622.691.24
Д 36

Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу

Деркач Михайло Петрович

УДК 622.691.24 (04)
Д 36

ГАЗОГІДРОДИНАМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГАЗОСХОВИЩ У ВИСНАЖЕНИХ ПОКЛАДАХ

Спеціальність 05.15.13 – Нафтогазопроводи, бази та сховища

АВТОРЕФЕРАТ
Дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2002

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:
доктор технічних наук, професор *Гімер Роман Федорович*,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедрою нафтогазової гідромеханіки, м. Івано-Франківськ.

Офіційні опоненти:
1) доктор технічних наук, професор *Грудз Володимир Ярославович*, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедрою спорудження та ремонту газонафтопроводів та газонафтосховищ, м. Івано-Франківськ;

2) кандидат технічних наук *Сухін Євген Ілліч*,
ЗАТ "Енерготрансінвест", президент, м. Київ.

Провідна організація:
ІВП Всеукраїнський науковий і проектний інститут транспорту газу (ВНІПІТРАНСГАЗ), м. Київ.

Захист відбудеться 23.10.2002 о 10^{00} на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В процесі експлуатації підземних сховищ газу (ПСГ), створених у виснажених покладах з пружноводонапірним режимом їх розробки (IV-VI горизонти Опарського ПСГ), була виявлена невідповідність фактичного і розрахованого порових газонасичених об'ємів горизонтів, а також наявність застійних зон в пласті, що акумулюють буферний об'єм і зменшують активний об'єм газу.

В 1994 р. було завершено облаштування і введено в експлуатацію Більче-Волиця–Угерське ПСГ, створене на базі виснажених покладів крейдяних пісковиків XVI горизонту з пружноводонапірним режимом їх розробки. В ході виведення на проектний режим активний об'єм газосховища повинен був сягнути 17,6 *млрд.* $м^3$ при загальній кількості експлуатаційно-нагнітальних свердловин 291 і 50 одиниць, відповідно, для Більче-Волицького і Угерського ПСГ, і зміні пластових тисків у межах, відповідно 9,81-3,43 *МПа* і 6,37-3,04 *МПа*. Однак ці показники не були досягнуті як через об'єктивні причини (брак газу), так і через суб'єктивні (неврахування особливостей експлуатації газосховищ з пружноводонапірним режимом їх розробки і особливостей роботи колекторної системи збору газу).

Після впровадження колекторної схеми збору газу на Більче-Волиця–Угерському ПСГ виявилось, що фактичні дебіти всіх свердловин значно зменшились в порівняні зі значеннями, які були встановлені при дослідженні цих свердловин.

В зв'язку з цим актуальним є вивчення газогідродинамічних особливостей експлуатації газосховищ, що створюються у виснажених покладах з пружноводонапірним режимом їх розробки.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота носить науково-прикладний характер і входить в комплекс розробок НАК "Нафтогаз України", спрямованих на удосконалення методів розрахунку технологічних показників ПСГ, як невід'ємної складової газотранспортної системи України, і окреслених Національною програмою "Нафта і газ України до 2010 року". Ця програма розроблялася за участю автора, розглядалася і корегувалася на засіданнях науково-технічної ради НАК "Нафтогаз України", Головою якої був автор.

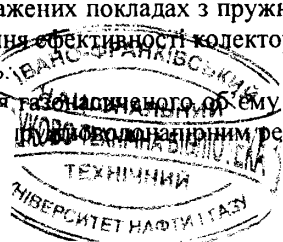
Мета і задачі дослідження

Метою роботи є виявлення газодинамічних особливостей експлуатації газосховищ у виснажених покладах з пружноводонапірним режимом їх розробки та дослідження ефективності колекторної системи збору газу.

Задачі дослідження:

- формування газонасиченого об'єму штучного покладу газосхо-
- [illegible] пружноводонапірним режимом їх розробки;

НТБ
ІФНТУНГ



2) виявлення закономірностей прояву пружноводонапірного режиму покладу при його розробці на виснаження і при роботі в режимі ПСГ;
3) визначення радіусу впливу штучного покладу на водоносну зону пласта при його циклічній експлуатації в режимі газосховища;
4) аналіз роботи колекторної схеми збору і розподілу газу на газосховищі, оцінка її ефективності та впливу на роботу свердловин при відборі газу з газосховища і розробка рекомендацій, направлених на збільшення продуктивності роботи ПСГ.

Об'єкт досліджень – Опарське ПСГ і Більче-Волиця-Угерське ПСГ, які були створені у виснажених газових покладах, що розроблялися з використанням пружноводонапірного режиму.

Предметом дослідження є газогідродинамічні особливості формування газонасиченого об'єму ПСГ в умовах пружноводонапірного режиму пласта і особливості роботи колекторної системи збору газу Більче-Волиця-Угерського ПСГ.

Методи досліджень. Фізико-математичне моделювання газогідродинамічних процесів у пласті, заводнення газового покладу при розробці на виснаження, витіснення газу водою і води газом при циклічній експлуатації ПСГ. Числові методи розрахунку радіусу впливу штучного покладу ПСГ при його циклічній експлуатації на пружноводонапірний запас водоносного басейну. Математичний аналіз роботи колекторної системи збору газу.

Наукова новизна одержаних результатів

1) На основі обробки дослідних даних і аналітичних досліджень встановлено, що при створенні штучного покладу ПСГ у виснаженому пласті з пружноводонапірним режимом розробки, його кінцевий газонасичений об'єм залежить від середнього за цикл нагнітання-відбору значення тиску в газосховищі, тому важливим для технологічного процесу є підтримання середнього тиску на усталеному рівні.
2) Встановлено, що час виведення газосховища на циклічний режим експлуатації відповідає часові розробки покладу з газовим режимом, тобто часові прояву першої фази пружноводонапірного режиму.
3) На основі математичного аналізу вперше показано, що для замкненого водоносного басейну радіус впливу штучного покладу газосховища при його циклічній експлуатації залежить від співвідношення часу першої фази пружноводонапірного режиму розробки покладу і тривалості циклу роботи ПСГ. А оскільки для ПСГ час фази значно перевищує тривалість циклу, то всі газодинамічні розрахунки циклічної експлуатації газосховищ можна вести за формулами для газового режиму роботи покладу.

