

**Н.М. Притула**

канд. техн. наук

**М.Г. Притула**

канд. фіз.-мат. наук

ТОВ «Математичний центр»

Центр математичного моделювання ІППММ

ім. Я.С.Підстригача НАН України

**Р.Я. Шимко**

канд. техн. наук

**С.В. Гладун**

ПАТ «Укртрансгаз»

## Розрахунок режимів роботи Більче-Волицько-Угерського підземного сховища газу (програмний комплекс)

УДК 621.64.029

*В роботі подано опис функціональності розробленого програмного комплексу, що апробований на реальних даних. Приведено приклади розв'язування конкретних задач та зроблено аналіз припущень, на яких ґрунтується розробка моделюючого комплексу.*

*В работе дается описание функциональности разработанного программного комплекса, апробированного на реальных данных. Приведены примеры решения конкретных задач и сделан анализ предположений, на которых основывается разработка моделирующего комплекса.*

*The functionality description of the developed software approved on real date is given in the article. Examples of the solution of specific problems and the analysis of assumption on which development of the modeling software is based are described.*

Одним із основних інструментів для науково обґрунтованого прийняття рішень стосовно раціональної експлуатації газового сховища є моделювання. Розробка моделей та моделюючих комплексів є довготривалим процесом. Щоб стати ефективним інструментом у роботі диспетчерських служб, моделюючі комплекси повинні відповідати певним вимогам, серед яких: простий інтерфейс користувача, автоматизація процесу актуалізації технологічної схеми та вхідних даних, швидка реакція системи на запити користувача, візуалізація результатів розрахунку, автоматизація процесу побудови моделі підземного сховища газу (ПСГ) та розв'язування задач тощо. Розроблений моделюючий програмний комплекс «ПСГ Режим» задовольняє більшу частину цих вимог.

Аналізуючи сучасний стан розробок із цієї тематики, бачимо, що більшість монографій та статей у доступній періодиці присвячено, в основному, питанням видобування вуглеводнів, газорідних сумішей із можливими фазовими переходами та дослідженню свердловин. Проблемами моделювання газосховищ займається незначна кількість дослідників, зокрема [1–11]. Фільтраційні та газодинамічні процеси, які проходять у ПСГ, є більш динамічними та змінними, ніж у газових родовищах. І тому на них суттєво впливають неоднорідності за проникністю, анізотропією, а також існуючі невизначеності. Дослідження зазначених процесів потребує побудови високоточних моделей та швидкозбіжних методів їх реалізації. Дати об'єктивну оцінку відомим розробкам на основі проведення їх порівняльної характеристики проблематично через їх відсутність на вітчизняному ринку. Багато підходів до моделювання ПСГ ґрунтуються на балансовій моделі його пласта (пластів) або декларується, що пластові тиски визначаються чи можуть визначатися трьохвимірною гідродинамічною моделлю в середовищі Eclipse. Часто згадується використання засобів моделювання компанії Schlumberger (info-sis@slb.com) для розрахунку режимів роботи промислів як єдиної термогідралічної системи [12].

### Коротка характеристика об'єкта моделювання

У 1983 році розпочалося закачування газу у виснажений XVI горизонт Більче-Волицького родовища. Це стало початком створення одного з найбільших у Європі Більче-Волицько-Угерського ПСГ (БВУ ПСГ), яке має найбільш сприятливі умови зберігання газу – відносно невелика глибина залягання пласта-колектора, високі фільтраційно-ємнісні геолого-фізичні параметри, достатня герметичність, зв'язок із газотранспортною системою та вигідне географічне розташування.

Згідно з проектними рішеннями, розбурювання, облаштування та підключення свердловин ПСГ до 1994 року було завершено. Збудовано газозбірні пункти (ГЗП) 1, 2, 3, 4, до яких підключено 291 свердловину на Більче-Волицький поклад і 50 свердловин на Угерський поклад. Більче-Волицька дотискувальна компресорна станція (ДКС) обладнана 28 газоперекачувальними агрегатами (ГПА) Ц-16 і ГПА Ц-6,3.

Зазначене ПСГ з'єднане з системою газопроводів Івацевичі–Долина III, Київ–Захід України–II, Більче–Волиця–Долина, який через своє продовження газопровід Долина–Богородчани з'єднується з магістральними газопроводами «Союз» та Уренгой–Помари–Ужгород.

