

© **М.І. Фик**
канд. техн. наук
ТОВ «Карпатигаз»

Уточнення розрахунку ефективності роботи ДКС в умовах фактичних термоградієнтів та сучасних покриттів НКТ

УДК 622.279.23/4(477), 622.276.1/4

У статті висвітлено результати промислового та теоретичного експерименту з удосконаленою прикладною алгоритмічною аналітикою розрахунку ефективності ДКС. Доведено важливість використання комплексних політехнологій інтенсифікації видобутку із свердловин на пізній стадії експлуатації.

Ключові слова: видобування газу, компресор, термічний градієнт, свердловина, теплоізоляція, шорсткість, покриття.

В статті освещены результаты промышленного и теоретического эксперимента с усовершенствованной прикладной алгоритмической аналитикой в условиях работы ДКС. Доказана важность использования комплексных политехнологий интенсификации добычи из скважин на поздней стадии эксплуатации.

Ключевые слова: добыча газа, компрессор, термический градиент, скважина, теплоизоляция, шероховатость, покрытие.

The results of the theoretical and field experiment with advanced algorithmic application analytics of calculation of the booster compressor station efficiency are lighted. The importance of using complex politechnology stimulation of wells in the late stage of operation is proved.

Key words: gas production, compressor, thermal gradient, well, insulation, surface roughness, coating.

Більша частина газових та газоконденсатних родовищ України знаходиться на пізній стадії експлуатації, що потребує перегляду систем видобування газу з урахуванням модернізації наземного та підземного обладнання, комплексного взаємовпливу останніх на розробку в умовах низьких пластових та робочих тисків.

Найбільш ефективним шляхом підвищення видобутку газу без втручання у привибійну зону свердловин є використання дотискувальних компресорних станцій (ДКС) та сучасних насосно-компресорних труб (НКТ) із гладким покриттям.

ПАТ «Укргазвидобування» спільно з ТОВ «Карпатигаз» розпочало облаштування «старих» родовищ України сучасними потужними ДКС та дотискувальними компресорними установками (ДКУ) середньої потужності з метою підвищення власного видобутку газу в Україні.

Першим таким об'єктом став пуск Юліївської ДКС (рис. 1), яка вдихає нове життя до чотирьох газоконденсатних родовищ пізньої стадії розробки – Юліївського, Скворцівського, Наріжнрянського, Недільного.

За період 08.2012–08.2013 (повний календарний рік) обсяги додаткового видобутку газу із групи родовищ Юліївського ЦВНГК за рахунок ДКС становили ~110 млн м³, конденсату – ~6,400 тис. т.

На рис. 2 показано готову до промислової експлуатації ДКУ Розпашнівського ГКР.

Розрахунок ефективності роботи ДКС, який традиційно проводять із використанням усередненої температури в експлуатаційних колонах свердловин, показує відповідні відхилення результатів газодинамічного моделювання. Заміна НКТ на сучасні з гладким покриттям та/або з іншими теплоізоляційними властивостями/покриттям (пластикові, склопластикові, акрилові, поліуретанові, карбонові та ін.) також збільшує відхилення попереднього моделювання та прогнозів.

Для оцінки цієї похибки автор статті здійснив теоретичний та промисловий експеримент в умовах новоствореної 2012 року СД ТОВ «Карпатигаз» із ПАТ «Укргазвидобування» Юліївської ДКС та діючих свердловин Юліївського НГКР. Актуальність порушеного питання зростає з огляду на активізацію реконструкції ДКС та дотискувальних компресорних установок (ДКУ) на Шебелинському ГКР, Хрестищенській групі родовищ, Абазівському ГКР, завершене будівництво Розпашнівської та Східно-Полтавської ДКУ, проектування ДКС на інших родовищах ПАТ «Укргазвидобування».

Розрахунок вертикального транспортування газу по НКТ із вибою до гирла проводять за перевіреною на практиці формулою Адамова [1–3], що в системі СІ згідно з [3] після нескладних перетворень для визначення гирлового тиску вертикальної свердловини набуває вигляду:

$$P_2 = \sqrt{\frac{(P_1)^2 \cdot e^{Z_{skv} \left[\frac{2}{3} \left[P_1 + \frac{(P_2)^2}{P_1 + P_2} \right] \cdot \frac{T_1 - T_2}{\ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right)} \right] \cdot R_- \cdot \frac{T_1 - T_2}{\ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right)} - 2 \cdot 9,8 \cdot H_{skv}}{8 \lambda_- \cdot Z_{skv} \left[\frac{2}{3} \left[P_1 + \frac{(P_2)^2}{P_1 + P_2} \right] \cdot \frac{T_1 - T_2}{\ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right)} \right]^2 \cdot R_-^2 \cdot \left(\frac{T_1 - T_2}{\ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right)} \right)^2 - 9,8 \cdot D^5 \cdot \pi^2}} \cdot (M_{qs_})^2 \cdot \left[1 - e^{Z_{skv} \left[\frac{2}{3} \left[P_1 + \frac{(P_2)^2}{P_1 + P_2} \right] \cdot \frac{T_1 - T_2}{\ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right)} \right] \cdot R_- \cdot \frac{T_1 - T_2}{\ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right)} - 2 \cdot 9,8 \cdot H_{skv}} \right]} \right. \quad (1)$$

де $P, T, M_{qs_}, \lambda$ – тиск, температура, масова витрата та коефіцієнт гідравлічного опору НКТ; Z_{skv}, R_- – функція від P та T (коефіцієнт стисливості та газова стала суміші вуглеводнів); H_{skv}, D – глибина та діаметр НКТ; індекс 1 у режимних параметрах використовували для початкового перерізу (вибій), індекс 2 – для кінцевого (гирло).

Згідно з методикою, висвітленою в [4–6], коефіцієнти гідравлічного опору та теплопередачі колони, в'язкість та густина вуглеводневої суміші, а також інші газодинамічні параметри змінюються на своєму шляху (у нашому випадку від вибою до гирла), а отже, ітераційні розрахунки доцільно виконувати для підвищення точності після встановлення режиму ДКС із максимальним подрібненням повздовжніх інтервалів.

Штатні геофізичні дослідження у процесі буріння та експлуатації надають багатий матеріал щодо фактичних та прогнозних термоградієнтів геологічних розрізів споруджених свердловин. Основною метою статті є врахування природних термоградієнтів на прикладі Юліївського НГКР для уточнення режимів роботи свердловин під час природного фонтану-

вання та штучного збільшення перепаду тиску в умовах роботи ДКС.

Для розрахунку на ітераціях автором використано матрично-алгоритмічну конструкцію такого вигляду:

$$\begin{pmatrix} P_{i,n,m} \\ T_{i,n,m} \\ v_{i,n,m} \\ t_{i,n,m} \\ x_{i,n,m} \\ Tigr_{n,m} \\ \lambda_{i,n,m} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} P \\ t \\ v \\ 0 \\ 0 \\ Tpl - Tgrad \cdot m \\ \lambda \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} P_{in,m+1} \\ T_{in,m+1} \\ v_{in,m+1} \\ t_{in,m+1} \\ x_{in,m+1} \\ Tigr_{n,m+1} \\ \lambda_{in,m+1} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} P_{i,n,m} \\ T_{i,n,m} \\ v_{i,n,m} \\ t_{i,n,m} \\ x_{i,n,m} \\ -Tgrad \\ 0 \end{pmatrix} + DPT(P_{i,n,m}, T_{i,n,m}, v_{i,n,m}, dx, Tigr_{n,m}) \quad (2)$$

де DPT є функція – різниця гирлового та вибійного тисків, які визначали за допомогою (1), систем рівнянь та показів давачів на вузлі вхідних ниток; індекс i додано для формування масиву даних режимних параметрів вертикального транспортування за координатними індексами часу та простору – n та m ; x, v, dx – глибина, швидкість газової суміші та повздовжній крок (брали в розрахунках – 100 м), $Tigr, Tgrad, Tpl$ – глибинна температура, градієнт температури на кожному кроці та пластова температура експлуатаційного горизонту.

Із формули (2) бачимо, що на кожному наступному кроці вздовж колони враховували не тільки проміжний тиск та температуру, але й коректну швидкість (остання залежить від перерахованої на кожному кроці густини та ін. параметрів). Треба зазначити, що функція DPT в алгоритмі – комплексний параметр. Тобто в кожній новій точці перерізу додається градієнт тиску, температури, швидкості та самої величини кроку вздовж колони (збільшення індексу m). Індекс n , що дискретизує час, використовується для синхронізації даних та визначення зведених параметрів. Верхнє рівняння у системі рівнянь (2) встановлює початкові параметри, у т.ч. розмежовує температуру по глибині із заданим градієнтом.