4) Розроблена математична модель для аналізу роботи колекторної системи збору газу.
5) На основі аналітичних досліджень встановлено, що при колекторній схемі збору газу невиконання умови циліндричності потоку супроводжується виникненням динамічного опору. Це явище було вперше досліджено нами при вивченні схеми збору газу на ГЗП-4 Більче-Волиця-Угерського ПСГ. Запропоновано новий критерій для визначення допустимої кількості свердловин, приєднаних до колектора заданого діаметра. Встановлено, що поява динамічного опору є однією з причин помпажних явищ у всмоктувальних лініях компресорних станцій.

Практичне значення отриманих результатів. В результаті вивчення закономірностей прояву пружноводонапірного режиму розробки газових покладів на виснаження отримані аналітичні залежності об'єму заводнення від пластового тиску, що дозволить прогнозувати їх роботу в режимі циклічної експлуатації як газосховища, особливо штучні поклади XVI горизонту Більче-Волицького і Угерського ПСГ, які розбудовані і облаштовані, але не виведені на проектний режим. Впровадження отриманих результатів досліджень дозволить підвищити ефективність роботи системи збору газу на ПСГ (особливо ГЗП-3 і ГЗП-4), покращити умови всмоктування газу на компресорних станціях і оптимально використовувати наявні потужності газосховищ-гігантів як в режимі ПСГ, так і в режимі газосховища страхового резерву газу.

Особистий внесок здобувача. Автором встановлені закономірності формування штучних покладів ПСГ [1, 3, 11, 13]; виявлений вплив величини середнього тиску в газосховищі на величину активного газонасиченого об'єму [10, 11]; досліджено радіус впливу штучного покладу ПСГ [1]. Виявлені причини зменшення продуктивності свердловин при колекторній системи збору газу [5, 12], встановлений взаємозв'язок між помпажем на вході КС і виникненням динамічного опору в системі збору газу внаслідок порушення умови циліндричності потоку [5].

Автор приймав безпосередню участь в створенні і експлуатації Опарського і Більче-Волиця-Угерського ПСГ [1, 2, 4, 6, 7, 8], у впровадженні методів інтенсифікації на свердловинах ПСГ [9, 10].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на: науково-практичній конференції УНГА (Львів, 1995 р.) [7]; науково-практичній конференції в УкрНДІгаз (Харків, 1996 р.) [8]; науково-практичній конференції УНГА (Полтава, 1998 р.) [9]; міжнародній науково-практичній конференції "Геопетроль – 2000" (Закопане, Польща, 25-28.09.2000) [11]; 6-ій Міжнародній науково-

практичній конференції "Нафта і газ України – 2000" (Івано-Франківськ, 31.10-3.11.2000) [12, 13].

В повному об'ємі результати досліджень доповідались на засіданні кафедри нафтогазової гідромеханіки ІФНТУНГ і на науково-технічному семінарі факультету нафтогазопроводів.

Публікації. Матеріали дисертації опубліковані в одній монографії і 12 статтях, з них 4 у фахових виданнях України.

Структура і об'єм дисертації. Дисертація складається з загальної характеристики роботи, чотирьох розділів, підсумкових висновків, списку використаних джерел, який налічує 88 найменувань і 6 додатків. Основний зміст роботи викладено на 130 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі розкривається актуальність теми дисертаційної роботи, дається загальна характеристика і описується структура роботи.

Перший розділ присвячений вивченню газогідродинамічних особливостей прояву пружноводонапірного режиму роботи у виснажених покладах гідрогеологічнозамкнених пластів.

При проектуванні створення газосховищ як у водоносних пластах, так і у виснажених газових покладах використовуються теоретичні основи підземної гідрогазодинаміки, розроблені Л.С. Лейбензоном, Б.Б. Лапуком, В.М. Щелкачовим, І.А. Чарним, А.А. Хейном, Е.М. Мінським, Ю.П. Коротаєвим, Е.Б. Чекалюком, Е.В. Левикіним, А.Й. Ширковським, С.Н. Закіровим, К.С. Баснієвим, І.А. Зотовим, С.М. Бузіновим, М.В. Лурьє та ін. В подальшому вони розвивались в роботах П.Т. Шмиглі, В.О. Орла, В.Ю. Карачинського, А. Баранова, Р.Ф. Гімера, Б.І.Навроцького. Вагомий вклад внесли D. Cornell, D.L. Katz, K.H. Couts, A.T. Chatas, N. Kristea, M.R. Tek. Окремі проблеми, що виникали при створенні ПСГ у виснажених пластах, розкриті в роботах Й.С. Павлюха, О.В. Салецького Р.М. Кондрата, В.П. Войціцького, Б.П. Савківа, О.М. Іщенка та ін.

При створенні ПСГ у виснажених покладах з пружноводонапірним режимом важливо знати особливості прояву цього режиму в процесі розробки на виснаження газових покладів, які зв'язані з гідрогеологічнозамкненими пластами. На прикладі розробки газових покладів IV-VI горизонтів Опарського газового родовища підтверджена справедливість закону Гука. Пружний запас водоносного басейну газоносного пласта пропорційний пластовому тиску. Зі збільшенням перепаду тиску в пласті росте об'єм заводнення газового покладу і при усталеному темпі відбору газу в замкненому пласті, коли конус депресії досягне контуру замкненого водоно-

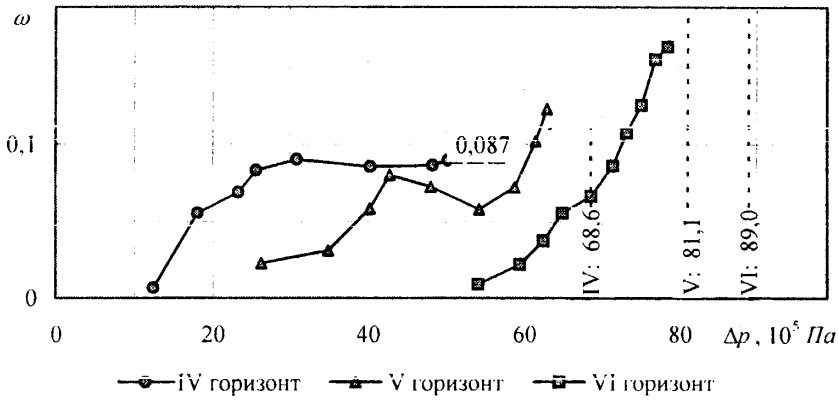


Рис. 1 Залежність величини питомого заводнення від падіння тиску в пласті для покладів IV-VI горизонтів Опарського родовища

