

О.Т. Чернова

ОЦІНЮВАННЯ ЗАПАСІВ ГАЗУ В ПІДЗЕМНИХ СХОВИЩАХ

Розглянено переваги використання підземних сховищ, показники їх роботи, причини ускладнень прогнозування режимів експлуатації ПСГ. Наведено обґрунтування важливості контролю за станом та будовою активної та буферної зон і поведінкою пластової системи, питання прогнозування параметрів роботи газосховищ. Проаналізовано використання методу годографа на основі показників Дашавського ПСГ.

ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ГАЗА В ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩАХ

Рассмотрены преимущества использования подземных хранилищ, показатели их работы, причины осложнений прогнозирования режимов эксплуатации ПХГ. Приведено обоснование важности контроля за состоянием и устройством активной и буферной зон и поведением пластовой системы, вопрос прогнозирования параметров работы газохранилищ. Проанализировано использование метода годографа на основе показателей Дашавского ПХГ.

EVALUATION OF GAS RESERVES IN UNDERGROUND STORAGE

The advantages of underground storages` usage, their operating indicators, and causes of complication prediction of UGS exploitation regimes are discussed. The justification of importance of control for condition and facility of active, buffer zone and carrying out of strata system, issue of forecasting of work of gas storage parameters is given. The hodograph method usage, base on Dashavskiy UGS indicators is analyzed.

ВСТУП

Підземне зберігання газу є винятково ефективним методом нагромадження енергоносіїв для короткотривалого та довготривалого його зберігання і за масштабами та вигодою не має альтернативних аналогів не тільки в газовій промисловості, але й в усіх інших галузях паливно-енергетичного комплексу.

З іншого боку, завдяки підземному зберігання, з його унікальною здатністю великомасштабного нагромадження ресурсів для сталого газопостачання споживачів, газ набув нового важливого значення, яке дає йому відчутну перевагу над усіма ін-

шими видами енергоносіїв. Тому у світовій практиці саме підземному зберігання відводиться провідне значення щодо тенденції накопичення енергоресурсів для сталого функціонування економіки на випадок надзвичайних ситуацій.

Водночас використання підземних сховищ є одним з основних методів газопостачання, підвищення якості поставок газу споживачам і ефективності реалізації газу всередині країни та за кордоном. Їх використання дозволяє зменшити наслідки нерівномірного сезонного споживання газу, забезпечуючи надійність постачання газу. Це пояснюється тим, що протягом року максимальний добовий відбір газу пере-

вищує мінімальне більше ніж у 3 рази, а подача газу по магистральних газопроводах відбувається практично з постійною швидкістю. Окрім того, ПСГ використовуються для забезпечення додаткової подачі газу споживачам в аномально холодні зими та у разі аварійних ситуацій в системі газопостачання, а також забезпечують довгочасний резерв газу на випадок непередбачених ситуацій. Тому всі підземні сховища або максимально наближені до основних споживачів, або розміщені у вузлових місцях газотранспортної системи, що дає можливість оперативно перенаправляти потоки газу залежно від ситуації.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Найбільш важливими показниками, що характеризують роботу ПСГ, є запаси газу, що зберігаються, максимальна добова продуктивність сховища (максимальний добовий об'єм газу, який може бути викачаний у сховища за добу). Тому, враховуючи важливість безперебійної й ефективної роботи підземних сховищ ставиться питання контролю за їх станом, визначення особливостей будови активної та буферної зон у межах пласта-резервуара. Це можна зробити завдяки дослідженню поведінки геологопетрофізико-промислових параметрів пластової системи ПСГ та їх зміни у часі, які пов'язані зі зміною режимів експлуатації.