Рівняння (1) автор використав лише для нормативного (традиційного) прогнозування. Основна частина експерименту базувалася на повній системі газодинамічних рівнянь для неізотермічного руху [2, 5]. За такого підходу значно спрощується програмування коду уточнення середньої температури для нахилених стовбурів. Новаторством у моделюванні можна назвати використання формули для коефіцієнта Джоуля–Томсона [6], формули Колбрука для «сухого» газу та інженерне спрощення рівняння енергії. Спрощення пояснюється порівнянням енергетичних скла-



Рис. 1. Юліївська ДКС, яка запрацювала у вересні 2012 року



Рис. 2. Розпашнівська ДКУ (готова до введення в промислову експлуатацію з 2014 року)

дових під час руху вуглеводневої суміші по НКТ свердловини.

Результати теоретичних розрахунків та практичних вимірювань за алгоритмічною схемою, зображеною на рис. 3, подано у таблиці. Із неї видно коливання прогнозної ефективності роботи ДКС із урахуванням фактичних термоградієнтів, прослідковується залежність від якості поверхонь та теплопровідності. Зменшення відтоку тепла від НКТ та гідравлічного опору практично скорочує енерговитрати на вертикальне транспортування, а для сухого газу – з великою точністю відповідає теоретичному прогнозу. Цифри у таблиці свідчать про фактичне покращення турбулізації та виносу рідини в умовах діючої ДКС, що є цінним без наявної можливості точного врахування фазних переходів у нахиленому потоці на певних глибинах.

На практиці покращення ефективності ДКС здебільшого відбувається за рахунок зменшення перепаду тиску від входу на вихід станції, що в свою чергу сприяє прямому зниженню витрати паливного еквівалента компресорним агрегатом за його сталої продуктивності. Тому в роботі показником ефективності умовно обрано зміну тиску на вході



Рис. 3. Алгоритм виконання промислового експерименту

в ДКС за умови незмінних решти параметрів.

Для порівняння зроблено теоретичні перерахунки для тих самих параметричних комплексів без урахування глибинних термоградієнтів. Результати комплювались до однієї фінальної таблиці (табл.).

Теоретичний експеримент матиме позитивні результати також в умовах ДКС із теплоізолюваними колонами та гладким покриттям НКТ. При цьому важливим є покращення виносу рідини із позитивним термоградієнтом та додатковим збільшенням депресії на пласт [2, 4]. Дані про фактичні коефіцієнти гідравлічного опору (в табл. подано усереднені значення при 100 % заміні по загальній глибині свердловини) пластикових матеріалів взято відповідно до зменшеної еквівалентної шорсткості. Розроблену аналітично-алгоритмічну конструкцію (2) можливо

доповнити саме тими рядками параметрів, що штучно змінюються з глибиною, врахувати довільний відсоток заміни інноваційними НКТ у верхній або нижній частинах.

Якщо вживання окремих технологічних заходів із інтенсифікації (монотехнології) на ранніх стадіях запровадження може бути недостатньо ефективним та економічно не вигідним через повільне повернення капітальних вкладень, то використання декількох взаємодоповнюючих тех-

Таблиця

Результати моделювання роботи групи газоконденсатних свердловин із одного об'єкта розробки Юліївського НГКР (усереднення за даними малодебітних свердловин)

Промодельовані варіанти роботи	Дебіт свердловини (Q) тис. м ³ /добу	Тиск на вибої свердловини, МПа	Тиск на гирлі свердловини, МПа	Усереднена температура НКТ, К	Усереднений градієнт температури порід, К	Усереднений коефіцієнт гідравлічного опору,	Усереднений коефіцієнт теплопередачі, Вт/м ² ·К
Без ДКС (факт за умови зупинки)	12,5	20	13,12	300	–	–	–
З ДКС (факт, ДКС працює)	12,5	20	13,54	300	–	–	–
Традиційний (прогнозний, із ДКС)	12,5	20	14,05	300	–	0,02	1,5
Уточнений (модельний)	12,5	20	13,24	–	2,7	0,022	1,2
Тільки з гладким покриттям	12,5	20	13,17	–	2,7	0,014	1,2
Тільки з рідкою теплоізоляцією НКТ	12,5	20	13,15	–	2,7	0,022	0,45
ДКС+гладке покриття	12,5	20	13,82	–	2,7	0,014	1,2
ДКС+рідка теплоізоляція	12,5	20	13,76	–	2,7	0,022	0,45
Політехнологічний	12,5	20	14,21	–	2,7	0,014	0,45

нологій (політехнологій, які під час модельного експерименту з використанням цієї алгоритмічної схеми показали позитивні результати у разі одночасної дії) може задовольнити суворі економічні вимоги.