сного пласта, відбувається падіння тиску на контурі і кількість води $q_в$, що проникла в поклад, є прямо пропорційна величині зниження тиску в ньому. Тип водоносного басейна визначається характером зміни питомого заводнення газоносної частини пласта ω в процесі його розробки [1, 11, 13] при пониженні приведеного тиску від початкової величини $\bar{p}_0$ до $\bar{p}$:

$$\omega = q_в/(\bar{p}_0 - \bar{p}). \qquad (1)$$

Для замкненого басейну, в період першої фаза пружноводонапірного режиму (за І.А. Чарним), питоме заводнення ω буде збільшуватися і при досягненні конусом депресії замкненого контуру пласта (початок другої фази) величина ω стає сталою, оскільки починає зменшуватися тиск на контурі і в роботі бере участь пружний запас всього об'єму рідини в замкненій частині басейну (рис. 1).

Якщо площа водоносного басейну $S_б$ набагато більша площі покладу $S_с$, який розглядається як укрупнена свердловина, а ступінь заводнення покладу $\alpha = q_в/\Omega_0 = 1 - \Omega_t/\Omega_0$, то пружний запас дорівнюватиме:

$$\omega = \alpha\Omega_0/\bar{p}_0, \qquad (2)$$

де Ω_0, Ω_t – початковий і поточний газонасичений об'єм пор.

Це означає, що при зниженні тиску газу в покладах до атмосферного і $\alpha = 1$ останні повинні заводнитись ($q_в = \Omega_0$). При цьому граничне значення $\omega_{гр}$ дорівнюватиме:

- для IV горизонту – 0,198 *млн.* $м^3/10^5$ *Па*;
- для V горизонту – 0,297 *млн.* $м^3/10^5$ *Па*;
- для VI горизонту – 0,246 *млн.* $м^3/10^5$ *Па*.

У разі припинення розробки покладів поточний газонасичений об'єм Ω_t буде визначатися співвідношенням

$$\Omega_t = \omega_{гр} \bar{P}_{сер}, \qquad (3)$$

де $\bar{P}_{сер}$ – усталений середній приведений тиск у водоносній частині пласта після зупинки свердловин.

Результати оцінки ймовірного об'єму водоносного басейну IV-VI горизонтів та їх площ, свідчать про співмірність площ і умовних радіусів водоносного басейну і покладів газу. Так, для IV-го горизонту $S_б/S_с = 23$, а $R_к/R_с = 4{,}8$, для V-го горизонту – 46 і 6,8, і для VI-го горизонту – 34 і 5,9.

Оцінка тривалості часу першої фази пружноводонапірного режиму підтверджують, що вона порівнянна з часом роботи покладу на газовому режимі і значно перевищує цикли нагнітання (150 діб) та відбирання (120 діб) газу зі сховища. Тому всі розрахунки циклічної експлуатації ПСГ можна вести за формулами газового режиму, використовуючи середню величину газонасиченого об'єму пор Ω_t, як засвідчують результати промислово-геофізичних досліджень свердловин, коливання положення ГВК буде незначне. При цьому величина Ω_t зростатиме до значення, яке відповідає величині середнього приведеного пластового тиску в покладі газосховища.

Ці висновки підтвердились при виведенні Опарського ПСГ на режим циклічної експлуатації [1, 11, 13].

Другий розділ роботи присвячений визначенню пружного запасу водоносного басейну XVI горизонту Більче-Волиця–Угерського ПСГ за результатами аналізу динаміки тисків і газонасичених об'ємів газових покладів при їх розробці на виснаження.

XVI горизонт складається з середніх та високопроникливих пісковиків верхньокрейдяного віку і майже повсюдно поширюється в межах Зовнішньої зони Прикарпатського прогину, водоносний басейн якої на південному заході приєднується до Внутрішньої зони прогину і відділяється від неї глибинним розломом – насувом стебницьких відкладів.

Більшість дослідників (О.М. Снарський, 1949 р.; С.З. Сайдаковський, 1951 р.; В.М. Щепак, 1965 р.; І.І. Зіненко, 1975 р.; В.В. Колодій, А.Н. Іщенко, О.В. Солецький та ін.) додержуються думки, що Зовнішня зона є практично закритим гідрогеологічним басейном. Ці висновки підтверджуються даними розробки Угерського і Більче-Волицького родовищ, приведеними в роботах Козлова А.Л., Мінського Е.М., Солецького О.В., Гімера Р.Ф.,

Ткачука А.І., Петріва І.М. та ін. і нашими дослідженнями [1]. Було встановлено, що:

- взаємодія Угерського і Більче-Волицького покладу XVI горизонту здійснювалась, головним чином, шляхом перетікання газу з останнього в перший і припинилась в 1958 р., в результаті вирівнювання пластових тисків і підйому підошовної води в Угерському покладі;
- до 1963 р. режим роботи Більче-Волицького покладу був газовим;
- після припинення аварійного фонтанування свердловини У-105, яке тривало майже рік (XI.1946-XI.1947 рр.), тиск в Угерському покладі повністю вирівнявся до 1951 р.;
- помітний прояв пружноводонапірного режиму в покладі XVI горизонту Угерського родовища (підняття ГВК, виположування залежності приведеного тиску від сумарного відбору) почався з 1954 р., а початковий газонасичений об'єм покладу, зайнятий газом, становив 305,5 *млн. м*^{3};
- в Угерський поклад за рахунок взаємодії з Більче-Волицьким покладом перетекло 4420 *млн. м*^{3} газу, а в результаті аварійного фонтанування свердловини У-105 в повітря випущено 2640 *млн. м*^{3} газу;
- запаси газу XVI горизонту Угерського покладу з врахуванням притоку газу становили 37,2 *млрд. м*^{3};
- станом на 18.05.1975 (початок дослідно-промислового нагнітання) з покладу видобуто 36,99 *млрд. м*^{3} газу, хоча пластовий тиск дорівнював $14{,}6\cdot10^5$ *Па* (приведений – $13{,}7\cdot10^5$ *Па*);
- поклад XVI горизонту Більче-Волицького родовища був розкритий свердловиною БВ-5 у вересні 1949 року, при цьому статичний тиск на головці дорівнював $94{,}5\cdot10^5$ *Па*. У 1950 р. вже було відмічено пониження цього тиску за відсутності відбору газу з покладу. В наступні роки темп пониження тиску зростає, і тому родовище було введено в експлуатацію прискореними темпами в 1955 р.

