

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТИХ АДСОРБЦІЙНИХ УСТАНОВОК ОСУШУВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

В статті розглянуто переваги використання екологічно чистого адсорбційного способу осушування природного газу. Проаналізовані технологічні режими та наведені результати експериментальних досліджень щодо оптимізації технологічних схем адсорбційних установок для досягнення високої якості підготовки природного газу. З метою оптимізації технологічної схеми типової установки осушування природного газу були проаналізовані технологічні режими її роботи та проведено розрахунки для трьох варіантів подавання газу регенерації в основну лінію осушування газу, а також проведені експериментальні дослідження, які підтвердили доцільність використання запропонованого авторами способу осушування природного газу. В результаті запропоновано оптимальний спосіб апаратурного оформлення технологічної схеми установок для забезпечення якості підготовленого природного газу за показником температура точки роси вологи.

Ключові слова: адсорбційна установка, технологічна схема, газ регенерації, динамічна ємність адсорбенту, екологічні показники.

О. Л. Швейкін, Е. О. Летюк, И. А. Пуханов, Е. В. Хвостова, В. М. Ткаченко. ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ АДСОРБЦИОННЫХ УСТАНОВОК ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА. В статье рассмотрены преимущества использования экологически чистого адсорбционного способа осушки природного газа. Проанализированы технологические режимы и приведены результаты экспериментальных исследований по оптимизации технологических схем адсорбционных установок для достижения высокого качества подготовки природного газа. С целью оптимизации технологической схемы типовой установки осушки природного газа были проанализированы технологические режимы ее работы и проведены расчеты для трех вариантов подачи газа регенерации в основную линию осушки газа, а также проведены экспериментальные исследования, которые подтвердили целесообразность использования предложенного авторами способа осушки природного газа. В результате предложен оптимальный способ аппаратного оформления технологической схемы установки для обеспечения качества подготовленного природного газа по показателю температура точки росы влаги.

Ключевые слова: адсорбционная установка, технологическая схема, газ регенерации, динамическая емкость адсорбента, экологические показатели.

Актуальність. Розвиток газової галузі в значній мірі пов'язаний з забезпеченням якості природного газу, який видобувається та транспортується кінцевому споживачу. Одним з найбільш важливих параметрів якості природного газу, що визначає його безпечно транспортування та споживання є вміст вологи, який нормується значенням температури точки роси (ТТР). Забезпечення нормованих значень ТТР [1-3] здійснюється шляхом видалення зі складу природного газу надлишкової кількості вологи різними способами при його підготовці після видобування із залученням відповідного технологічного устаткування. Найбільш поширеними на даний момент є два способи підготовки – сорбційний та конденсаційний. Сорбційний спосіб реалізується з використанням твердих (адсорбція) або рідких (абсорбція) сорбентів. Конденсаційний спосіб реалізується при охолодженні природного газу за рахунок його внутрішньої енергії або з використанням додаткових джерел енергії. Кожен з цих способів має свої переваги та недоліки, а їх використання, в значній мірі, визначається умовами видобування природного газу [4-8].

На даний час достатня кількість газових родовищ знаходиться на завершальній стадії експлу-

атації, яка характеризується зменшенням значень пластових тисків та підвищенням вологовмісту природного газу, що видобувається. У зв'язку з цим використання конденсаційного способу з використанням енергії газу для видалення надмірної кількості вологи є обмеженим, а використання додаткових джерел енергії для отримання холоду призводить до значних капітальних та експлуатаційних витрат. Використання абсорбційного способу, за даних умов, не дозволить забезпечити нормовані значення ТТР з огляду на її малу депресію. Таким чином, на завершальній стадії експлуатації родовищ більш доцільно використовувати адсорбційний спосіб осушування природного газу [9,10]. Використання даного способу не потребує значних капітальних та експлуатаційних вкладень, його можна використовувати за умов низьких значень робочого тиску, при цьому отримується можливість забезпечення значної депресії точки роси разом з незначними втратами тиску у технологічних лініях підготовки газу. Окремо треба відмітити високі екологічні показники, які досягаються при застосуванні адсорбційної технології, так як цей вид осушення є безвідходним екологічно чистим процесом, що

виключає забруднення навколишнього середовища.

