

# Інформаційно-Аналітична Система для Оптимального Планування Режимів Роботи Підземних Сховищ Газу

Назар Притула, Мирослав Притула  
Відд. розробки систем опт. план. та прогн. режимів  
роботи газотранспортної системи  
Філія «Науково-дослідний інститут транспорту газу»  
ПАТ «УКРТРАНСГАЗ»  
Харків, Україна  
nazar.prytula1@gmail.com, myroslav.prytula@gmail.com

Олег Гринів  
Аспірантура  
ІППМ ім. Я. С. Підстригача НАН України  
Львів, Україна  
oleg.gryniv@gmail.com

## Information Analytical System for Optimal Scheduling Operating Modes of Underground Gas Storages

Nazar Prytula, Myroslav Prytula  
Dept. for development of systems of optimal scheduling and  
forecasting operating modes of the gas transmission system  
Research and Design Institute of Gas Transmission PJSC  
Ukrtransgas  
Kharkiv, Ukraine  
nazar.prytula1@gmail.com, myroslav.prytula@gmail.com

Oleg Gryniv  
Postgraduate study  
Pidstryhach IAPMM of NASU  
Lviv, Ukraine  
oleg.gryniv@gmail.com

*Анотація*—В роботі приведена змістовна постановка режимних задач функціонування технологічно пов'язаних підземних сховищ газу в складі газотранспортної системи та характеристика алгоритмічного забезпечення їх розв'язання. Крім цього обґрунтована важливість розв'язання задач оптимального планування процесів нагнітання/відбирання газу та побудови екстремальних характеристик роботи ПСГ в залежності від реальних режимних параметрів роботи газотранспортної системи. Приведені результати апробації розроблених програмних модулів.

*Abstract*—The paper shows the problem statements of operation of technologically connected underground gas storages as the part of the gas transmission system and characteristics of algorithmic software for their solving. Besides this paper justify the importance of solving problems of optimal scheduling processes of gas injection and withdrawal and building extreme characteristics of the underground gas storages based on actual operational parameters of the transmission system. The results of testing the developed software modules are shown.

*Ключові слова*—підземне сховище газу; математична модель; оптимальний режим роботи; газотранспортна система; програмний комплекс; піковість; компресорна станція.

*Keywords*—underground gas storage; mathematical model; optimal operating mode; gas transmission system; peak capacity; compressor station

### I. ВСТУП

В складі української газотранспортної системи знаходиться 12 підземних газових сховищ (ПСГ) різної потужності, які нерівномірно розміщені по території країни. Більше 85% потужності знаходиться в західних областях України. Їх основна роль – забезпечення споживачів газом в умовах різкого похолодання, заміщення транзитних потоків в осінньо-зимовий період для надійного забезпечення газом східних регіонів України та забезпечення живучості системи у випадку появи нештатних ситуацій. Протягом опалювального сезону коливання рівня споживання газу багатократно міняється в значних межах. І тому найважливішою характеристикою ПСГ є її максимальна продуктивність, яку називають піковістю ПСГ. Фактори впливу на величину піковості залежать від

режиму функціонування ГТС та наповнюваності газом ПСГ. Газ в пластах – колекторах розділяють на буферний та активний. Буферний об'єм газу, як правило, є постійною величиною і служить “пружиною” для відбирання так званого активного газу. Газотранспортна система в останні роки є недовантаженою, що викликано суттєвим зменшенням загального споживання газу, і тому працює в непроектних режимах. Крім цього, із-за зміни джерел постачання газу в систему магістральних газопроводів, існують реверсні потоки. Необхідність наповнювати всі сховища газом відпала. В зв'язку із сказаним виникла проблема розподілу необхідних об'ємів активного газу по сховищах на етапі його нагнітання та розподілу об'ємів відбирання в непікових режимах їх експлуатації. Важливою умовою експлуатації ПСГ є постійна підтримка газосховищ в стані максимальної піковості протягом всього сезону відбирання газу.