### Характеристика програмного комплексу

Розроблений програмний комплекс забезпечує: розрахунок термогідралічних параметрів для всіх об'єктів, які беруть участь у нагнітанні, зберіганні та відбиранні газу; автоматизацію процесу формування моделі у випадках зміни обладнання в процесі модернізації та реконструкції окремих об'єктів і ПСГ у цілому; адаптацію моделей технологічних об'єктів до змінних умов їх роботи та їх газогідродинамічного стану; простоту експлуатації, впровадження, супроводження та актуалізації даних; оперативне проведення багатократних розрахунків для пошуку оптимальних режимних параметрів на значних інтерва-

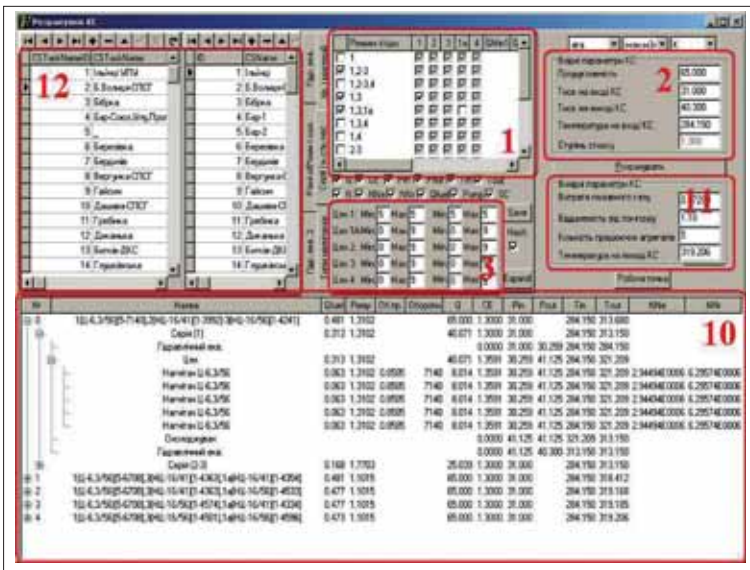


Рис. 1. Головна форма програми «Розрахунок ДКС Більче-Волиця»

лах часу та, у разі необхідності, порівняльного аналізу можливих варіантів реконструкції ПСГ.

Розроблені і реалізовані основні вимоги до методів, алгоритмічного та програмного забезпечення.

1. Знаходження параметрів газівих потоків у складних газогідродинамічних системах зорієнтоване, в основному, на забезпечення виконання першого і другого законів Кірхгофа (система вибій свердловин–магістральний газопровід представлена в термінах теорії графів) і не прив'язане до типу математичного подання моделей об'єктів.

2. Збіжність методу забезпечується, якщо включити до розрахунку велику кількість об'єктів із різним математичним поданням моделей газових потоків в об'єктах.

3. Гідрравлічний розрахунок багатоцехових компресорних станцій із різнотипними газоперекачувальними агрегатами дає змогу враховувати індивідуальні характеристики кожного з них.

4. Розрахунок початкового розподілу тиску в області пластів-колекторів проводиться за значеннями тисків, замірними в окремих свердловинах із одночасною ідентифікацією параметрів неоднорідного пласта за умов виконання балансових показників. Розподіл тиску в пласті і дебітів свердловин розраховується за умов нестационарної фільтрації газу.

### Розрахунок режимів роботи ДКС

Розглянемо можливі варіанти роботи Більче-Волицько-Угерського (БВУ) газосховища. Технологічна схема БВУ ПСГ дозволяє багатоваріантну її роботу. Об'єднуючи потоки різних ГЗП, можна подати газ на вхід ДКС одним або двома потоками. Ці ж потоки на виході ДКС також можуть бути як об'єднаними, так і не об'єднаними і спрямованими в різні чи в один із газопроводів. Наявність двох потоків газу через ДКС умовно призводить до розбиття її технологічної схеми на дві незалежні ДКС (ДКС<sub>1</sub> і ДКС<sub>2</sub>).

Значна кількість цехів із різнотипними ГПА та з набором змінних різних проточних частин дає змогу реалізувати один і той же режим роботи ДКС багатьма способами. Критерій вибору кращого варіанта включає сумарну витрату паливного газу, віддаленість від зони помпажа, а також схему роботи ДКС. До критерію вибору входять параметри, які є конкуруючими, тобто мінімум за паливним газом не завжди забезпечує надійність (стійкість) роботи, яка характеризується певною віддаленістю від зони помпажа. У таких випадках потрібен розумний компроміс.