Протягом багаторічного досвіду проектування й експлуатації підземних сховищ питанням удосконалення й особливостей їх експлуатації займалися вчені різних шкіл. Зокрема, причини і динаміку утворення газових залягань розглянуто у працях О.А. Купчинського [1, 2]. Етапами формування газонасичених об'ємів та аналізом циклічної експлуатації підземних сховищ займались В.В. Заєць, П.Р. Гімер та О.М. Сусак [3]. Потрібно також зазначити, що велике значення для розвитку науки про підземне зберігання газу наведено в працях Р.Ф. Гімера [4, 5], в яких проводиться дослідження підземних сховищ газу за допомо-

гою гістерезисних діаграм. Вони дають можливість оцінити реальну кількість газу на момент дослідження незалежно від книжкових даних і про наявність газу в ПСГ. Відмінність даного типу діаграм полягає у тому, що об'єм газу в сховищі зведений до пластових умов. У своїх працях Гімер Р.Ф. приходиться до висновку, що використання методу годографа дасть змогу констатувати не тільки наявність втрат пластової енергії, але й режим циклічної експлуатації сховища.

У статті М.В. Лур'є [6] вказується на можливість оцінки поведінки ПСГ за допомогою гістерезисних діаграм у площині годографа залежно від зведеного пластового тиску та маси газу, аналогічно до того, як це було запропоновано А.В. Барановим та В.Ю. Карачинським. М.В. Лур'є відзначає, що площа гістерезисних діаграм дає можливість оцінити економічність вибраного режиму експлуатації ПСГ. При цьому, чим більша площа гістерезисних діаграм, тим більші витрати енергії тиску газу, і навпаки, чим менша площа, тим менші витрати енергії тиску газу. Також за допомогою цих діаграм можна проводити моніторинг параметрів ПСГ, який дозволяє встановити наявність витікання газу. Отже, гістерезисні діаграми дають можливість проводити моніторинг параметрів підземного сховища газу для прогнозування не тільки втрат (витікань, перетікань), а також для визначення поведінки ПСГ.

У статті Карачинського В.Ю. [7] обгрунтовується доцільність використання гістерезисних діаграм. На основі аналізу циклічної експлуатації підземних сховищ проводиться їх класифікація на три основні типи. Крім того, Карачинським В.Ю. у співпраці з іншими науковцями було запропоновано використовувати ще один вид годографів, який він назвав енергетичним для газогідродинамічного контролю, формування й експлуатації ПСГ за промисловими даними. Даний вид годографа дозволяє визначити втрати енергії на створення штучного газового покладу, тобто витрати відповідної кількості газу, який необхідний

для виконання роботи, що витрачається на формування та зміну пластового об'єму газового покладу під час експлуатації підземного газового сховища. Незручність побудови даного виду годографа полягає у тому, що необхідно об'єм газу в сховищі зводити до пластових умов, а практично всі дані зводяться до стандартних умов.

Багаторічний досвід проектування й аналізу експлуатації підземних сховищ газу, які створились у виснажених родовищах, засвідчує різницю фактичних і проектних показників їх роботи, що розраховані шляхом прямого перенесення теорії та практики проектування розробки газових родовищ. Це пояснюється помилками при проектуванні: завищеними коефіцієнтами фільтраційного опору «середньої» свердловини, зменшенням необхідної кількості експлуатаційних свердловин, неврахуванням режиму роботи покладу при його експлуатації, невірним проектуванням розміщення свердловин, неврахуванням впливу темпів нагнітання-відбору на величину конуса репресії-депресії на пласт і на величину активного об'єму газу. Тому для підземних сховищ, створених у виснажених родовищах, у т.ч. Прикарпаття, поставлено низку завдань, що вимагають вирішення. Одне з них – це аналіз параметрів, які впливають на циклічну експлуатацію сховища.

На всіх підземних сховищах існує тісний взаємозв'язок між основними технологічними ланками проходження газу, а саме: штучним покладом – експлуатаційно-нагнітальними свердловинами – шлейфами свердловин – об'єктами збирання, розподілу, заміру та підготовки газу – компресорною станцією – газопроводами підключення до магістральних трубопроводів. У зв'язку з цим при прогнозуванні режимів експлуатації ПСГ необхідно враховувати геологічні особливості та технологічні обмеження усіх ланок транспортної системи від пласта до магістрального газопроводу. Крім того, потрібно знаходити баланс між попитом на газ його потенційних споживачів та продуктивними характеристиками сховища газу.