Рішення проблеми, яка виникла, пов'язане із ефективним розв'язанням таких задач:

побудова функцій піковості в залежності від тиску на виході компресорної станції;

розподіл об'ємів зберігання газу для досягнення піковості ПСГ на заданих інтервалах часу чи середньої піковості протягом всього сезону відбирання газу;

розподіл об'ємів відбирання газу в такий спосіб, щоб залишки невідбраного активного газу могли забезпечити максимальну піковість ПСГ.

Розроблена система для розв'язування задач об'єднує декілька програмних модулів. Основними є модулі інформаційного забезпечення задач, моделювання та оптимізації. Інформаційне забезпечення формується із заміряних даних, а також даних отриманих в процесі розв'язання задач ідентифікації параметрів моделей та прогнозування балансу газу в системі. Математична модель системи об'єднує в єдину гідравлічну систему моделі всіх технологічних об'єктів, які беруть участь в процесі нагнітання та відбирання газу, це, зокрема, фільтраційна модель пласту – колектора та привибійної зони свердловин, моделі руху газу в свердловинах та мережі збору газу, моделі компримування газу газоперекачуючими агрегатами (ГПА) на компресорній станції (КС). Така інтегрована модель дозволила поставити та розв'язати повний набір режимних задач включно із оберненими задачами для ідентифікації параметрів моделей системи.

Всі розраховані режими роботи ПСГ на програмному комплексі є оптимальними за паливних газом [1-8]. Приводи ГПА на більшості сховищ є газотурбінного типу. Це й же комплекс дозволив поставити та розв'язати задачу на максимальну продуктивність сховища (піковість) в залежності від тиску на виході КС.

Всі газосховища мають різні характеристики за об'ємами зберігання газу, піковістю та затратами зберігання одиниці об'ємів газу. В умовах різкого зростання споживання газу основним критерієм є не оптимальність, а піковість ПСГ. І тому в умовах обмежених ресурсів газу

важливо його розмістити в пластах ПСГ за критерієм досягнення максимальної піковості на прогнозованих інтервалах часу. Найчастіше, в умовах нечіткого прогнозування споживання газу, диспетчерські служби розміщують газ за критерієм максимальної середньої піковості на всьому інтервалі часу роботи всіх ПСГ в піковому режимі їх роботи. Як, легко бачити, для забезпечення критерію оптимальності необхідно розподілити об'єм активного газу в такий спосіб, щоб робота всіх газосховищ в піковому режимі починалася і завершувалася в один і той же час.

Стратегія експлуатації ПСГ є такою, щоб постійно підтримувати максимально можливу їх піковість. В цьому випадку необхідно розподіляти прогнозований об'єм відбирання газу між сховищами в такий спосіб, щоб наявний активний газ в сховищах забезпечував максимальну сумарну піковість.

Розроблене алгоритмічне та програмне забезпечення дозволяє розв'язувати і більш складні задачі, які забезпечують ефективну експлуатацію ПСГ. В процесі формування оптимального плану роботи ГТС є можливість вибирати тиск на виходах КС ПСГ для забезпечення оптимальної роботи сумісної роботи ГТС та ПСГ.

## II. ПРО СУМАРНУ ПІКОВІСТЬ ТА ОПТИМАЛЬНІСТЬ

Оптимальна сумісна робота ПСГ і ГТС вимагає: узгодженого режиму роботи ПСГ з роботою МГ; у випадку водонапірного режиму – узгодження темпів відбирання та темпів руху газоводяного контакту (ГВК); при заданих об'ємах зберігання, в гідравлічно незв'язних пластах багато пластових пластів – колекторів, оптимально розподілити об'єми між ними; оптимального об'єму буферного газу, який пов'язаний з можливостями регулювання тиску в магістралі; використання в повній мірі періодів безкомпресорного нагнітання та відбирання газу є можливість їх встановлення при заданих планах нагнітання та відбирання газу; узгодженого тиску газу в магістральному газопроводі.