Протягом 1960-1962 рр. на графіку $\bar{p} = f(\sum Q)$ чітко виділяється лінійна залежність, що підтверджується розрахунками питомого видобутку газу на рівні 406,75 *млн. м*^{3}, і ця величина прийнята за початкове значення порового об'єму.

На основі вивчення залежності сумарного припливу води в поклади від приведеного тиску, яка описується в логарифмічних координатах лінійним рівнянням [1]:

$$\lg\left(\sum\left(q_{в(У)} + q_{в(Б.В.)}\right)\right) = \lg A - m\lg\bar{p}, \qquad (4)$$

де $q_{в(У)}$, $q_{в(Б.В.)}$ – сумарний об'єм заводнення покладу XVI-го горизонту, відповідно, Угерського і Більче-Волицького родовищ, *млн. м*^{3};

$\bar{p}$ – середньозважений по порових об'ємах покладів приведений пластовий тиск, 10^5 *Па*;

A, m – сталі коефіцієнти, які описують графічну залежність.

Обробка методом найменших квадратів експериментальних даних на основі цієї залежності дозволяє отримати величини коефіцієнтів, з використанням яких можна описати сумарний приплив води до Більче-Волицького і Угерського покладів рівнянням:

$$\Sigma\left(q_{в(У)} + q_{в(Б.В.)}\right) = \frac{562300}{\bar{p}^{1,75}}, \qquad (5)$$

і окремо для Угерського покладу:

$$\Sigma q_{в(У)} = \frac{910}{\bar{p}^{0,561}}. \qquad (6)$$

З останньої формули завжди можна визначити об'єм заводнення покладу XVI горизонту Угерського родовища $q_в$ при зниженні тиску в покладі до величини $\bar{p}$, а відповідно, знаючи величину газонасиченого порового об'єму Ω_0, і поточне значення газонасиченого об'єму покладу Ω_t:

$$\Omega_t = \Omega_0 - q_в. \qquad (7)$$

За формулою (5) можна виконувати аналогічні розрахунки параметрів покладів Угерського та Більче-Волицького родовищ з врахуванням їх взаємодії в залежності від зваженого по об'ємах осередненого тиску.

В третьому розділі розкриті технологічні особливості експлуатації газосховищ у виснажених покладах з пружноводонапірним режимом розробки покладу.

На режим циклічної експлуатації поклади IV-VI горизонтів Опарського ПСГ були виведені в 1979 році. З травня 1982 року нагнітання та відбір газу здійснювався за допомогою компресорної станції, обладнаної ГМК типу МК-8 спеціальної модифікації. У вересні 1983 року, в кінці періоду нагнітання, вперше були досягнуті граничні значення максимального пластового тиску:

- IV горизонт – $70 \cdot 10^5$ *Па* (проект – $90 \cdot 10^5$ *Па*);
- V-VI горизонти – $90 \cdot 10^5$ *Па* – величина, яка відповідає проекту.

В 1984 році тиск в покладі IV горизонту підвищили до $73 \cdot 10^5$ *Па*. Зменшення верхньої межі тиску в IV горизонті в порівнянні з проектною величиною пояснюється небезпекою заколонного прориву газу в свердловинах через 20-25 *м* перемичку у розміщений вище III газовий горизонт.

Динаміка зміни основних показників циклічної експлуатації Опарського ПСГ в IV-VI горизонтах в період виведення його на режим циклічної експлуатації (1983-1984 рр.) показує, що в цей період мали місце:

- перевищення об'ємів нагнітання газу над об'ємами відбору і, відповідно, заповнення об'єму "застійних" зон та ріст мінімального тиску в них;
- поступове зростання максимального тиску ПСГ і, відповідно, зростання його середнього значення;
- стабілізація порових об'ємів (активного об'єму, об'єму застійних зон і об'єму заводнення).

Так, в штучному покладі IV-го горизонту в 1984 р. середнє значення активно працюючого об'єму досягло 10,2 *млн. м*^{3}, а криві годографа – залежності сумарної кількості газу в пласті від приведеного тиску $\Sigma Q = f(\bar{p})$ – в період 1983-1984 рр. накладаються (рис. 2). До кінця 6-го циклу нагнітання (1984 р.) загальний об'єм газу в покладі становив 733 *млн. м*^{3}, або 56% від проектного (1310 *млн. м*^{3}), об'єм нагнітання ≈290 *млн. м*^{3}, максимальний тиск – $73{,}1 \cdot 10^5$ *Па* (до кінця місяця знизився до $70 \cdot 10^5$ *Па*). Активний газонасичений об'єм був рівний 8,8 *млн. м*^{3}, а сумарний об'єм застійних зон і заводнення – 4,79 *млн. м*^{3}.