Задачі, які розв'язує програмний комплекс, зазначені у вікні розрахунку ДКС (рис. 1). Основна задача: за параметрами газу на вході та тиском газу на виході компресорної станції потрібно знайти параметри режимів роботи (10) (схем включення цехів, кількості ГПА на кожному ступені стиску газу, обертів та проточних частин відцентрових нагнітачів). У комплексі передбачено можливість знаходження за двома фіксованими з трьох можливих параметрів (2) (тиск на вході, тиск на виході КС та продуктивність) третього. Розв'язуючи режимні задачі, користувач програми має можливість задавати обмеження мінімальної та максимальної кількості ГПА (3), оберти на кожному зі ступенів кожного із цехів, типи наявних у цехах ГПА, величини кроків перебору, критерій оцінки оптимальності режиму та спосіб розподілу потоку газу між паралельно працюючими ГПА цеху. В основній задачі необхідно також вказати множини режимів (1), серед яких буде проводитися пошук оптимального.

### Розв'язані задачі

Режим роботи ПСГ розраховується для відомого початкового розподілу пластових тисків, температур і складу пластового газу на розглядуваний прогностичний період часу за заданим



Рис. 2. Головна форма програми та закладка «Обробка замірів». Верхні два графіки – розрахований і замірний пластові тиски в області відбирання газу, а нижній – надходження (надвіско) та відбирання (нижче осі) газу

розподілом витрати (відбирання чи нагнітання) та тиску газу в магістральному газопроводі. Втрати тиску в привибійній зоні і робочій свердловині описуються згідно з [12]. Така модель роботи свердловини потребує наявності відомих фільтраційних коефіцієнтів, коефіцієнтів гідравлічного опору рухові газу в свердловині, а також в об'язці свердловини. Під час розрахунку режиму роботи свердловин передбачено можливість урахування обмежень на максимальні дебїти та депресії тиску на пласт в області привибійних зон.

Гідравлічні втрати в шлейфово-колекторній системі, як і у привибійних зонах, свердловині та об'язці свердловин, розраховують за допомогою одного і того ж програмного комплексу, який використовується для розрахунку розподільних мереж високого тиску.

Існує набір прямих і обернених режимних задач, які потрібно розв'язати. До прямих задач відносимо ті, для яких процес обчислення проводиться у напрямку від пласта до входу ДКС чи до входу в магістральний газопровід. Якщо вхідними даними є тиск або витрата на вході ДКС (у магістралі), а потрібно розрахувати пластовий тиск на контурі області живлення свердловин, то в цьому випадку задачу називатимемо оберненою. Всі постановки задач проведено для ізотермічного випадку. Питання термо-гідравлічного розрахунку розглянуто в кінці параграфа. В усіх задачах вважаємо заданими граф-схему ШКС-ВС, її геометричні параметри (внутрішні діаметри та довжини) та функцію втрат тиску на об'язці гирл свердловин залежно від витрати газу та буферного тиску для всіх наявних типів об'язок.

#### Задача 1

**Задано:** коефіцієнти фільтраційних опорів привибійних зон свердловин, гідравлічні опори свердловин та ділянок шлейфово-колекторної системи; одна з величин – середній пластовий тиск в області відбору; пластовий тиск для кожної свердловини, сумарний дебїт свердловин, дебїт кожної свердловини; одна із величин на ГЗП – тиск або витрата.

**Знайти:** дебїт кожної свердловини, витрату чи тиск газу на ГЗП (те, що є незаданим).

Потрібно пам'ятати, що на розподіл пластового тиску суттєво впливають параметри пласта (пористість, проникність, ефективна товщина, геологічні, геометричні та ін.), які відомі здебільшого досить наближено. І тому дуже часто вхідні параметри задовольняють відповідні математичні рівняння та системи також наближено.

#### Задача 2

**Задано** (протягом сезону відбирання/нагнітання): одна із величин – середній пластовий тиск в області відбору; пластовий тиск для кожної свердловини, сумарний дебїт свердловин, дебїт кожної свердловини; одна із величин на ГЗП – тиск, витрата, тиск і витрата.

