТ І ЛІКВІДАЦІЯ СВЕРДЛОВИН

5.1. Техніко-економічні показники	679
5.1.1. Показники, що відображають ефективність буріння свердловини	679
5.1.2. Баланс часу	682
5.1.3. Собівартість буріння свердловини	683
5.2. Документація	684
5.2.1. Первинна документація у бурінні	684
5.2.2. Технічний проект будівництва свердловини	684
5.2.3. Цикл будівництва свердловини	686
5.3. Організація робіт і ліквідація свердловин	686
5.3.1. Організація основних і допоміжних технологічних процесів	686
5.3.2. Ліквідація свердловин	689

ДОДАТКИ

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ, ЩО РЕКОМЕНДУЄТЬСЯ ДЛЯ ДОДАТКОВОГО ВИВЧЕННЯ КУРСУ708

ПЕРЕДМОВА

Метою цієї книги є ознайомлення студентів та спеціалістів з теорією, технічними засобами і технологіями буріння свердловин різного призначення при розробці родовищ корисних копалин.

При вивченні цієї дисципліни використовуються знання, що ґрунтуються на таких науках, як фізика, хімія, математика, гідравліка, теплотехніка, електротехніка, опір матеріалів, гірничі машини й обладнання, загальна геологія, геофізика, мінералогія та петрографія.

В результаті вивчення цієї дисципліни треба знати:

- теоретичні основи і практику буріння свердловин різного призначення;
- історію розвитку бурових робіт, призначення свердловин, терміни і поняття, що є загальноприйнятими в буровій справі;
- технічні характеристики і цільове призначення бурових установок, обладнання і технологічних інструментів, що використовуються при бурінні свердловин;
- гірські породи й їх параметри, що впливають на процес буріння, та існуючі схеми класифікації способів руйнування гірських порід і технології буріння;
- основні технологічні процеси, способи буріння і методи проектування конструкцій свердловин різного призначення;
- теоретичні основи і методи розрахунку режимів буріння, розрахунку бурильних та обсадних колон, промивання свердловин і цементування, вибору і раціонального відпрацювання породоруйнівного інструменту;
- способи боротьби з довільним викривленням стовбурів свердловин, методи розрахунку профілів похило-спрямованих свердловин і технології буріння бічних стовбурів, горизонтально розгалужених, кушових, багатовибійних і горизонтальних свердловин;
- технології розкриття, випробування й освоєння продуктивних пластів;
- основні причини ускладнень і аварій в бурінні, методи їх попередження і ліквідації;

фахівець повинен уміти:

- вибирати способи буріння, бурове обладнання, технологічний інструмент, оптимальні параметри режиму буріння, типи бурових і цементних розчинів;
- проектувати раціональні конструкції свердловин різного призначення; виконувати інженерні розрахунки всіх технологічних процесів буріння свердловини;
- вибирати ефективні способи розкриття, випробування і освоєння продуктивних пластів, попередження і ліквідації аварій і ускладнень;
- складати (розробляти) технічні проекти на спорудження свердловин.

Зміст і цільові установки даної книги враховують характерні особливості не тільки аналогічних дисциплін гірничих вищих навчальних закладів, але і специфіку буріння глибоких геологорозвідувальних і нафтогазових свердловин. У книзі описується спорудження свердловин, які за технікою і технологією проведення бурових робіт, здавалося б, кардинально відрізняються один від одного. Це лише в минулому було так, що інженер, зайнятий на підземних гірських роботах

на бурінні вибухових свердловин (шпурів), буровик на інженерно-геологічних роботах і нафтогазорозвідник – випускники Вищих навчальних закладів (ВНЗ), навряд чи б змогли зрозуміти один одного. Проте життя встановлювало свої правила, і за короткий проміжок часу вже траплялись випадки, коли буровик-нафтовик успішно працював на колонковому геологорозвідувальному бурінні, а гірничий інженер за фахом «технологія і техніка розвідки родовищ корисних копалин» – на підземних ремонтах експлуатаційного фонду свердловин нафтогазовидобувного управління. Стосовно економічної і соціальної ситуації, що склалася сьогодні в Україні, завдання полягає в підготовці творчо мислячих молодих людей, що володіють базовими знаннями з буріння свердловин будь-якого призначення й умінням не тільки ними оперувати, але й поповнювати і удосконалювати, застосовуючи на практиці.

Книга укладена, в основному, за матеріалами робіт таких науковців і фахівців в галузі буріння і гірничої справи, як Н.І. Шацов, Л.О. Шрейнер, В.С. Федоров, Б.В. Байдюк, М.С. Тимофеев, С.М. Кулієв, Р.А. Іоаннесян, Р.І. Шищенко, Л.С. Глікман, Л.В. Балицький, А.І. Булатов, А.У. Маккрей, Ф.У. Коле, С.С. Сулакшин, Б.І. Воздвиженський, І.П. Мельничук, Ю.А. Пешалов, Е.О. Мінделі, К.І. Іванов, В.А. Латишев, В.Д. Андреев, А.І. Співак, А.Н. Попов, Ю.В. Вадецький, Ю.В. Михайлов, В.Ф. Носьков, В.Я. Прушак, Н.І. Сердюк, В.В. Куліков, А.А. Тунгусов, С.І. Мінаков, І.В. Сауков, А.Е. Кравченко, Б.В. Шибанов, В.Г. Манчуков, Ю.Н. Ермаков, В.Ю. Бебенін, В.М. Мітровка, М.Г. Лисов, В.М. Шенберг, Г.П. Зозуля, М.Г. Гейхман, І.С. Матієшин, А.В. Кустішев, Г.Г. Семак, В.С. Войтенко, А.М. Кирєєв, А.Д. Смичник, С.Ф. Шемет, В.Г. Ясов, Я.С. Коцкулич, М.А. Мислюк, Р.С. Яремійчук. Ці роботи охоплюють різносторонні галузі теоретичного обґрунтування і виробництва бурових робіт і практично весь спектр спорудження свердловин, як за глибинами, так і за цільовим призначенням.

В книзі використані також матеріали з п'ятитомного довідника «Буріння свердловин» (Мислюк М.А., Рибчич І.Й., Яремійчук Р.С.).

Частина V цієї книги виконана спільно В.С. Войтенко, І.І. Шваченко та С.В. Кривулею.

Автори висловлюють щире подяку С.В. Кривулі й І.І. Шваченку за допомогу в перекладі з російської мови деяких частин цієї книги та упорядкування її змісту.