В останні роки постачальниками газу виступає декілька фірм. На встановлення об'ємів газу та їх постачальників впливають економічні чинники, що вимагає постійно проводити адаптацію режимів роботи ПСГ та ГТС до зміни об'ємів та джерел їх розміщення, для поступлення газу в систему газопроводів. Із різким зростанням вартості газу на внутрішньому ринку, особливо для побутового використання, змінюються і об'єми його споживання. Існуюча система субсидій не стимулює проведення широкомасштабного впровадження систем тепло зберігання. Для розроблення надійного прогнозування споживання на даний час часові ряди ще є надто короткими. В найближчий час очікується впровадити систему надання субсидій в грошовій формі, що буде стимулювати до економії газу. В опалювальний сезон основним фактором впливу на об'єми відбирання газу із ГТС є температура зовнішнього повітря. Часто температурний фон по регіонах країни може суттєво відрізнятись, що вимагає оперативного диспетчерського втручання для вчасного балансування системи та її підсистем.

Будемо розрізняти піковість на заданому інтервалі часу і пікову характеристику ПСГ. Пікова характеристика ПСГ будуватиметься однозначно і при потребі корегується за умови зміни параметрів технологічного обладнання. Пікова характеристика встановлює зв'язок між об'ємами акумульованого активного газу в пластах ПСГ і максимальними відборами за умов його відбирання за мінімальний час, якщо в початковий момент відбирання газу пласт містив максимальний об'єм активного газу. Як бачимо, що піковість, на певних інтервалах часу, може дещо перевершувати пікову характеристику. Це пов'язано з тим, що тиск в робочій зоні може бути дещо вищим ніж отриманий за умов побудови пікової характеристики. Пікова характеристика залежить ще і від тиску в магістральному газопроводі. Якщо ДКС укомплектована ГПА з газотурбінними приводами, то пікова характеристика може мати розриви та скачки (див. рис. 1). Сумарна розрахована піковість представлена на рис. 2-3. Всі розрахунки в роботі проведені на програмному комплексі «ПСГ режим» [1-8].

### III. ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС. ВЕБ-ЗАСТОСУНОК «ПСГ»

Означимо два поняття. Так поняття «розподіл» означає структуру даних, яка містить свою назву, тип, дату, користувача, який створив, а також масив відповідних значень для кожного ПСГ, або ж розподілів іншого типу. Поняття «форма» означає структуру даних, яка містить свою назву, тип задачі, результати якої представляє, дату, сезон, користувача, який створив, а також масив заповнених збережених розподілів, які використовуються даною формою.

Інформаційне забезпечення задач формується на основі даних, які містяться в журналах Центрального диспетчерського департаменту, а також необхідних даних для роботи застосунку, які збережені користувачами у вигляді «форм» як результати виконаних задач та «розподілів» і які сформовані як автоматично, так і створені безпосередньо за участю користувача.

Більшість «форм» представляються у табличному вигляді. Окремі типи «форм» для відповідних задач можуть результати розрахунків зберігати у зручному вигляді для їх графічного представлення. Кожна задача, а точніше її тип, прив'язані до певного режиму роботи ПСГ. Існують такі режими роботи: відбирання; нагнітання; відбирання/нагнітання. Передбачені в системі такі типи задач:

- максимальна витрата на інтервалі часу;
- нагнітання/відбирання, максимальна витрата на інтервалі часу;
- мінімальний час повного відбирання/повного нагнітання ПСГ;
- нагнітання/відбирання, мінімальний час повного відбирання/повного нагнітання ПСГ;
- прогнозний та фактичний режим роботи;
- прогнозний режим максимальної витрати газу;

оперативний прогноз;

максимальна добова поінтервальна продуктивність.

Розв'язування того чи іншого типу задач активізується для відповідних режимів роботи ПСГ. Розрахункові задачі містять поля для введення користувачем вхідних даних для розрахунку. анування режимів роботи ПСГ проходить на певному наборі Форм. Заповнення стовпці і рядків форм, при необхідності, проходить автоматично як даними з інформаційної бази так і даними, які отримані в результаті розв'язування вище перерахованих задач. Для кожної задачі можна створити нову форму, або завантажити для перегляду вже раніше збережену. При наявності у користувача прав, можна перейти у режим редагування форми. Після цього для нових форм є можливість їх збереження, а для завантажених – збереження (при наявності прав), збереження копії, видалення (при наявності прав), керування дозволами (для користувачів, які створили дану форму). Розроблено функціонал керування дозволами (перегляду, редагування, видалення) для форм та розподілів. Розроблена система запитів може надати дозвіл та їх схвалення або заборона власниками форм та розподілів.