Аналіз попередніх досліджень. Принцип роботи та апаратне оформлення адсорбційних установок осушування природного газу (УОГ) майже не відрізняються одна від одної. Єдина з небагатьох відмінностей даних УОГ полягає в організації роботи технологічних ліній регенерації адсорбенту. Технологічним процесом адсорбційних УОГ, які експлуатуються на газовидобувних підприємствах, процес регенерації адсорбенту передбачено здійснювати шляхом випарювання вологи при пропусканні крізь шар адсорбенту підігрітого природного газу – газу регенерації (ГР), який відбирається з основного потоку (в кількості до 10 % від його загального об'єму). Після того, як ГР був повністю насичений вологою виникає необхідність його повернення в основний технологічний потік. Для цього здійснюється його підготовка з метою видалення надмірної кількості поглинутої вологи, яка міститься в його складі в пароподібному стані [11-13].

Ефективність роботи системи осушування в значній мірі визначається спроможністю видалення максимальної кількості вологи і, відповідно, показником її ефективності є значення ТТР вологи в природному газі після його осушування [14-16]. Технологічною схемою УОГ передбачається видалення вологи з насиченого ГР конденсаційним способом за рахунок його охолодження, яке здійснюється, в основному, за рахунок вже існуючих джерел холоду. Як правило, такими є осушений товарний газ або повітря оточуючого середовища, температура яких на кілька десятків градусів менша за температуру ГР, але і вища за нормоване значення ТТР. При такій організації технологічної схеми вологовміст ГР після його підготовки в кілька разів вищий за вологовміст газу, який надходить до УОГ, що істотно зменшує ефективність її роботи в цілому при подаванні ГР в основну технологічну лінію [17-19].

Для позбавлення цього недоліку на лінії підготовки ГР необхідно використовувати додаткові джерела холоду, але це призводить до збільшення капітальних та експлуатаційних витрат. Зменшення витрат можна вирішити шляхом оптимізації технологічної схеми УОГ з метою визначення такого ланцюгу технологічної лінії при подаванні підготовленого ГР, в якому його вплив на підвищення загального значення ТТР буде мінімізованим.

Результати досліджень. З метою оптимізації технологічної схеми УОГ були проаналізовані технологічні режими її роботи та проведено розрахунки для трьох варіантів подавання ГР в основну лінію:

- подавання ГР в основну технологічну лінію на вхід адсорберу (1-й варіант на рисунку 1) [2];
- подавання ГР в товарний газ на виході з УОГ (2-й варіант на рисунку 1) [17];
- подавання ГР в основну технологічну лінію перед сепаратором попереднього очищення (3-й варіант на рисунку 1) [18].

Значення технологічних параметрів УОГ, з використанням яких проводився розрахунок, наведені в таблиці 1. При проведенні розрахунку для кожного варіанту технологічної схеми УОГ витрата непідготовленого газу, витрата ГР, кількість адсорбенту та його динамічна ємкість приймалися незмінними.

Враховуючи, що протягом доби температура ГР при його підготовці буде різною, розрахунки для кожного з варіантів подавання ГР в основну технологічну лінію проводились для двох граничних значень його температури, а саме 30 та 60°C. Компонентний склад природного газу та його фізичні властивості наведені в таблиці 2. За результатами проведених розрахунків (таблиця 3) було встановлено, що при подаванні ГР в основну технологічну лінію УОГ у відповідності до першого варіанту, значно підвищується навантаження на адсорбент (до 33 %).

Це збільшення призводить до скорочення майже на третину тривалості циклів адсорбції та, відповідно, збільшення кількості циклів регенерації. Внаслідок цього на поверхнях мікропор адсорбенту відбувається більш інтенсивне накопичення продуктів адсорбції, піролізу та коксу, що, в свою чергу, призводить до передчасного зниження його сорбційних властивостей і зменшення строку експлуатації [20].