Прогнозні режими, які пропонуються на сьогодні до впровадження в експлуатацію, не завжди є оптимальними та достатньо ефективними. Вони досить часто відрізняються від фактичних. Існує низка об'єктивних причин, через які неможливо точно визначити основні експлуатаційні параметри сховища. Це утруднює прогнозування та вибір раціонального режиму його експлуатації. Основними ускладненнями при прогнозуванні режимів експлуатації ПСГ є:

- недостатній обсяг інформації про колекторські властивості пласта у міжсвердловинному просторі, що відбуваються в оточуючій водонапірній системі, відсутність повної картини про характер переміщення флюїдів всередині пласта і т.д.;
- недосконалість методів вимірювання й обліку газу;
- недосконалість методів моделювання газогідродинамічних процесів у пласті;
- мінливість самих критеріїв моделювання (коригування в процесі експлуатації обсягів зберігання, обсягів та темпів нагнітання/відбору газу залежно від умов, що складаються на ринку газу);
- неможливість за тривалий період передбачити попит на газ у потенційних споживачів.

Окрім перерахованих причин, процес прогнозування технологічних показників функціонування ПСГ ускладнюється через те, що більшість із них створено в досить складних геологічних системах. Нерідко при нераціональній експлуатації покладу виникає загроза втрати певного обсягу газу через перетікання його в сусідні або верхні горизонти, защемлення пластовими водами чи накопичення в периферійних, не охоплених процесом дренажу, ділянках пласта-колектора.

На сьогоднішній день питання прогнозування параметрів роботи газосховищ на довготривалий період або на декілька наступних циклів відводиться велике значення. Для цього ставляться завдання створення для кожного об'єкта підземного сховища математичної моделі, на основі якої

на наступні сезони закачування і відбору газу виконуються прогнольні розрахунки параметрів експлуатації газосховища (зміни продуктивності свердловин, переміщення меж ГВК, зміни діючого фонду свердловин, тисків).

Останніми роками науковцями було поновлено інтерес до використання методу годографа з метою проведення моніторингу роботи ПСГ. Даний метод був запропонований в УкрНДІГазі наприкінці 60-х років для технічного проектування й експлуатації ПСГ України В.Ю. Карачинським та А.В. Барановим. Він полягає у спостереженні за поведінкою газового покладу – об'єкта зберігання газу. Годограф (від грецьких слів «годос», що означає шлях, напрямок, рух та «графо» – пишу) – крива, що являє собою геометричне місце кінців векторів, які відкладені від спільного початку і дорівнюють різним значенням деякої векторної функції.

Даний метод можна вважати одним із методів матеріального балансу і застосовувати для оперативного поточного оцінювання запасів газу в ПСГ. Проте призначення методу цим не обмежується. Також його використовують для простеження еволюції газового об'єму в часі, газодинамічного й екологічного моніторингу експлуатації підземних сховищ.

Методом характеризується відносною простотою і наочністю. Він ґрунтується на використанні балансової моделі газового покладу загалом або її модифікації для окремих частин покладу – зон, блоків, прошарків. Його застосування уможливує проведення певної інтегральної оцінки величини, розподілу та стану дренованих і недренованих запасів газу в сховищах шляхом оцінювання запасів у покладі у цілому та окремо його частин.

Суть методу полягає в тому, що дослідження руху газового об'єму в пластових умовах проводиться радіусом-вектором. При цьому котангенс кута нахилу радіуса-вектора будь-якої точки годографа чисельно дорівнює газонасиченому поровому об'єму. Прямая лінія, що проводиться через

характерні точки значень максимального і мінімального об'єму газу в пласті, за умови повного дреновання покладу, екстраполюється в початок координат. Якщо дана пряма відтинає на осі абсцис певний відрізок, то отримане значення в точці перетину відповідає об'єму газу, що не бере участі в процесі дреновання і скопичується в слабодренованих зонах. Побудова графіка здійснюється з використанням балансових об'ємів газу в сховищі та середньозважених пластових тисків на кінець кожного місяця.

