

Department of education and science youth and sports of Ukraine

National Mining University

M.A. Dudlia, L.N. Shirin, E.A. Fedorenko

PROCESSES OF UNDERGROUND GAS STORAGE

Approved by the Ministry of Education and Science youth and sports of
Ukraine as a textbook (course book) for educational institutions

Dnipropetrovsk
NMU
2012

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»

М.А. Дудля, Л.Н. Ширін, Е.А. Федоренко

ПРОЦЕСИ ПІДЗЕМНОГО ЗБЕРІГАННЯ ГАЗУ

Затверджено Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України
як підручник для студентів вищих навчальних закладів

Дніпропетровськ
ДВНЗ «НГУ»
2012

УДК 622.691(075.8)
ББК 33.362:30.3я73
Д 81

Затверджено Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України як підручник для студентів вищих навчальних закладів напряму підготовки 050301 Гірництво (лист №)

Рецензенти:

К.К. Софійський, д-р техн. наук, професор, завідуючий відділом Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Б.В. Бокій, д-р техн. наук, заступник генерального директора АП «Шахта ім. А.Ф. Засядько»

С.Д. Павлов, канд. геол.-мінер. наук, заступник директора інституту Укр НДІ газу

Дудля М.А., Ширін Л.Н., Федоренко Е.А.

Д81 Процеси підземного зберігання газу [Текст]: підручник/ М.А. Дудля, Л.М. Ширін, Е.А. Федоренко. – Д.: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2012. – 412 с.

ISBN

Розглянуто історичний розвиток мережі газосховищ в Україні та за кордоном, фізико-хімічні властивості природних газів, процеси підземного зберігання та транспортування газу, технологічні особливості та техногенні зміни при підземному зберіганні газу, а також правила безпеки при експлуатації підземних сховищ газу.

Для студентів вищих навчальних закладів спеціальностей з напряму підготовки 050301 Гірництво. Може бути корисним для наукових та інженерно – технічних працівників гірничої і газової промисловості.

УДК 622.691(075.8)
ББК 33.362:30.3я73

© Дудля М.А., Ширін Л.М.,
Федоренко Е.А., 2012
©ДВНЗ «Національний гірничий
університет», 2012

ISBN

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	9
ПЕРЕДМОВА.....	12

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДЗЕМНЕ ЗБЕРІГАННЯ ГАЗУ.....

14

1.1 Основні цілі підземного зберігання газу.....	14
1.2 Історичний розвиток мережі газосховищ за кордоном.....	21
1.3 Розвиток підземного зберігання газу в Україні.....	28
1.4 Особливості створення й експлуатації підземних сховищ газу у виснажених родовищах Прикарпаття.....	37
1.5 Основні терміни та поняття.....	40
<i>Питання для контролю знань та обговорення.....</i>	<i>48</i>

РОЗДІЛ 2. ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПРИРОДНИХ ГАЗІВ.....

49

2.1 Походження, склад і класифікація природних газів.....	49
2.1.1 Форми перебування газів у вугленосних покладах.....	55
2.1.2 Колекторні властивості порід вугленосної товщі.....	55
2.1.3 Геологічні закономірності розподілу метану у вугленосній товщі.....	56
2.1.4 Вплив геологічних факторів на розподіл газів у вугленосних товщах.....	58
2.1.5 Методи вивчення газоносності вугільних родовищ.....	59
2.1.6 Облік ресурсів вуглеводневих газів вугільних родовищ..	60
2.2 Основні параметри газів.....	61
2.3 Термодинамічні властивості газів.....	75
2.4 Токсичні і теплові властивості газів.....	79
<i>Питання для контролю знань та обговорення.....</i>	<i>81</i>

РОЗДІЛ 3. ПІДГОТОВКА ГАЗУ ДО ТРАНСПОРТУВАННЯ.....

82

3.1 Очищення газу.....	82
3.1.1 Показники оцінки якості газу.....	82
3.1.2 Джерела забруднення магістральних газопроводів.....	85

3.1.3	Методи очищення газу.....	86
3.1.4	Очищення газу від сірководню і вуглекислоти.....	87
3.2	Пиловловлювачі.....	90
3.2.1	Конструкції пиловловлювачів.....	90
3.2.2	Технологічний розрахунок масляного і вертикального пиловловлювачів.....	98
3.2.3	Вибір циклонного пиловловлювача.....	105
3.3	Осушення газу і боротьба з гідратуванням.....	113
3.3.1	Загальні відомості про гідрати.....	113
3.3.2	Установки осушення газу та їх експлуатація.....	124
3.4	Промислова обробка газу і конденсату.....	141
3.5	Експлуатація апаратів для очищення й осушення газів	154
	<i>Питання для контролю знань та обговорення.....</i>	158