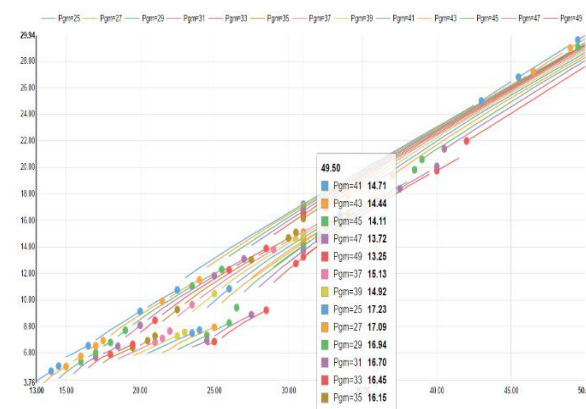


Рис. 1. Графік залежності максимальної продуктивності відбирання газу з ПСГ у млн.м<sup>3</sup>/добу від пластового тиску у атм при різних тисках газу у магістральному газопроводі

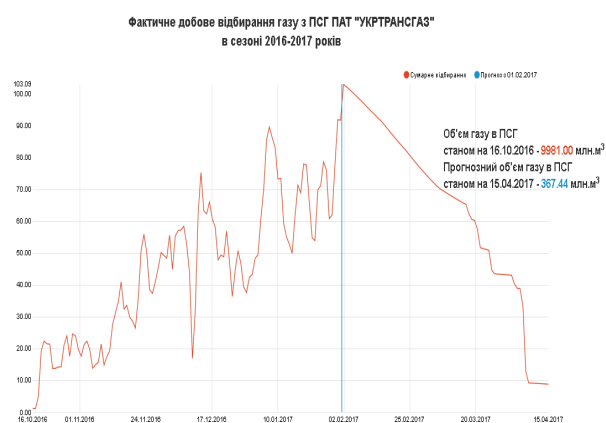


Рис. 2. Фактичне добове відбирання газу (до вертикальної лінії). Прогнозний графік максимального відбирання газу (після вертикальної синьої лінії)

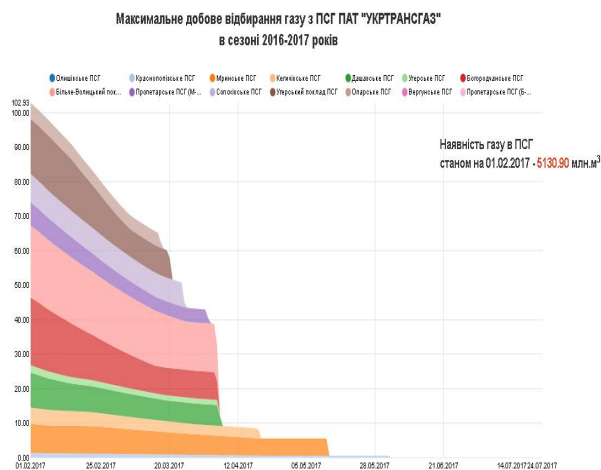


Рис. 3. Максимальне розрахункове щодобове відбирання газу протягом сезону по ПСГ (відмічене різними кольорами)

При створенні форм, автоматично відбувається створення і заповнення їх актуальними даними з БД розподілів. Частина даних є обов'язковими для даного типу форми, інша формується способом вичитування розподілів, за умовчанням, для певних типів розподілів. При бажанні, розподіли, які використовуються формою, можна замінити на інші, доступні користувачеві, з випадного списку для кожного типу розподілу. У режимі редагування форми з'являється можливість в таблиці редагувати значення певних доступних розподілів.