Під час циклічної експлуатації сховищ, створених на базі виснажених газових (газоконденсатних) покладів з високою неоднорідністю й анізотропією пласта-колектора, згасаючий по роках зсув гістерезисної петлі вказує на поступове насичення слабодренованих (периферійних) ділянок, у яких градієнт пластового тиску на початку створення сховища був нижчим, ніж у активнодренованій (склепінній). Згасаючий по роках зсув графіка вліво інтерпретується як вплив припливу газу зі слабодренованих (периферійних) ділянок покладу в активнодреновану (склепінну) частину з меншим на початок створення сховища градієнтом пластового тиску.

Багаторічний аналіз послідовних циклів конкретних ПСГ на площині годографа дає можливість виявляти та контролювати характерні особливості геотехнологічної еволюції сховища і діагностувати витіки газу.

У межах Західного комплексу підземного зберігання міститься Угерське, Опарське, Дашавське, Більче-Волицько-Угерське та Богородчанське підземні сховища. Даний комплекс призначений для внутрішніх потреб споживачів західних областей України й експорту природного газу до центрально-європейських країн. Усі сховища створені у виснажених розробкою газових покладах і практично вийшли на показники циклічної експлуатації. Об'єктами зберігання є пласти-резервуари, які складаються зі штучного газового покладу. Робота газосховищ відбувається у напруженому, неусталеному знакозмінному режимі, при якому за сезон ви-

добувається до 60% загальних запасів газу. Сумарний активний об'єм всього Західного комплексу ПЗГ перевищує активні об'єми ПСГ будь-якої з великих розвинених газоспоживаючих країн Європи – Франції, Італії, Великої Британії тощо.

У Стрийському районі Львівської області розташоване Дашавське ПСГ. Воно призначене для покращення газопостачання Львівської та сусідніх областей, а також транзиту газу до європейських країн. Створено Дашавське газосховище на базі виснажених покладів Г, Е, Д (9-го та 8-го горизонтів) однойменного газового родовища. Вказані горизонти представлені сарматськими відкладами. В тектонічному відношенні сховище належить до Передкарпатського крайового прогину. Через південно-західну його частину проходить лінія насуву внутрішньої зони Передкарпатського прогину на зовнішню. Підземне сховище газу являє собою брахіантиклінальну складку, яка простягається з північного заходу на південний схід і перетинається як поздовжніми, так і поперечними диз'юнктивними тектонічними порушеннями амплітудою 15 – 30 м.

При створенні та формуванні газонасиченого об'єму сховища в покладах Г і Е, під час досягнення максимальних проектних показників, відбулося відхилення фактичних показників від проектних внаслідок заповнення газом периферійних застійних зон з низькими експлуатаційними параметрами та часткового перетікання газу в практично виснажений поклад Д через малоамплітудні тектонічні порушення, що призвело до збільшення порового об'єму сховища й утворення блоків з різною динамікою дренажування. Це підтверджується промисловими даними вимірювання пластового тиску в основних і спостережних покладах, згідно яких газосховище можна розділити на чотири блоки (рис. 1 і 2).

Розширення ПСГ супроводжувалось збільшенням об'єму пасивного газу до 1800 млн м³ порушенням сформованого газонасиченого об'єму, зменшенням величини пластового тиску покладів Г-Е в кінці

нагнітання і відбору і, як наслідок, погіршенням умов експлуатації газонагнітальних агрегатів та зростанням енерговитрат на експлуатацію ПСГ.

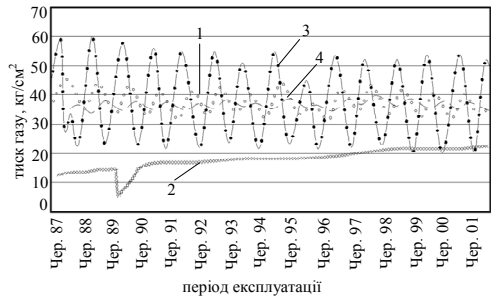


Рис. 1. Зміна тиску в контрольних свердловинах та ПСГ: 1 – Рпл. №83; 2 – Рпл. №85; 3 – Рпл. №212; 4 – Рпл. ПСГ

Проте вчасно розроблені заходи, які регламентували тривалість нейтральних періодів між сезонами відбору та нагнітання, при подальшій циклічній роботі сховища зменшили інтенсивність перетікання та забезпечили досягнення умовної газогідродинамічної стабільності в роботі газосховища.