**Знайти:** коефіцієнти фільтраційних опорів привибійних зон свердловин, гідравлічні опори свердловин і шлейфово-колекторної системи.

Коефіцієнти гідравлічних опорів ділянок ШК для кожного ГЗП відрізняються незначно, і тому вважаємо їх рівними. Допустимість такого припущення підтверджують проведені числові експерименти.

#### Числові експерименти

Для Більче-Волицько-Угерського газосховища реалізовано

Таблиця 1

#### Відбирання газу

День	$Q_1$ (млн м <sup>3</sup> / добу)	$Q_{1p}$ (млн м <sup>3</sup> / добу)	$Q_2$ (млн м <sup>3</sup> / добу)	$Q_{2p}$ (млн м <sup>3</sup> / добу)	%
10	124,6	0,12	–	–	–
20	127,8	0,23	122	0,32	145
30	128,9	0,33	122	0,44	139
40	127,7	0,43	122	0,8	194
50	128,5	0,57	122	1,04	191
60	123,8	0,73	100	0,8	136
70	113,2	0,78	100	0,91	131
80	101,6	0,78	95	0,95	131
90	95,1	0,78	89	0,97	132
100	81,5	0,73	81	0,95	131
110	70,9	0,63	66	0,76	130
120	66,9	0,63	61,5	0,72	125
130	57,3	0,63	–	–	–
140	47,8	0,52	–	–	–
150	43	0,47	–	–	–
160	38,2	0,42	–	–	–
165	38,2	0,42	–	–	–

Таблиця 2

#### Нагнітання газу

День	$Q_1$ (млн м <sup>3</sup> / добу)	$Q_{1p}$ (млн м <sup>3</sup> / добу)	$Q_2$ (млн м <sup>3</sup> / добу)	$Q_{2p}$ (млн м <sup>3</sup> / добу)	%
10	–	–	–	–	–
20	102,2	0,14	–	–	–
30	106,8	0,18	100	0,27	164
40	106,7	0,21	100	0,29	144
50	106,5	0,26	100	0,34	140
60	106,4	0,29	100	0,38	138
70	106,3	0,32	100	0,46	154
80	106,2	0,35	100	0,63	193
90	102,8	0,36	100	0,66	186
100	108,6	0,42	100	0,68	177
110	101	0,42	100	0,71	172
120	107,1	0,47	100	0,74	169
130	100,8	0,47	100	0,77	165
140	106,3	0,52	100	0,83	169
150	102,4	0,62	100	0,85	139

Таблиця 3

#### Режими роботи ДКС Більче-Волиця

День	Режим роботи компресорної станції
30	[1]1:Ц-6,3/41[6318], [2]9,10,12:НЦ-16/56[4124]
40	[1]1:Ц-6,3/41[6108], [2]9,10,12:НЦ-16/56[4395]
50	[1]1:Ц-6,3/41[6035], [2]9,10,12:НЦ-16/56[4936]
60	[1]1:Ц-6,3/41[6879], [2]9,10,12:НЦ-16/56[5067]
70	[2]9,10,12,13:НЦ-16/56[5087], [4]24:Ц-6,3В/29[6448]
80	[2]9:НЦ-16/56[4765],11:НЦ-16/41[4671] – [2]12,13:НЦ-16/56[4119], [4]24,25:Ц-6,3В/29[6204] – [4]27,28:Ц-6,3В/41[6300]
90	[2]9:НЦ-16/56[4765],11:НЦ-16/41[4671] – [2]12,13:НЦ-16/56[4349], [4]24,25:Ц-6,3В/29[6204] – [4]27,28:Ц-6,3В/41[6642]
100	[2]9:НЦ-16/56[4924],11:НЦ-16/41[4674] – [2]12,13:НЦ-16/56[4685], [4]24,25:Ц-6,3В/29[6006] – [4]27,28:Ц-6,3В/41[6092]
110	[2]9:НЦ-16/56[4924],11:НЦ-16/41[4674] – [2]12,13:НЦ-16/56[4872], [4]24,25:Ц-6,3В/29[6006] – [4]27,28:Ц-6,3В/41[6468]
120	[2]9,10:НЦ-16/56[5150] – [2]12,13:НЦ-16/56[4410], [4]24,25,26:Ц-6,3В/29[6045] – [4]27,28:Ц-6,3В/41[6478]
130	[2]9,10:НЦ-16/56[4860],11:НЦ-16/41[5030] – [2]12,13:НЦ-16/56[4484], [4]24,25:Ц-6,3В/29[6325] – [4]27,28:Ц-6,3В/41[6254]
140	[2]9,10:НЦ-16/56[4692],11:НЦ-16/41[4872] – [2]12,13:НЦ-16/56[4562],14:НЦ-16/76[4564], [4]24,25:Ц-6,3В/29[6086] – [4]27,28:Ц-6,3В/41[6511]
150	[1a]22:Ц-16/29-1.6[5506],23:НЦ-16/41[3985] – [2]9,10,12:НЦ-16/56[4279] – [3]15,16,17,18,19:НЦ-16/100[4506]