РОЗДІЛ 4. ПІДЗЕМНЕ ЗБЕРІГАННЯ ГАЗУ..... 159

4.1	Основні відомості про підземне зберігання газу в пористих та проникних колекторах.....	159
4.1.1	Мережа підземних сховищ газу.....	159
4.1.2	Географічні умови розташування ПСГ.....	162
4.1.3	Основні елементи ПСГ та вимоги до них.....	164
4.1.4	Режим роботи газових покладів при експлуатації ПСГ...	169
4.1.5	Буферний газ у підземному сховищі.....	176
4.1.6	Розрахунки параметрів ПСГ.....	178
4.1.7	Технологічні схеми збору, розподілу та обробки газу....	180
4.1.8	Експлуатація підземних сховищ газу.....	185
4.2	Підземне зберігання газу у виснажених або частково відпрацьованих газових і газоконденсатних родовищах.....	190
4.2.1	Нагнітання газу в пласт в умовах газового режиму.....	191
4.2.2	Відбір газу при експлуатації ПСГ.....	195
4.2.3	Дослідження нагнітально-видобувних свердловин в процесі підземного зберігання газу.....	198
4.2.4	Техніко-економічні розрахунки числа добувних свердловин, об'єму буферного газу, потужності КС і глибини розташування ПСГ.....	199
4.3	Підземне зберігання газу у відпрацьованих нафтових і газоконденсатних родовищах.....	201
4.3.1	Процеси в нафтовому покладі при підземному зберіганні газу.....	202

4.3.2	Визначення максимальної ємності ПСГ.....	203
4.3.3	Оцінка продуктивності нагнітально-видобувних свердловин при відборі газу.....	205
4.4	Підземне зберігання газу в пастках водонасичених колекторів.....	206
4.4.1	Розрахунок падіння тиску в ПСГ після припинення закачування газу.....	215
4.4.2	Методи визначення шляхів руху газу в пласті і втрат газу в процесі підземного зберігання.....	216
4.4.3	Оптимізація техніко-економічних показників ПСГ при пружно-водонапірному режимі експлуатації.....	219
4.5	Підземне зберігання рідких газів у покладах кам'яної солі.....	226
4.5.1	Методи і схеми розмиву підземних ємностей.....	227
4.5.2	Теоретичні основи проектування розмиву підземних ємностей у покладах кам'яної солі.....	230
4.5.3	Інтенсифікація розмиву кам'яної солі.....	236
4.5.4	Визначення об'єму і форми підземних ємностей.....	237
4.5.5	Особливості експлуатації ПСГ у покладах кам'яної солі.....	239
4.5.6	Розрахунок запасів газового покладу.....	242
4.5.7	Розрахунок дебіту газової свердловини.....	243
4.5.8	Техніко-економічні показники створення і експлуатації підземних сховищ газу в непроникних гірських породах.....	246
4.5.9	Використання газоконденсатних родовищ, які розробляються із застосуванням сайклінг–процесу.....	247
4.5.10	Використання годографа в технологічному проектуванні ПСГ.....	248
	<i>Питання для контролю знань та обговорення.....</i>	251

РОЗДІЛ 5. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ТЕХНОГЕННІ ЗМІНИ ПРИ ПІДЗЕМНОМУ ЗБЕРІГАННІ ГАЗУ.....

5.1	Технологічні особливості експлуатації ПСГ та їх вплив на герметичність свердловин.....	253
5.2	Техногенний вплив підземних сховищ газу на геологічне середовище та довкілля.....	263
5.3	Аналіз тампонування свердловин, тампонажних матеріалів	