Постійне використання всього комплексу регулюючих заходів забезпечує зосередження більшого активного об'єму газу в основних покладах ПСГ, роботу меншого активного порового об'єму, що відображається в кінцевому результаті на зменшенні об'єму перетікання газу в поклад Д, зменшенні величини газу в контурних водах, збільшенні величини пластового тиску в кінці нагнітання та відбору і, відповідно, на їх початок, що у свою чергу позитивно позначається на продуктивності та техніко-економічних показниках експлуатації ПСГ.

Для умов Дашавського ПСГ регулювання здійснюється методом дотримання проектної величини нейтрального періоду після сезону відбирання та нагнітання. За незначної подачі газу на початкових етапах нагнітання та відбирання використовуються свердловини, розміщені найдалше і найближче до межі взаємодії між покладами відповідно.

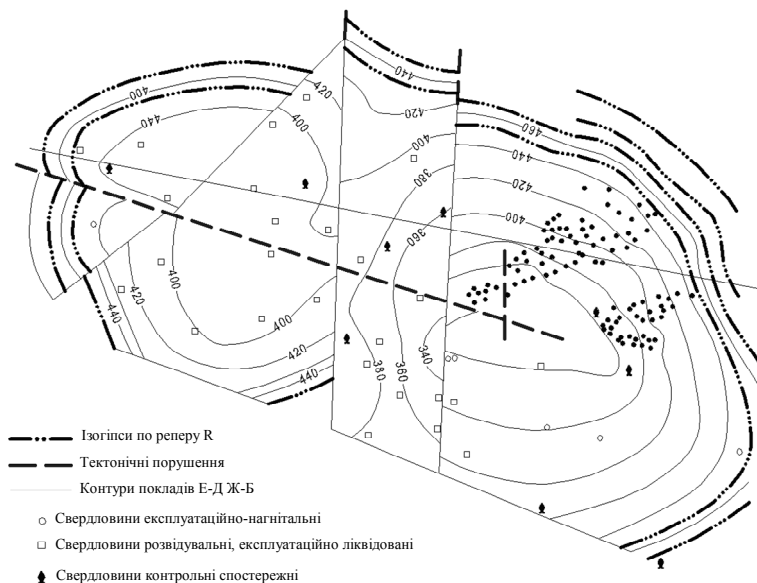


Рис. 2. Структурна карта Дашавського ПСГ

Циклічна експлуатація Дашавського ПСГ виконується відповідно до проектних показників. Максимальний пластовий тиск у «робочій зоні» ПСГ був досягнутий на кінець сезону закачування 1987 року – 58,7 кгс/см², мінімальний пластовий тиск – 19,4 кгс/см² на кінець періоду відбору 2010 – 2011 рр. Максимальний об’єм нагнітання газу був досягнутий 1991 року – 2184 млн м³, а у 2000 – 2001 рр. максимальний об’єм відбору газу – 2148 млн м³. Одночасно протягом 1986 – 2010 рр. спостерігалось зниження величини максимального і мінімального пластових тисків. Це говорить про стабілізацію відтоку газу з активної зони ПСГ у периферійні застійні зони газових покладів. Для ілюстрації цього процесу побудовано годограф (рис. 3).

Дашавське підземне сховище експлуатується в усталеному режимі циклічної експлуатації. Параметри газосховища періодично повторюють однакові значення, а криві нагнітання і відбору у площині описуються однаковими кривими. Саме такий режим прийнято називати «граничним циклом».