В штучному покладі V-го горизонту максимальний тиск $89{,}4 \cdot 10^5$ *Па* був досягнутий в 1983 р., при цьому об'єм нагнітання газу склав 1124 *млн.*

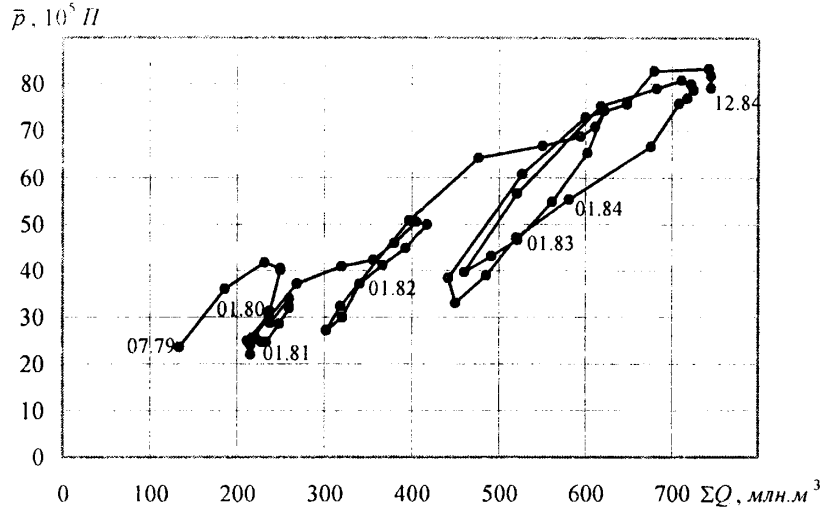


Рис. 2 Графік циклічної експлуатації IV горизонту Опарського ПСГ

$м^3$ при загальному об'ємі 1965,7 *млн.* $м^3$ або 85% від проектного. В 1984 році в поклад подано 891,8 *млн.* $м^3$ газу (загальний об'єм склав 2169,4 *млн.* $м^3$), середній пластовий тиск становив $88{,}5 \cdot 10^5$ *Па*. В кінці нейтрального періоду (з 16.10 по 31.10.84) тиск був рівний $84{,}5 \cdot 10^5$ *Па*. Дані годографа підтверджують рівність середніх значень активно працюючих порових об'ємів (15,35 *млн.* $м^3$), при цьому поровий об'єм "застійних" зон становить приблизно 8,5 *млн.* $м^3$, а загальний об'єм газу в них – 626 *млн.* $м^3$. Фактично досягнутий рівень – 596 *млн.* $м^3$ – близький до розрахункового і підтверджує достовірність зробленого висновку, що стабілізація порового об'єму покладу V горизонту буде досягнута в циклі нагнітання 1985 р. – відбору 1985-1986 рр., що підтвердилось фактичними даними.

В штучний поклад VI-го горизонту максимальний об'єм нагнітання був досягнутий в 1983 р. – 950,3 *млн.* $м^3$, при цьому тиск в покладі досяг проектної величини $90{,}1 \cdot 10^5$ *Па* і загальний об'єм газу склав 1746 *млн.* $м^3$. Дані годографа підтверджують стабілізацію газонасиченого порового об'єму на рівні 1983 р. – 18,35 *млн.* $м^3$. Незначне його коливання в межах 17,7-19,1 *млн.* $м^3$ вказує на наявність невеликих за об'ємом "застійних" зон і збільшення темпів відбору газу з горизонту можливе тільки за рахунок вводу в експлуатацію додаткової кількості свердловин.

Результати газодинамічних розрахунків підтверджують, що досягнення проектних об'ємів нагнітання і відбору газу можливе за умови охоплення об'ємів "застійних" зон шляхом додаткового буріння 61 свердловини, в т.ч. на IV горизонт – 9, на V горизонт – 31, і на VI горизонт – 21 свердловину.

XVI горизонт Угерського газового родовища був переведений в режим ПСГ в 1975 р. При початкових запасах газу 32,8 *млрд.* $м^3$ і пластовому тискові $103{,}5 \cdot 10^5$ *Па* та температурі 46°*C*, станом на 01.01.1975 р., з покладу видобуто 37,415 *млрд.* $м^3$ газу (з врахуванням притоку 4420 *млн.* $м^3$ газу з Більче-Волицького родовища і аварійного фонтанування свердловини У-105 – 2640 *млн.* $м^3$), а пластовий тиск зменшився до $15 \cdot 10^5$ *Па*.

Продуктивна характеристика свердловин відрізняється сталим значенням осереднених коефіцієнтів фільтраційного опору $a = 0{,}1$ і гідравлічного опору $в = 0{,}00041$.

Режим роботи покладу, – пружноводонапірний, – активно проявив себе на 8 році розробки. В кінці 1974 р. поточний газонасичений об'єм пласта становив 159,1 *млн.* $м^3$, а пружний запас XVI-го горизонту, який є пропорційний гідростатичному тискові, для Угерського покладу дорівнює 3,04 *млн.* $м^3/10^5$ *Па*.

За умови усталеної циклічної експлуатації газосховища поточний газонасичений об'єм Ω_t (в *млн.* $м^3$) встановиться на рівні

$$\Omega_t = 3{,}04\,\bar{p}_{сер}, \qquad (8)$$

де $\bar{p}_{сер}$ – середній за сезон нагнітання і відбору приведений тиск в ПСГ при його циклічній експлуатації, 10^5 *Па*.

Більче-Волиця-Угерське ПСГ було спроектоване в УкрНДІгаз в 1983 р., а облаштування його було закінчено в 1996 р. 341 свердловина згруповані в чотири газозбірні пункти (ГЗП) з компресорними цехами загальною потужністю 321,9 *МВт*. ГЗП-1 і ГЗП-2 мають індивідуальну шлейфову систему збору газу, а ГЗП-3 і ГЗП-4 – колекторну, до якої підключено, відповідно, 119 і 102 свердловини. ГЗП з'єднані між собою газопроводом ∅1200 *мм* протяжністю 18 *км*, а далі газопроводом Більче-Волиця–Долина ∅1400 *мм*, розрахованим на тиск 7,5 *МПа*. 59 свердловин мають експлуатаційні колони ∅219 *мм* і фонтанні – ∅168 *мм*. У всіх інших свердловинах НКТ ∅114 *мм*. Система осушення і підготування газу доведена до проектної потужності. Активний об'єм газу ПСГ складає 63% від загального об'єму газу в сховищі.

Дані експлуатації ПСГ за 1983-1988 рр. виявили невідповідність деяких проектних і фактичних параметрів циклічної експлуатації газосховища і хоча, в зв'язку з відсутністю вільного транзитного об'єму газу з Росії в країни Західної Європи, Більче-Волиця–Угерське ПСГ працює на 30-50% від наявних потужностей, при цьому має місце коливання як мінімального, так і середнього тисків в ПСГ.