та особливостей технологій.....	270
5.4 Особливості кваліметрії тампонажних матеріалів та технології тампонування свердловин.....	297
5.5 Критерії якості тампонажних матеріалів.....	302
5.6 Формування та відновлення герметичності за колонного простору свердловин.....	311
5.7 Основні вимоги до властивостей тампонажних матеріалів...	319
5.8 Особливості експлуатації підземних сховищ газу.....	326
5.9 Формування та експлуатація підземних сховищ газу у водоносній багатошаровій системі.....	328
5.10 Контроль за формуванням сховищ газу.....	329
<i>Питання для контролю знань та обговорення.....</i>	<i>332</i>
РОЗДІЛ 6. ГАЗОНАПОВНЮВАЛЬНІ СТАНЦІ ЗРІДЖЕНИХ НАФТОВИХ ГАЗІВ.....	334
6.1 Загальні відомості.....	334
6.2 Розрахунки процесу зберігання та відпуску газу.....	340
6.2.1 Гідрравлічні розрахунки трубопроводів.....	344
6.2.2 Розрахунки процесу зливання газу.....	347
6.2.3 Розрахунки процесу наповнення.....	350
<i>Питання для контролю знань та обговорення.....</i>	<i>360</i>
РОЗДІЛ 7. ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ СХОВИЩ ГАЗУ В ПОРИСТИХ ПЛАСТАХ.....	361
7.1 Загальні положення.....	361
7.2 Експлуатація газового покладу.....	365
7.3 Моніторинг експлуатації ПСГ.....	370
7.4 Загальні вимоги безпеки.....	372
7.5 Пожежна безпека.....	378
7.6 Фонтанна безпека.....	380
7.7 Охорона довкілля.....	388
<i>Питання для контролю знань та обговорення.....</i>	<i>389</i>
ДОДАТКИ.....	391
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	405
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК.....	407

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

АВПТ	– аномально високий пластовий тиск
АПО	– апарати повітряного охолодження
АКЦ	– акустичний каротаж цементування
БК	– бурильна колона
ВБР	– відділення бурових робіт
ВВП	– вузол відключаючих пристроїв
ВГЗКП	– витікання газу в заклонний простір
ВГН	– вторинні газонакопичення
ВТП	– власні технологічні потреби
ВУ ПЗГ	– виробниче управління підземного зберігання газу
ВЗКП	– витікання газу в заклонному просторі
ГВК	– газо-водяний контакт
ГТК	– геолого-технічний контроль
ГДК	– гранично допустима концентрація
ГДС	– геофізичні дослідження свердловин
ГЗП	– газозбірний пункт
ГК	– гама каротаж
ГКР	– газоконденсатне родовище
ГКС	– газокompресорна служба
ГНВП	– газонафтоводопроявлення
ГНС	– газонаповнювальні станції
ГР	– газове родовище
ГРП	– газорозподільний пункт
ГРС	– газорозподільна станція
ГПО	– газонасичений поровий об'єм
ГС	– геологічна служба
ДАТ	– державне акціонерне товариство
ДБН	– державні будівельні норми
ДВКТ	– діафрагменний вимірювач критичної течії
ДЕА	– діетаноламін
ДЕГ	– діетилен-гліколь
ДКС	– дотискувальна компресорна станція
ДПЕ	– дослідно-промислова експлуатація
ЗНГ	– зріджений нафтовий газ
ЕВС	– енерговодопостачальна служба
ІКХ та ХВ	– Інститут калодійної хімії та хімії води

ІФДТУНГ	– Івано-Франківський державний технічний університет нафти та газу
ІННК	– імпульсний нейтрон-нейтронний каротаж
ІБД	– інформаційний банк даних
КВПіА	– контрольно-вимірювальні прилади й автоматика
КНБК	– компоновка газу бурової колони
КОС	– кремнійорганічні сполуки
КПЗГ	– комплекс підземного зберігання газу
КРС	– капітальний ремонт свердловин
КС	– компресорна станція
МГ	– магістральний газопровід
МКП	– міжколонний простір
МКТ	– міжколонний тиск
НАК	– національна акціонерна компанія
НВС	– нагнітально-видобувна свердловина
НД	– нормативний документ
НГК	– нейтронний гама каротаж
НКТ	– насосно-компресорні труби
НКГВ	– нижня концентраційна границя вибуховості
НП	– небезпечні події
НТС	– низькотемпературна сепарація
ОВС	– оперативно-виробнича служба
ОП	– обладнання противикидне
ОТЦ	– очікування тужавіння цементу
ПАР	– поверхнево-активні речовини
ПВГ	– пункт вимірювання газу
ПЗГ	– підземне зберігання газу
ПЛАС	– план локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій
ППР	– планово-попереджувальний ремонт
ПРС	– поточний ремонт свердловини
ПСГ	– підземне сховище газу
ПЦАТ	– портландцемент алінітовий тампонажний
ПЦТП	– портландцемент тампонажний полегшений
ПЦТ	– портландцемент тампонажний
РТО	– рекуперативний теплообмінник
СОУ	– стандарт організації України
СПВ	– супутні пластові води
СТК	– стандарт компанії