Аналіз отриманих результатів дав змогу автору зробити такі висновки.

Висновки

1. Похибка розрахунку тисків від усереднення температури газоконденсатної суміші в експлуатаційних трубах є близькою до ефекту від використання ДКС на початку їх експлуатації, тому важливим є врахування фактичних глибинних термоградієнтів та стану внутрішнього покриття НКТ.

2. Визначення ефективності роботи ДКС можна проводити більш коректно, використовуючи розроблені автором матрично-ітераційні конструкції.

3. Врахування фактичних глибинних термоградієнтів можливе для похило-скерованих та горизонтальних свердловин із використанням на практиці умовно-безкоштовних математичних програмних пакетів.

4. Особливо важливим є врахування повздовжніх термоградієнтів експлуатаційної колони свердловини для родовищ на пізній стадії експлуатації.

5. Ефективність використання ДКС значно зростає у разі комбінування цього методу з іншими методами пасивної інтенсифікації видобування, зокрема рідкої теплоізоляції, внутрішньотрубного покриття гладкими плівками, часткової заміни експлуатаційних НКТ на композитні/пластикові.

Для розрахунків використано математичний пакет Mathcad 14 з інтегрованою оболонкою Microsoft Excel 2010. На базі отриманих результатів досліджень у рамках розпочатого прикладного наукового проектування для Юліївського, Скворцівського, Наріжнського, Недільного родовищ, а також ряду родовищ Харківщини, Полтавщини та Львівщини [8] актуалізуються дослідження використання інноваційних технологій пасивної теплоізоляції та гладких поверхонь підземних та шлейфових труб для родовищ з пізньою компресорною експлуатацією.

Враховуючи отримані результати досліджень, для максимального підвищення загальної ефективності роботи ДКС із групою підключених свердловин на пізній стадії експлуатації ГКР зі зменшенням швидкості газоконденсатного потоку і збільшенням впливу термоградієнтів на режимні параметри свердловин потрібно використовувати спеціальні покриття та інноваційні ділянки НКТ із розрахунковими теплогазодинамічними параметрами.

Розрахунки автора з використанням розробленої ним аналітики, математичної моделі, програми та зібраних фактичних промислових даних групи родовищ, підключених до Юліївської ДКС, підтверджують доцільність використання зазначеного комплексного науково-практичного підходу до інтенсифікації видобутку газу з групи підключених на вхід дотискувальних компресорних станцій та установок експлуатаційних свердловин.

Список літератури

1. **Довідник** з нафтогазової справи / [В.С. Бойко, Р.М. Кондрат, Р.С. Яремійчук та ін.]. – Львів: ІФНТУНГ, 1996. – 620 с.
2. **Енергетична** безпека держави: високоефективні технології видобування, постачання і використання природного газу / [Є.І. Крижанівський, М.І. Гончарук, В.Я. Грудз, І.М. Фик та ін.]. – К.: Інтерпрес ЛТД, 2006. – 281 с.
3. **Касперович В.К.** Трубопровідний транспорт газу / В.К. Касперович. – Івано-Франківськ: Факел, 1999. – 194 с.
4. **Підвищення** видобутку газу оптимізацією термобаричних умов експлуатації свердловин / І.М. Фик, О.М. Шендрик // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2006. – № 4 (21). – С. 66–71.
5. **Трубопровідний** транспорт газу / [М.П. Ковалко, В.Я. Грудз, В.Б. Михалків та ін.]. – К.: Арена, 2002. – 398 с.
6. **Фик М.І.** До питання розрахування газодинамічних параметрів потоку газу в міжнитковій перемичці магістрального газопроводу / М.І. Фик // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. – № 4 (29). – С. 80–82.
7. **Фик М.І.** Аспекти застосування сучасних гладких покриттів у вітчизняній ГТС високого тиску / М.І. Фик // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 2009. – № 1 (30). – С. 103–107.
8. **Збільшення** видобутку газу на родовищах ДК «Укргазвидобування» за рахунок зниження робочих тисків у системі збору і промислового транспорту. Звіт про НДР / І.М. Фик, І.І. Борисовець, В.В. Капцова [та ін.]. – Фонди УкрНДІгазу, 2001.

Автор статті



Фик Михайло Ілліч

Кандидат технічних наук, заступник начальника науково-проектного департаменту ТОВ «Карпатигаз», членкор УНГА, доцент НТУ «ХП». Серед наукових інтересів – оптимізація роботи складних трубопровідних систем, ресурсоощадні технології.