Таблиця 4

Розраховані сумарні добові відбори за різних пластових тисків у робочих зонах та заданих тисків на входах ДКС та МГ

Середній тиск у робочій області (МПа)		Добовий об'єм відбору з (млн м <sup>3</sup> /добу)		Тиск на вході (МПа)		Сумарний добовий відбір (млн м <sup>3</sup> /добу)
Більче-Волицького	Угерського	Більче-Волицького	Угерського	першої ДКС	у МГ	
5,50	3,60	123,8	20,9	1,80	4,00	144,6
5,20	3,50	115,0	19,9	1,80	4,00	134,9
4,90	3,40	106,2	18,9	1,80	4,00	125,1
4,60	3,30	97,3	17,9	1,83	4,00	115,2
4,30	3,20	88,2	16,8	1,83	4,00	105,1
4,00	3,10	78,9	15,8	1,83	4,00	94,7
3,70	3,00	69,3	14,7	1,83	4,00	84,0
3,40	2,90	59,3	13,6	1,83	4,00	72,9
3,05	2,80	46,9	12,4	1,85	4,00	59,3
2,75	2,70	35,1	11,2	1,85	4,00	46,3
2,45	2,60	21,1	9,9	1,85	4,00	30,9
2,10	2,45	7,1	7,64	1,85	4,00	14,7

газовий режим відбирання та нагнітання газу. В межах існуючих точностей заміряних даних і зміни пластових тисків водонапірний режим роботи не проявляється.

Комплекс «ПСГ Режим» допомагає проводити адаптацію моделей технологічних об'єктів на значних часових інтервалах. Для цього реалізована можливість візуалізації розрахованих і заміряних даних, що дає можливість швидко оцінити вплив зміни того чи іншого параметра на зміну пластового тиску. Програмний комплекс «ПСГ Режим» реалізований у середовищі DELPHI і має зручний інтерфейс користувача, який відповідає основним вимогам до графічних інтерфейсів.

Головне меню комплексу складається із: назви періоду; початкових даних (сумарного об'єму газу в газосховищі, температури газу в пласті, середньопластових тисків у Більче-Волицькому та Угерському пластах); значень основних пара-

метрів пласта (пористість, проникність у робочій області та в областях, які межують із пластом, середня потужність пласта); графічного вікна з можливістю вибору набору даних для графічного представлення.

Розрахунок пластового тиску Більче-Волицького ПСГ протягом чотирьох періодів відбирання/нагнітання газу показано на рис. 2.

#### Приклад 1

Числові експерименти проведено на програмному комплексі для оцінки ефективності використання агрегатів фірми WARTSILA за паливним газом порівняно з існуючими агрегатами за заданих тисків на вході та виході ДКС. На виході ДКС приймалося 5,5 МПа.

Приклад розрахунку процентів у шостому стовпчику (див. дані з табл. 1):  $145\% = 100\% * (0,32/122)/(0,23/127,8)$ . Це свідчить

Таблиця 5

Розраховані сумарні добові відбори за різних пластових тисків у робочих зонах та заданих тисків на входах ДКС та МГ