ТБ	– техніка безпеки
ТБФ	– трибутилфосфат
ТДА	– турбдестандерний агрегат
ТЕА	– триетаноламін
ТЕЦ	– теплова електростанція
ТК	– термометричний каротаж
ТУ У	– технічні умови України
УКПГ	– установка комплексної підготовки газу
УОГ	– установка осушування газу
УМГ	– управління магістральних газопроводів
ФА	– фонтанна арматура
ЦІТС	– центральна інженерно-технологічна служба
ЦТІН	– цемент тампонажний для паронагнітальних свердловин
ЄТП	– єдині технічні правила
Кг	– коефіцієнт газонасичення
Рр	– робочий тиск
Рвиб.	– динамічний тиск на вибої газової свердловини
Рзт	– тиск газу в затрубному просторі газової свердловини
Ртр.	– тиск газу в трубному просторі газової свердловини
Рпл	– пластовий тиск
Рст	– тиск на буфері в зупиненій газовій свердловині
ΔР_д (ΔР_р)	– депресія (репресія)

ПЕРЕДМОВА

Паливно – енергетичний комплекс України, як і більшості розвинутих країн світу, є складною системою матеріального виробництва, сукупністю багатьох підсистем, що охоплюють видобуток, перетворення, розподіл, зберігання та споживання енергоносіїв. Особливе місце належить газовій промисловості. Для України, котра посідає 15 місце в світі за обсягом видобування газу, а за його споживанням її випереджають тільки Росія та США, найважливішим завданням на найближчі роки залишається забезпечення споживачів природним газом у достатній кількості. Зрозуміло, що видобуваючи щорічно близько 20 млрд. м³ власного газу, а споживаючи значно більші об'єми (до 80 млрд. м³ газу), потрібно нарощувати резерви газопостачання та розвивати газотранспортну систему з одночасною диверсифікацією джерел.

Існують наступні шляхи створення таких резервів: залучення додаткових потужностей у систему газовидобування і розбудова мережі підземних сховищ газу (ПСГ) поблизу основних газо-споживаючих центрів. Потенційні ресурси газу в Україні ще досить значні (7072,7 млрд. м³) і при належному фінансуванні дозволили б стабілізувати видобування газу. Однак цей шлях у світовій практиці вважають менш раціональним. ПСГ дозволяють нівелювати екстремальні періоди споживання газу шляхом видобування тієї кількості, якої не вистачає, чи нагнітанням надлишку газу в підземелля. Це дає змогу забезпечити роботу газотранспортної системи протягом року з продуктивністю близької до номінальної. Таким чином, створення ПСГ стало головним резервом виробничих потужностей у газовій галузі України.

Досвід інших європейських країн, США та Канади підтверджує правильність такого підходу при вирішенні складної народно-господарської проблеми. Започатковано цей напрям 21 травня 1964 р., коли перші кубометри природного газу зховано у водоносному горизонті Олишівського ПСГ, що на Черкащині. У зв'язку зі зростанням експортних поставок газу в Польщу (1956 р.), Чехословаччину (1966 р.), країни Західної Європи (Австрію, Німеччину, Францію, Італію, Югославію тощо) розгалужується мережа магістральних газопроводів, виникає проблема надійності газопостачання. З метою її вирішення у виснажених горизонтах газових родовищ Прикарпаття створюються підземні сховища газу:

Угерське (1969 р.), Дашавське (1973 р.), Опарське (1975 р.), Більче – Волицьке (1983 р.), Богородчанське (1979 р.).

Активна ємність підземних сховищ газу України є другою у Європі, що дає можливість надавати європейським країнам послуги з підземного зберігання газу.

Україна володіє потужною газотранспортною системою, яка складається з 37,6 тис. км газопроводів різного призначення та продуктивності, 73 компресорних станцій із 110 компресорними цехами, 1607 газорозподільних станцій, 13 підземних сховищ газу загальною ємністю за активним газом понад 32 млрд. м³ та об'єктів інфраструктури.

Для підтримання високо функціональної газотранспортної системи необхідно формувати рівнонадійну структуру в усіх її ланках: ***пласт – свердловина – компресорна станція – газопровід.***

В підручнику узагальнено сучасний досвід з підземного зберігання газу, що дасть можливість студентам та фахівцям більш досконало опанувати моніторинг роботи ПСГ, знайти нові шляхи в аналітичному, експериментальному і практичному вирішенні завдань використання і зберігання газу.