Виявлені закономірності прояву пружноводонапірного режиму в процесі розробки покладу на виснаження та гідрогазодинамічні особливості експлуатації штучних покладів в режимі ПСГ засвідчують, що:

1) Зміна фактичних показників при циклічній експлуатації газосховища (особливо Угерського штучного покладу) відповідає газопружному режиму його експлуатації. Визначальним параметром для визначення величини поточного усталеного активного об'єму пласта є середній тиск в газосховищі.
2) Відсутня взаємодія з нижньокрейдяними та юрськими відкладами, про що свідчать заміри тиску в свердловинах У-200 в 1980 р. та У-210 в 1994 р.
3) Як засвідчують дані, наведені на рис. 3, динаміка зміни тисків і питомих об'ємів покладів підтверджує, що стабільний режим роботи газосховища можливий за умови збереження в процесі циклічної експлуатації сталої величини середнього тиску в газосховищі. Від його значення залежить величина активного і буферного об'єму газу.
4) Не відповідають даним досліджень фактичні робочі дебіти свердловин, особливо тих, які згруповані на ГЗП-3 і ГЗП-4, на яких викорис-

Рис. 3 Динаміка зміни показників циклічної експлуатації XVI-го горизонту Більче-Волицького покладу

тана колекторна система збору газу. Продуктивність цих свердловин при роботі на колектор значно нижча величини, встановленої при дослідженнях.

5) При відборі газу з використанням компресорів, внаслідок виникнення додаткового динамічного опору, виникає явище помпажу.

В четвертому розділі досліджується ефективність колекторної системи збору газу Більче-Волиця-Угерського ПСГ. На цьому сховищі в діючому фонді є 341 експлуатаційно-нагнітальна свердловина, з них 221 свердловина підключена з використанням колекторної системи збору газу: 119 свердловин до ГЗП-3 і 102 свердловини до ГЗП-4 [5]. Колекторна система збору газу є досить ефективною, оскільки, з одного боку, дозволяє зменшити затрати на приєднання свердловин до пункту збору, очистки, осушення і заміру газу, а з іншого – є більш безпечною з огляду на охорону навколишнього середовища.

Але, в процесі експлуатації газосховища було виявлено, що розрахований за даними газодинамічних досліджень свердловин сумарний дебіт

значно перевищує фактичні показники. В роботі доказано, що причиною такого обмеження кількості газу, що відбирається, може бути виникнення динамічного опору в колекторній системі збору газу внаслідок збільшення щільності ліній течії (ρw) в колекторі в порівнянні з шлейфами свердловин. Для того, щоб такого опору не виникало, має виконуватися умова:

$$\sum_{i=1}^{n} S_{шл_i} \le S_{кол}, \qquad (9)$$

де $S_{шл\,i}$ – площа перерізу шлейфу i-ої свердловини;

$S_{кол}$ – площа перерізу колектора.

Таким чином, на кожній ділянці телескопічного газозбірного колектора допустима (розрахункова) кількість діючих свердловин n, за умови рівності внутрішніх діаметрів їх шлейфів, може бути визначена з нерівності:

$$n \le \frac{S_{кол}}{S_{шл}} = \left(\frac{d_{кол}}{d_{шл}}\right)^2. \qquad (10)$$

З метою оцінки впливу роботи збірного колектора на продуктивність експлуатаційних свердловин ПСГ була розглянута модельна задача [12], коли n свердловин з однаковою глибиною і конструкцією приєднуються до початку колектора. Для цієї системи отримано рівняння, яке описує сумісну роботу n свердловин і колектора в процесі відбору газу:

$$p_{пл}^2 - p_{ГЗП}^2 e^{2S} = \frac{A}{n}Q + \left(\frac{B + K_{св}}{n^2} + K_{кол} e^{2S}\right)Q^2, \qquad (11)$$

де $p_{пл}$ – пластовий тиск;

$p_{ГЗП}$ – тиск в кінці колектора на вході в ГЗП;

S – коефіцієнт, який враховує вплив гравітаційних сил на рух газу в колоні свердловини;

A, B – фільтраційні коефіцієнти привибійної зони свердловини, які вважаються однаковими для усіх свердловин;

$K_{св}$, $K_{кол}$ – коефіцієнти, які враховують гідравлічний опір під час руху газу в свердловині і в колекторі;

Q – сумарний дебіт n свердловин.

Аналіз цієї залежності показує, що колекторна система збору газу, при зростанні кількості приєднаних до неї свердловин, буде приводити до обмеження максимального відбору газу і зниження продуктивності окремих свердловин. Для визначення допустимої кількості свердловин, приєднаних до ділянки колектора певного діаметра, нами запропоновано використовувати умову (10).

Для прикладу в роботі проведено аналіз роботи колекторної системи збору газу ГЗП-4 Більче-Волиця-Угерського ПСГ. Для діаметрів ділянок колектора і шлейфів, які використовуються на цьому ГЗП-4 допустима максимальна кількість свердловин згідно нерівності (10) становить:

- $\varnothing 325\times 14$ *мм*: $n < (297/143)^2 = 4{,}31 \approx 4$;
- $\varnothing 520\times 12$ *мм*: $n \le (496/143)^2 = 12{,}03 \approx 12$;
- $\varnothing 720\times 16$ *мм*: $n \le (688/143)^2 = 23{,}14 \approx 23$.

Виявлено, що на 12 з 19 ділянок колектора умова (9) не виконується, що приводить до виникнення на них додаткового динамічного опору і зменшення сумарної продуктивності свердловин. Для усунення цього на відповідних ділянках необхідно прокласти лупінг або замінити колектор на трубу більшого діаметра, який можна визначити з нерівності (10).