Середній тиск у робочій області (МПа)		Добовий об'єм відбору з (млн м <sup>3</sup> /добу)		Тиск на вході (МПа)		Сумарний добовий відбір (млн м <sup>3</sup> /добу)
Більче-Волицького	Угерського	Більче-Волицького	Угерського	першої ДКС	у МГ	
5,50	3,60	116,6	17,3	2,30	4,00	133,9
5,20	3,50	107,4	15,8	2,30	4,00	123,2
4,90	3,40	97,9	14,6	2,30	4,00	112,6
4,60	3,30	88,3	13,3	2,33	4,00	101,6
4,30	3,20	78,3	11,9	2,33	4,00	90,2
4,00	3,10	67,8	10,4	2,33	4,00	78,3
3,70	3,00	56,7	8,8	2,33	4,00	65,5
3,40	2,90	44,5	6,9	2,33	4,00	51,4
3,05	2,80	27,6	4,5	2,35	4,00	32,1
2,75	2,70	5,4	0,1	2,35	4,00	5,4

Таблиця 6

Розраховані сумарні добові відбори за різних пластових тисків у робочих зонах та заданих тисків на входах ДКС та МГ

Середній тиск у робочій області (МПа)		Добовий об'єм відбору з (млн м <sup>3</sup> /добу)		Тиск на вході (МПа)		Сумарний добовий відбір (млн м <sup>3</sup> /добу)
Більче-Волицького	Угерського	Більче-Волицького	Угерського	першої ДКС	у МГ	
5,50	3,60	107,3	10,8	2,80	3,60	118,1
5,20	3,50	97,3	8,9	2,80	3,60	106,2
4,90	3,40	86,9	6,7	2,80	3,60	93,6
4,60	3,30	76,0	3,6	2,83	4,00	79,6
4,30	3,20	64,4	2,6	2,83	4,00	67,0
4,00	3,10	51,6	-	2,83	4,00	51,6
3,70	3,00	36,9	-	2,83	4,00	36,9
3,40	2,90	17,3	-	2,83	4,00	17,3

Таблиця 7

Розраховані сумарні добові відбори за різних пластових тисків у робочих зонах та заданих тисків на входах ДКС та МГ

Середній тиск у робочій області (МПа)		Добовий об'єм відбору з (млн м <sup>3</sup> /добу)		Тиск на вході (МПа)		Сумарний добовий відбір (млн м <sup>3</sup> /добу)
Більче-Волицького	Угерського	Більче-Волицького	Угерського	першої ДКС	у МГ	
<b>5,50</b>	<b>3,60</b>	95,3	7,4	3,50	4,00	<b>102,7</b>
<b>5,20</b>	<b>3,50</b>	84,0	–	3,50	4,00	<b>84,0</b>
<b>4,90</b>	<b>3,40</b>	72,0	–	3,50	4,00	<b>72,0</b>

про те, що газоперекачувальні агрегати ДКС Більче-Волиця використовують на 45 % паливного газу на одиницю об'єму газу більше, ніж ГПА фірми WARTSILA. У табл. 1 та 2: друга колонка – добові об'єми (млн м<sup>3</sup>) перекачування ГПА фірми WARTSILA; третя колонка – добові об'єми (млн м<sup>3</sup>) перекачування ГПА на ДКС Більче-Волиця; 130–165 день – наявні ГПА на ДКС Більче-Волиця не в змозі забезпечити запланованих режимів за відбиранням газу.

У табл. 3 представлено результати розрахунку режимів ДКС за даними табл. 2.

Структура стрічки режим [2]9,10:НЦ-16/56[4692], 11:НЦ-16/41[4872] – [2]12,13:НЦ-16/56[4562],14:НЦ-16/76[4564], [4]24,25:Ц-6,3В/29[6086] – [4]27,28:Ц-6,3В/41[6511] є такою: [№ цеху] № ГПА1, № ГПА2 [оберти] – [№ цеху] № ГПА1, № ГПА2 [оберти], [№ цеху] № ГПА1, № ГПА2 [оберти] – [№ цеху] № ГПА1, № ГПА2 [оберти], де «→» – роз'єднує ступені, а «,» – працюють паралельно.

#### Приклад 2

Проведено числові експерименти на предмет пікових відборів для заданих умов на пластові тиски в робочих зонах Більче-Волицького й Угерського пластів та тиски в магістральному газопроводі. Задавалися різні тиски на вході першого ступеня ДКС. Розраховувалися максимально можливі відбори із кожного пласта окремо. Після цього проводився розрахунок ДКС. В останньому стовпчику виділені жирним шрифтом ті добові відбори, які може забезпечити (існує режим роботи) ДКС (див. табл. 4–7). Звідси випливає, що основним фактором обмеження піковості ПСГ є ГПА ДКС.