#### IV. ВИСНОВКИ

В процесі експлуатації розробленого програмного комплексу показано, що:

- на величину фільтраційних параметрів найбільш значний вплив має ближня зона вибою свердловин;
- для управління режимами роботи ПСГ не завжди обов'язковим є знання фільтраційних коефіцієнтів кожної свердловини для цього досить знати їх середнє значення, яке, на значних інтервалах часу, є досить стабільним;
- розподіл пластового тиску у всій області пласта-колектора формується протягом значного інтервалу часу і тому для його відтворення необхідно проводити моделювання роботи ПСГ протягом трьох-п'яти років;
- розрахунок розподілу пластового тиску вимагає проводити одночасно з ідентифікацією розподіленних параметрів пласта, що забезпечує досягнення збігу розрахованих та заміряних середньо-пластових тисків в області відборів та нагнітання газу;
- процесу проведення оптимізації роботи окремих та груп технологічно поєднаних ПСГ передуює оцінка можливого його потенціалу;
- піковість газосховищ пов'язана із пропускнуою спроможністю об'єктів газосховищ;

потенціал збільшення продуктивності пласта і ПСГ в цілому не завжди

пов'язаний з потенціалом збільшення продуктивності свердловин;

існує гранична межа економічної доцільності нарощення густини перфораційних каналів свердловин;

розроблене алгоритмічне та програмне забезпечення розв'язування задач сезонного та оперативного планування режимів експлуатації ПСГ та груп технологічно поєднаних ПСГ вимагає автоматичної актуалізації системи побудови функції піковості газосховищ у процесі їх роботи.

Оптимальна робота ПСГ, груп технологічно поєднаних ПСГ та сумісної роботи ПСГ і ГТС забезпечується багаторівневою системою оптимального планування та оптимальною експлуатацією на всьому періоді нагнітання та відбирання газу. Оптимізація ПСГ проходить на етапах формування: оперативного балансу підсистем та системи в цілому ГТС; оптимального режиму ГТС і ПСГ; планування та процесу керування експлуатацією роботи груп технологічно поєднаних ПСГ; оптимізацією режимів роботи безпосередньо кожної ПСГ тощо. Реалізація потенціалу оптимізації роботи ПСГ проводиться вибором тисків на виходах ДКС, збільшенням часового інтервалу достовірного прогнозування, оптимізацією роботи ДКС, завчасною реакцією системи на зміни балансових показників роботи ГТС.

#### ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Б. О. Клюк, Р. Л. Вечерик, Ю. Б. Хаєцький, Н. М. Притула, Я. Д. П'янило, М. Г. Притула, "Підземні сховища газу в системі забезпечення ефективної експлуатації газотранспортної системи: проблеми розвитку й експлуатації", *Нафт. і газ. промисл.*, № 6, С. 7–10, 2009.
- [2] Н. Притула, М. Притула, Р. Боровий, О. Химко, "Математична модель Більче-Волицького сховища газу", *Вісник НУ «Львівська політехніка»: Комп. науки та інформ. техн.*, № 686, С. 192–198, 2010.
- [3] І. Боярин, Р. Боровий, О. Гринів, Н. Притула, В. Ямнич, "Оптимізація роботи багато цехових компресорних станцій з різнотипними газоперекачуючими агрегатами", *Вісник НУ «Львівська політехніка»: Комп. науки та інформ. техн.*, № 672, С. 326–335, 2010.
- [4] Н. Притула, "Математичні моделі заміщення буферного газу азотом у пластах газосховища", *Фіз.-мат. мод. та інформ. техн.*, вип. 14, С. 115–123, 2011.
- [5] Н. М. Притула, Я. Д. П'янило, М. Г. Притула, Підземне зберігання газу (математичні моделі та методи). Львів: Видавництво «Растр-7», 2015.
- [6] О. Гринів, Н. Притула, М. Притула, "Математичне моделювання та оптимізація сумісної роботи газосховищ", *Вісник НУ «Львівська політехніка»: Комп. науки та інформ. техн.*, № 744, С. 243–248, 2012.
- [7] Н. М. Притула, М. Г. Притула, Р. Я. Шимко, С. В. Гладун, "Розрахунок режимів роботи Більче-Волицько-Угерського підземного сховища газу (програмний комплекс)", *Нафтогазова галузь України*, № 3, С. 36–41, 2013.
- [8] Н. Притула, О. Гринів, Р. Вечерік, Р. Бойко, "Заміщення буферного газу азотом у пластах газосховища (моделі, методи, числові експерименти)", *Нафтогазова галузь України*, № 4, С. 32–39, 2013.