В разі подавання ГР в основну технологічну лінію УОГ у відповідності до другого варіанту, якість товарного газу за показником ТТР вологи не буде відповідати вимогам нормативних документів.

Задля запобігання негативних факторів, які виникають при подаванні підготовленого ГР в основну технологічну лінію згідно перших двох варіантів, та забезпечення ефективності і стабільності роботи УОГ авторами було запропоновано подавати ГР до потоку основного технологічного газу за третім варіантом – на вхід до сепаратора попереднього очищення перед подаванням до УОГ.

При такому варіанті подавання ГР в основну технологічну лінію забезпечується нормоване значення ТТР вологи в товарному газі при незначному зменшенні тривалості циклу адсорбції (до 11 %).

При цьому, як показали результати розрахунків, в існуючому діапазоні умов підготовки ГР, режим роботи адсорберів при осушуванні газу не

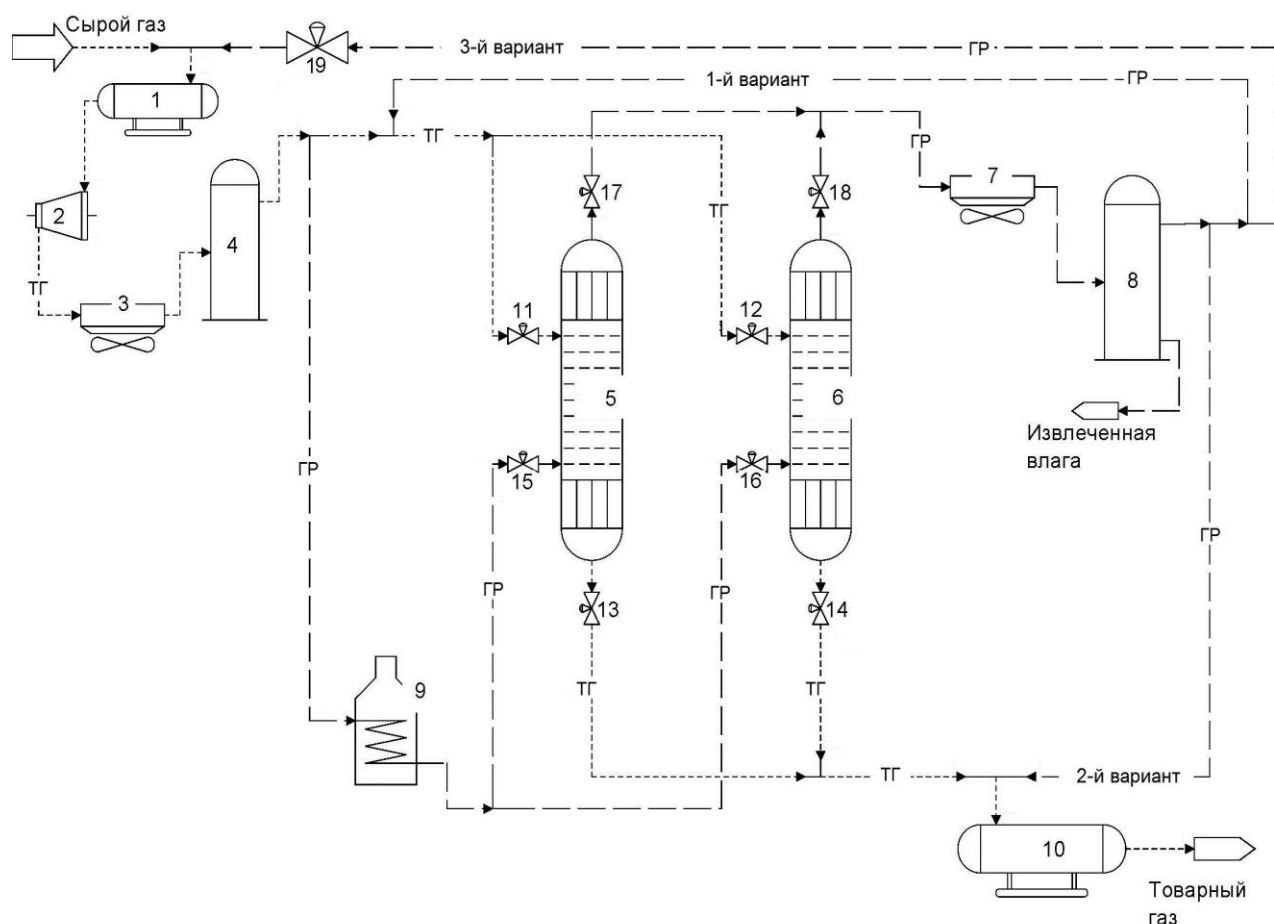


Рис. 1. Принципова технологічна схема адсорбційної установки осушування природного газу з трьома варіантами подавання підготовленого газу регенерації в основну технологічну лінію.
 Умовні позначення: ГР – газ регенерації; ТГ – технологічний газ; 1 – вхідний сепаратор; 2 – дожимна компресорна станція; 3, 7 – холодильники підігрітого газу; 4, 10 – фільтри-пилловловлювачі; 5, 6 – адсорбери; 8 – сепаратор газу регенерації; 9 – піч підігріву газу регенерації; 11-14 – запірні вентилі лінії подавання технологічного газу; 15-18 – запірні вентилі лінії подавання газу регенерації; 19 – дросельний вентиль.

Таблиця 1

Робочі параметри технологічної схеми УОГ

Найменування параметру	Познач.	Розмірність	Значення