#### Пояснення до прийятих припущень

1. Фільтраційні процеси в пластах-колекторах є постійно нестационарними.

2. Фільтраційні коефіцієнти вибійних зон свердловин не дають змоги однозначно розрахувати як дебіт свердловин, так і депресію пласта в області вибою свердловини.

Величина фільтраційних коефіцієнтів конкретних свердловин суттєво залежить від параметрів сформованих областей їх живлення. Ці області (живлення свердловин) є змінними в часі і формуються залежно від багатьох факторів, які впливають на розподіл пластового тиску і дебіт свердловин. Фільтраційні коефіцієнти є стабільними на значних інтервалах часу для систем видобування газу, оскільки фільтраційні процеси в родовищах газу є близькими до стаціонарних і їх області живлення, що встановлюються протягом значного часу, є досить стабільними.

Потрібно очікувати, що на величину фільтраційних параметрів найбільший вплив має ближня зона вибою свердловин. Встановлення середніх значень фільтраційних коефіцієнтів свердловин та їх дисперсій потребує обробки даних на значних інтервалах часу.

3. Для управління режимами роботи ПСГ не завжди є обов'язковим знання фільтраційних коефіцієнтів кожної свердловини. В багатьох випадках достатньо знати їх середнє значення, яке на значних інтервалах часу є досить стабільним. Стабільно розраховується і середньопластовий тиск в області відбирання / нагнітання газу. Для цього потрібно знайти середню проникність окремих частин пласта-колектора за замірами пластових тисків у наявних робочих та спостережних свердловинах протягом 3–5 останніх років.

4. Проведені числові експерименти підтвердили, що значне випадкове збурення пластового тиску з нульовим середнім у широкому діапазоні не призводить до зміни розрахованих параметрів газу на вході ДКС. Це обґрунтовує окремі сформульовані вище висновки.

5. Розподіл пластового тиску в усій області пласта-колектора формується протягом значного інтервалу часу. Для його відтворення необхідне моделювання роботи ПСГ також протягом певного часу (три–п'ять років). На розподіл пластового тиску впливають як режим відбирання та нагнітання газу, так і розподілені параметри (пористості, проникності) та геометричні параметри пласта-колектора. Більшість із указаних параметрів відомі наближено. Встановлення розподілу пластового тиску проводиться одночасно з ідентифікацією розподілених параметрів пласта. У такий спосіб вдається домогтися збігу розрахованих та заміряних середньопластових тисків в області відбирання та нагнітання газу. Відкритим є питання однозначності відтворення параметрів пласта (рівняння одне – фільтрації, а параметрів, які потрібно ідентифікувати, – багато).

#### Основні результати

Запропонована в роботі модель ПСГ та розроблені ітераційні процедури забезпечили достатню точність розрахунку розподілених параметрів (тисків, дебітів тощо) і з необхідною точністю забезпечують параметри матеріального балансу в пластах ПСГ. Потрібно зазначити, що на сьогодні двовимірний модель фільтрації газу в пористих неоднорідних пластах за точністю і оперативністю повністю задовольняє диспетчерські розрахункові задачі.

#### Список літератури

1. Бузинов С.Н. Расчет технологической цепочки пласт–скважина–шлейф–КС–соединительный газопровод при циклической эксплуатации ПХГ / С.Н. Бузинов, Г.Ф. Толкушин // Транспорт и хранение газа. – 1980. – № 7. – С. 13–20.