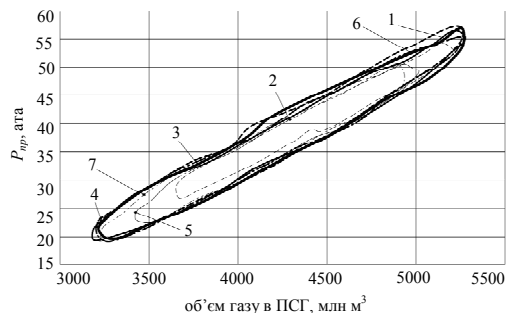


Рис. 3. Годограф Дашавського ПСГ з періоду закачування 2006 р. по період відбору газу 2010 – 2011 рр.:
 1 – 2005 – 2006 рр.; 2 – 2006 – 2007 рр.;
 3 – 2007 – 2008 рр.; 4 – 2008 – 2009 рр.;
 5 – 2009 – 2010 рр.; 6 – 2010 – 2011 рр.;
 6 – 2010 – 2011 рр.

Як видно з рис. 3, криві годографа накладаються одна на одну. Максимальний та мінімальний пластові тиски залишаються незмінними. Цей факт говорить про те, що циклічна експлуатація сховища відбувається в усталеному режимі стабільно. Зниження величини максимального тиску в газосховищі свідчить про збільшення величини газонасиченого порового об’єму

ПСГ. Стабілізація кута годографа до осі абсцис говорить про відсутність відтоку газу з робочої зони і наповнення застійних зон. Це підтверджується накладаннями кривих залежності та відхиленнями в сторону ординат кривої сезону закачування 2006 року. Наслідком успішної дії заходів з регулювання роботи сховища є стабілізація роботи ПСГ.

Загалом в історії експлуатації Дашавського ПСГ можна виділити наступні періоди: період виведення сховища на проектний режим, період формування стійкого об'єму ПСГ, період роботи в установлено-му режимі циклічної експлуатації.

Перший етап нагнітання буферного об'єму газу у ПСГ розпочався 1973 року. За перший етап було закачано 21,061 млн м³ газу, при цьому пластовий тиск виріс з 0,54 до 0,72 МПа. Наступні етапи нагнітання проводились протягом 1973 – 1981 рр. Годограф циклічної експлуатації покладу Г наведено на рис. 4.

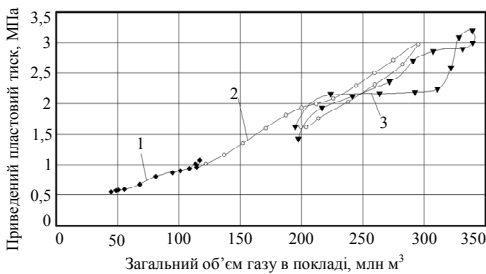


Рис. 4. Годограф циклічної експлуатації покладу Г Дашавського ПСГ: 1 – 1973 – 1975 рр.; 2 – 1975 – 1976 рр.; 3 – 1976 – 1981 рр.

У зв'язку з незначними об'ємами нагнітання-відбору в 1976 – 1981 рр., відсутністю точних даних по загальному об'єму газу в покладі та пластовому тиску петля годографа має складну структуру, тому використання даних на цей період для визначення газонасиченого об'єму покладу призведе до значної похибки.

Фактично циклічна експлуатація сховища розпочалась 1981 року. Пластовий тиск у кінці періоду нагнітання 1981 року

виріс до 4,77 МПа, а в кінці періоду відбору 1982 року знизився до 1,42 МПа. Згідно результатів максимальний пластовий тиск спостерігався у вересні-жовтні 1983 року та склав 6,1 МПа при загальному об'ємі в покладі 19 млн м³.

Наступний рік циклічної експлуатації сховища характеризується збільшенням максимального пластового тиску до 6 МПа, а загальний об'єм газу в покладі збільшився до 757 млн м³. 1985 – 1986 рр. були останнім циклом окремої експлуатації покладів Г та Е. У цей період збереглась загальна тенденція до зменшення максимального пластового тиску газу. Основний період нагнітання буферного газу припадав на 1985 рік. Відповідно до фактичних даних при цьому пластовий тиск виріс із 1,98 до 4,09 МПа. У поклад було закачано 1359,89 млн м³ при сумарному відборі всього в 119,24 млн м³. Об'єм нагнітання природного газу на 1 МПа підняття пластового тиску склав 644,5 млн м³/МПа.