ПІДСУМКОВІ ВИСНОВКИ

1) На підставі досліджень газогідродинамічних особливостей експлуатації газосховищ, створених у виснажених газових покладах з пружноводонапірним режимом розробки, розв'язано важливу науково технічну задачу виявлення закономірностей формування штучного газонасиченого покладу ПСГ і режиму його експлуатації. Пружний запас водоносної частини IV-VI горизонтів Опарського ПСГ і XVI горизонту Більче-Волиця-Угерського ПСГ відповідає закону Гука і сумарний об'єм заводнення штучних покладів прямопропорційний величині середнього тиску в газосховищі, а тому, для стабілізації показників циклічної експлуатації газосховищ необхідно підтримувати величину середнього тиску в сховищі сталою. При повному виснаженні покладів пружний запас водоносної частини басейну буде пропорційний початковому гідростатичному тиску, тобто рівний початковому газонасиченому об'єму.
2) Період повної стабілізації середнього тиску в газосховищі і в водоносній частині басейну рівний часові розробки покладу на виснаження з газопружним режимом роботи, тобто часові прояву першої фази пружноводонапірного режиму. В цей період формується газонасичений об'єм штучного покладу, величина якого відповідатиме середньому за цикл відбору-нагнітання тискові в газосховищі. Оскільки для замкненого водоносного басейну радіус впливу штучного покладу газосховища при його циклічній експлуатації залежить від співвідношення між часом першої фази пружноводонапірного режиму розробки покладу і тривалістю циклу роботи ПСГ, і час фази значно перевищує тривалість циклу, то об'єми заводнення покладу ПСГ будуть незначні

і всі газодинамічні розрахунки циклічної експлуатації газосховищ можна вести за формулами для газового режиму роботи покладу. При цьому похибка у визначенні величини газонасиченого об'єму, наприклад, для Опарського ПСГ не перевищує 1,2%.

3) Нерівномірне охоплення газонасиченого об'єму пласта експлуатаційними свердловинами супроводжується утворенням т.зв. "застійних зон". Залучення їх в експлуатацію може бути досягнуте тільки за рахунок буріння додаткової кількості свердловин, розміщених на площі з врахування їх фактичного радіуса дренажу. Газодинамічні розрахунки підтверджують необхідність буріння на Опарському ПСГ додатково 61 свердловини, в т.ч. на IV горизонт – 9, на V горизонт – 31, і на VI горизонт – 21 свердловину.

4) Невиконання в системах збору газу умови циліндричності потоку супроводжується появою додаткового динамічного опору, еквівалентного раптовому звуженню, який впливає на роботу всіх ланок системи збору газу як до, так і після місця його появи. Тому при проектуванні або модернізації існуючої колекторної системи збору газу допустиму кількість свердловин n, приєднаних до колектора, необхідно визначати з умови $n \leq S_{кол}/S_{шл}$. Економічна ефективність від впровадження рекомендацій з модернізації колекторної системи збору газу полягає в тому, що тільки на Більче-Волиця-Угерському ПСГ це призведе до збільшення продуктивності свердловин на 35-40%.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. Гімер Р.Ф., Гімер П.Р. Деркач М.П. Підземне зберігання газу. – Івано-Франківськ: Факел, 2001. – 215 с.
2. Деркач М.П., Войціцький В.П., Грищук С.Г. Забезпечення надійності експлуатаційних свердловин на ПСГ (на прикладі ПСГ ДП "Львівтрансгаз") // Наук.-техн. збірник: Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. № 35 (том 5). – Івано-Франківськ, 1998. – С. 53-58.
3. Гімер Р.Ф., Гімер П.Р., Деркач М.П. Формування газонасиченого об'єму газосховища. – Нафтова і газова промисловість. – 2000. – №5. – С. 57-59.
4. Деркач М.П. Роль підземних сховищ газу в надійності транзитних поставок газу до Європи та газопостачання споживачів України. – Нефть и газ. – 2001. – № 4. – С. 2-8.
5. Деркач М.П. Ефективність колекторної схеми збирання і розподілу газу. – Нафтова і газова промисловість. – 2001. – № 2. – С. 48.

6. Деркач М.П., Войціцький В.П. Досвід створення та циклічної експлуатації Більче-Волицько-Угерського підземного газосховища // Нафта і газ України. Збірник наукових праць, Харків, 1996. – С. 67-86.
7. Деркач М.П., Буняк Л.К. Стан, проблеми і перспективи розвитку трубопровідного транспорту нафти і газу та підземних газосховищ у Західному регіоні України // Стан, проблеми і перспективи розвитку Нафтового комплексу у Західному регіоні України. Матеріали однойменної конференції. НТЗ УНГА. – Львів. – 1995. – С. 18-20.
8. Деркач М.П., Войціцький В.П., Савків Б.П., Спанчак В.І Саморозгвинчування фонтанних труб при експлуатації підземних сховищ газу та його попередження // Матеріали науково-практичної конференції УНГА "Нафта і газ України". – Харків. – 1996. – С. 71.
9. Деркач М.П., Войціцький В.П., Бойко Р.В. Досвід проведення інтенсифікації роботи свердловин на ПСГ "Львівтрансгаз" // Матеріали науково-практичної конференції УНГА "Нафта і газ України", т.2. – Полтава. – 1998. – С. 151.
10. Іващенко О.М., Войціцький І.В., Деркач М.П. Вплив основних геолого-промислових чинників на досконалість підземних сховищ газу західних областей України // НТЗ "Питання розвитку газової промисловості України", вип. XXVII (до 40-річчя УкрНДІгазу), Харків, 1999 р. С. 129-134.
11. Гімер Р.Ф., Деркач М.П. Формирование газонасыщенного объема газохранилища в истощенных залежах с упруговодонапорным режимом их разработки // Wydanie konferencyjne. Problemy naukowo-badawcze i rozwojowe pozukiwań i eksploatacji złóż gazu ziemnego i ropy naftowej. – Kraków. – 2000. – С. 721-723
12. Гімер П.Р., Деркач М.П. Вплив сумісної роботи свердловин і збірного колектора на продуктивність свердловин ПСГ // Збірник наукових праць. Матеріали 6-ої Міжнародної науково-практичної конференції "Нафта і газ України – 2000". Івано-Франківськ, 31.10-3.11.2000. – Івано-Франківськ: Факел, 2000. – т.3. – С. 98.
13. Гімер Р.Ф., Деркач М.П. Закономірності обводнення газового покладу XVI горизонту Угерсько-Більче-Волицького ПСГ // Збірник наукових праць. Матеріали 6-ої Міжнародної науково-практичної конференції "Нафта і газ України – 2000". Івано-Франківськ, 31.10-3.11.2000. – Івано-Франківськ: Факел, 2000. – т.3. – С. 97-98

АНОТАЦІЯ

Деркач М.П. Газогідродинамічні особливості експлуатації газосховищ у виснажених покладах. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 – Нафтогазопроводи, бази та сховища. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, 2002.