2. **Тетерев И.Г.** Управление процессами добычи газа / И.Г. Тетерев, Н.Л. Шешуков, Е.М. Нанивский. – М.: Недра, 1981. – 248 с.
3. **Ковалев А.Л.** Опыт создания и использования программных комплексов для расчета технологических показателей ПХГ / А.Л. Ковалев, Г.С. Крапивина // Международная конференция «Подземное хранение газа: надежность и эффективность». – М.: ООО «ВНИИГАЗ», 2007. – Т.1. – С. 144–151.
4. **Коротаев Ю.П.** Добыча, подготовка, транспорт природного газа и конденсата. Справочное руководство в 2-х т. / Ю.П. Коротаев, Р.Д. Маргулов. – М.: Недра, 1984. – 360 с.
5. **Лейбензон Л.С.** Движение природных жидкостей и газов в пористой среде / Л.С. Лейбензон. – М: Изд-во технико-теоретической литературы, 1947. – 245 с.
6. **Бузинов С.Н.** Программный комплекс «GAHRAN» расчета технологических режимов отбора и закачки газа на ПХГ / С.Н. Бузинов, А.Л. Ковалев, Г.С. Крапивина, Г.С. Трегуб // Сборник научных трудов «Подземное хранение газа. Проблемы и перспективы». – М.: ВНИИГАЗ, 2003. – С. 257–263.
7. **Вечерік Р.Л.** Математичне моделювання процесу руху газу в системі пласт підземного сховища газу–магістральний газопровід / Р.Л. Вечерік, Я.Д. П'янило, М.Г. Притула, Ю.Б. Хаєцький // Нефть и газ. – 2004. – № 6. – С. 83–89.
8. **Вечерік Р.Л.** Математичний аналіз акумулюючої здатності газоносних пластів ПСГ / Р.Л. Вечерік, Я.Д. П'янило, М.Г. Притула, Ю.Б. Хаєцький // Нафт. і газова пром-сть. – 2005. – № 6. – С. 55–59.
9. **П'янило Я.Д.** Неусталений рух газу в трубопроводах і пористих середовищах / Я.Д. П'янило, М.Г. Притула, Н.М. Притула // Фізико-математичне моделювання і інформаційні технології. – 2006. – Вип. 4. – С. 72–80.
10. **Лопух Н.Б.** Розрахунок початково- граничних умов в задачах фільтрації газу в пористих середовищах / Н.Б. Лопух, Я.Д. П'янило, М.Г. Притула, Н.М. Притула // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2009. – № 638. – С. 239–243.
11. **Притула Н.** Математична модель Більче-Волицького сховища газу / Н.Притула, М.Притула, Р.Боровий, О.Химко // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2010. – № 686. – С. 192–198.
12. **Ротов А.А.** Моделирование режимов работы газового промысла как единой термогидравлической системы / А.А. Ротов, А.В. Трифионов, В.А. Сулейманов, В.А. Истомин // Газовая промышленность. – 2010. – № 10. – С. 46–50.

#### Автори статті



#### **Притула Назар Мирославович**

Канд. техн. наук, докторант ІППММ НАН України, провідний інженер сектору алгоритмізації та математичного моделювання відділу адміністрування систем управління виробництвом Департаменту ІТ та СУВ ПАТ «Укртрансгаз». Основний напрям наукових досліджень – розробка методів розв'язування прямих та обернених задач математичної фізики; оптимізації складних нелінійних систем із розподіленими параметрами; оптимального керування газопотоками.

#### **Притула Мирослав Григорович**

Канд. фіз.-мат. наук. Директор ТОВ «Математичний центр», ст. науковий співробітник Центру математичного моделювання ІППММ НАН України, начальник сектору алгоритмізації та математичного моделювання відділу адміністрування систем управління виробництвом Департаменту ІТ та СУВ ПАТ «Укртрансгаз». Основний напрям наукових досліджень – аналіз, синтез, моделювання та оптимізація дискретних та неперервних процесів різної фізичної природи.



#### **Шимко Роман Ярославович**

Канд. техн. наук, директор департаменту підземного зберігання газу ПАТ «Укртрансгаз». За фахом – інженер-механік. Основний напрям діяльності, наукових досліджень – оптимальна експлуатація газосховищ; фільтрація газу в багатозв'язних неоднорідних порових середовищах.



#### **Гладун Сергій Валентинович**

Заступник начальника оперативно-диспетчерського управління ПАТ «Укртрансгаз». Освіта за фахом – інженер-механік. Основний напрям діяльності – оптимізація режимів газотранспортної системи; оптимальне планування та оптимальна експлуатація підземних газосховищ у складі газотранспортної системи.



## НОВИНИ

### Нафтопровід Самсун – Джейхан не має перспективи

Як заявив Міністр енергетики Росії О. Новак, проект будівництва нафтопроводу Самсун–Джейхан економічно не виправданий, оскільки транспортування нафти танкерами через Босфорську протоку обходиться на 40 % дешевше.

Нафтопровід завдовжки 550 км планувалося прокласти через центральну частину Туреччини, щоб забезпечити подачу нафти з портів Чорного моря до Середземного і таким чином зменшити небезпеку транспортування нафти через перевантажений Босфор.

*Pipeline & Gas Journal / June 2013, p. 16*