ВИСНОВКИ

Аналізуючи циклічну експлуатацію покладу Г Дашавського ПСГ за останні періоди можна зробити наступні висновки:

- режим роботи газосховища відповідає режиму розробки покладу на виснаження, тобто режим роботи – газовий;
- у процесі циклічної експлуатації спостерігались суттєві зміни в покладі, які призвели до зниження пластового тиску газу при постійному зростанні загального об'єму газу в сховищі.

Останні цикли експлуатації підтверджують вихід сховища на проектний режим, тобто газогідродинамічну стабілізацію його роботи з тенденцією до зменшення перетоків буферного газу в застійні зони, і відповідно, до зосередження більшого об'єму активного газу в покладі Г + Е, де розташовані нагнітально-видобувні свердловини.

Наступні періоди експлуатації Дашавського ПСГ характеризуються практично

однаковими об'ємами нагнітання та відбору, при цьому спостерігається зниження максимального тиску газу в сховищі. На кривих годографа цей процес характеризується рухом лінії «нагнітання – відбір» ліворуч при сталому загальному об'ємі газу у сховищі.

Аналізуючи дані циклічної експлуатації Дашавського ПСГ можна зробити наступні висновки:

– режим роботи сховища газовий, про це свідчить прямолінійність кривих «нагнітання – відбір»;

– починаючи з 1993 року сховище працює в усталеному режимі циклічної експлуатації.

З наведеного можна зробити висновок, що метод побудови годографа для оцінки циклічної експлуатації можливий до застосування в ПСГ з абсолютно різною структурою та режимом роботи. Сучасні існуючі методи аналізу циклічної експлуатації не дають змоги достатньо чітко визначити етапи формування сховища. Тому можна зробити висновок, що використання методу годографа дає змогу константувати не тільки наявність втрат пластової енергії, але й стабілізацію режиму циклічної експлуатації сховища; встановити розбіжність між об'ємами газу, що нагнітався та об'ємами, що відбирались.



СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Купчинський О.А. Особливості циклічної експлуатації Краснопіпівського ПСГ / О.А. Купчинський // Експлуатація підземних сховищ газу. – 2004. – № 2(8). – С. 45 – 52.

2. Купчинський О.А. Особливості прогнозування режимів експлуатації ПСГ, створених у складних геологічних умовах / О.А. Купчинський // Техніка і технології. – 2005. – № 4(17). – С. 15 – 18.

3. Заяць В.В. Аналіз циклічної експлуатації Богородчанського ПСГ / В.В. Заяць, М.Д. Гебура, П.Р. Гімер [та ін.] // Науковий вісник Національного технічного університету нафти і газу. – 2004. – № 2(8). – С. 66 – 72.

4. Гімер Р.Ф. Развитие методов проектирования, создания и эксплуатации подземных газохранилищ в истощенных залежах: дисс. ... доктора техн. наук / Гімер Роман Федорович. – Івано-Франковск, 2007. – 325 с.

5. Гімер Р.Ф. Підземне зберігання газу: навч. посіб. / Гімер Р.Ф., Гімер П.Р., Деркач М.П. – Івано-Франківськ: Факел, 2001. – 215 с.

6. Лурье М.В. Предельные циклы подземных газохранилищ / М.В. Лурье // Газовая промышленность. – 1997. – № 12. – С. 42 – 44.

7. Карачинский В.Е. Геотехнологические аспекты формирования системы подземных газохранилищ Украины / [Карачинский В.Е., Савкив Б.П., Федутенко А.Н., Фык И.М.] // НТЗ 50 лет ВНИИГаза – 40 лет ПХГ. – М.: ВНИИГаз, 1998. – С. 54 – 70.

ПРО АВТОРІВ

Чернова Оксана Тарасівна – к.т.н., доцент кафедри спорудження та ремонту газонафтопроводів і газонафтосховищ Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.