Дисертація присвячена вирішенню задач формування і експлуатації штучного газонасиченого об'єму підземних сховищ газу (ПСГ) в покладах, які розроблялися з пружноводонапірним режимом, а також дослідженню роботи колекторної системи збору газу на ПСГ. На прикладі Опарського і Більче-Волиця-Угерського ПСГ вирішені питання визначення пружного запасу водоносного басейну покладів, впливу заводнення на формування газонасиченого об'єму ПСГ і режим його циклічної експлуатації. Визначено тривалість часу формування штучних покладів ПСГ і фактори, які впливають на величину газонасиченого об'єму сховища. Виявлені причини зменшення продуктивності експлуатаційних свердловин при використанні колекторної системи збору газу.

Ключові слова: підземне сховище газу, штучний поклад, пружноводонапірний режим, циклічна експлуатація, колектор.

АННОТАЦИЯ

Деркач М.П. Газогидродинамические особенности эксплуатации газохранилищ в истощенных залежах. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 – Нефтегазопроводы, базы и хранилища. Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, 2002.

Диссертация посвящена решению задач формирования и эксплуатации искусственного газонасыщенного объема подземных хранилищ газа (ПХГ) в залежах, которые разрабатывалось на упруговодонапорном режиме, а также исследованию работы коллекторной системы сбора газа на ПХГ. На примере Опарского и Бильче-Волыця-Угерского ПХГ решены вопросы определения упругого запаса водоносного бассейна залежей, влияния обводнения на формирование газонасыщенного объема ПХГ и режим его циклической эксплуатации. Определена продолжительность времени формирование искусственных залежей ПХГ и факторы, которые влияют на величину газонасыщенного объема хранилища. Выявлены причины

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА

уменьшения производительности эксплуатационных скважин при использовании коллекторной системы сбора газа.

Актуальность работы обуславливается тем, что неучет особенностей эксплуатации газохранилищ в коллекторах с упруговодонапорным режимом работы, ведет к отклонению реальных параметров работы ПХГ от проектных показателей. Об этом свидетельствует практика создания и эксплуатации Опарского и Бильче-Волыця-Угерского ПХГ.

Диссертация состоит из общей характеристики работы, четырех разделов, итоговых выводов, списка использованных источников, который насчитывает 88 наименований и приложений. Основное содержание диссертации изложено на 130 станицах.

Первый раздел посвящен изучению газогидродинамических особенностей проявления упруговодонапорного режима работы в истощенных залежах гидрогеологическизамкнутых пластов. На примере разработки газовых залежей IV-VI горизонтов Опарского месторождения показано, что упругий запас водоносного бассейна газоносного пласта пропорционален пластовому давлению. Проведенный анализ позволил определить величину упругого запаса и оценить вероятный объем водоносного бассейна этого месторождения. Сделанная на основании этого оценка длительности первой фазы упруговодонапорного режима работы показала, что это время сопоставимо со временем разработки залежи на газовом режиме и значительно превышает длительность цикла нагнетания-отбора газа при работе ПХГ. Поэтому сделан вывод о возможности проведения расчетов циклической эксплуатации Опарского ПХГ за формулами газового режима.

Второй раздел работы посвящен определению упругого запаса водоносного бассейна XVI-го горизонта Бильче-Волыця-Угерского ПХГ на основании анализа динамики изменения давлений и газонасыщенных объемов залежей при их разработке на истощение. Проведенный анализ разработки этих месторождений с учетом их взаимодействия позволил определить объемы перетоков газа из Бильче-Волицкой и Угерскую залежь и объем газа, выпущенного в атмосферу во время аварийного фонтанирования скважины У-105. Все это дало возможность уточнить параметры залежей на момент перевода их в режим работы ПХГ и предложить аналитические зависимости для определения объемов обводнения Угерской и Бильче-Волицкой залежи как в отдельности, так и с учетом их взаимодействия.

В третьем разделе раскрыты технологические особенности эксплуатации газохранилищ, созданных в истощенных газовых залежах с упруговодонапорным режимом их разработки. Рассматривается работа в режиме циклической эксплуатации залежей IV-VI горизонтов Опарского ПХГ и XVI-го горизонта Угерского, а впоследствии, Бильче-Волыця-Угерского

ПХГ. Сделаны выводы о влиянии упруговодонапорного режима работы залежи на параметры циклическую эксплуатации указанных ПХГ.

В четвертом разделе проводится исследование эффективности работы коллекторной системы сбора газа Бильче-Волыця-Угерского ПХГ. С целью оценки влияния работы коллектора на производительность эксплуатационных скважин ПХГ решена модельная задача, с помощью которой показано, что увеличение количества присоединенных к коллектору ведет к существенному снижению производительности скважин. В работе показано, что причиной этого является возникновение в коллекторной системе дополнительного динамического сопротивления вследствие увеличения плотности линий течения в коллекторе по сравнению со шлейфами скважин. На основании этого предложен способ определения допустимого количества скважин, присоединенных к участку коллектора заданного диаметра. Примерный расчет с использованием предложенного метода проведен для участка коллекторной системы сбора газа ГСП-4 Бильче-Волыця-Угерского ПХГ.

Ключевые слова: подземное хранилище газа, штучная залежь, упруговодонгапорный режим, циклическая эксплуатация, коллектор.

THE SUMMARY

Derkach M.P. Gas-hydrodynamic peculiarities of operation of gas storages in depleted reservoirs. - Manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science on a speciality 05.15.13 – Oil-and-gas pipelines, depots and storages. The Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas, Ivano-Frankivsk , 2002.

The thesis is devoted to problem solving of forming and operation of artificial gas-saturated volume of underground gas storages (UGS) in reservoirs, which one was developed on elastic water drive, and also study of operation of collector system of gas collection on a UGS. On an example of Opary and Bilche-Volytsa-Ugersko UGS the questions of definition of an elastic reserve of water-bearing basin of reservoirs, influencing of watering on forming of gas-saturated volume of the UGS and mode of its cyclic operation are resolved. The endurance of time forming of artificial reservoirs of a UGS and factors is determined, which one influence magnitude gas-saturated volume of UGS. The detected reasons of decrease of output of development wells at use of collector system of gas collection.

Key words: underground gas storage, artificial reservoir, elastic water drive, cyclic operation, collector.