Вологовміст газу на вході УОГ	η	г/м ³	3,2
Тиск в адсорбері при осушуванні газу	$P_{\text{АДС}}$	МПа	5,0
Температура в адсорбері при осушуванні газу	$t_{\text{АДС}}$	°С	35,0
Кількість ГР від загальної кількості газу	$q_{\text{ГР}}$	%	10,0
Тиск в адсорбері при регенерації цеоліту	$P_{\text{ГР}}$	МПа	5,0
Температура в адсорбері при регенерації цеоліту	$t_{\text{ГР}}$	°С	300,0
Динамічна ємність адсорбенту за вологою	ϵ	г/г	0,1
Діапазон температур підготовленого ГР на виході з холодильнику	$t_{\text{ГРх}}$	°С	30,0 ÷ 60,0

Склад газу та його фізичні властивості

Найменування показника	Позначення	Розміність	Значення
Азот	N ₂	% мол.	0,4652
Вуглекислий газ	CO ₂	% мол.	0,1893
Метан	C ₁	% мол.	98,2144
Етан	C ₂	% мол.	0,2799
Пропан	C ₃	% мол.	0,1703
i-Бутан	i-C ₄	% мол.	0,0717
n-Бутан	n-C ₄	% мол.	0,0697
i-Пентан	i-C ₅	% мол.	0,0305
n-Пентан	n-C ₅	% мол.	0,0203
Гексани +вищ.	C ₆₊	% мол.	0,0657
Вода	H ₂ O	% мол.	0,4229
Молекулярна маса	M	кг / моль	16,4
Густина	ρ	кг / м ³	3,4
Теплоємність	C	Дж / (кг·°C)	2 236,0

Таблиця 3

Результати розрахунків УОГ з різними варіантами подавання ГР в основну ехнологічну лінію

Спосіб подачі ГР в основну лінію	Температура ГР на виході з сепаратора лінії підготовки ГР, °C	Вологовміст газу на виході з сепаратора попередньої очистки, г/м ³	Вологовміст газу на вході в адсорбер для осушки, г/м ³	Швидкість поглинання вологи цеолітом, кг/час	Тривалість циклу адсорбції, час	ТГР		Кількість циклів регенерації адсорбенту за рік
						на виході з адсорбера °C	товарного газу °C	
Перед сепаратором попередньої очистки	60	3,36	1,37	56,8	7,2	мінус 25,7	мінус 25,7	1 216
	30	3,13	1,37	56,8	7,2			1 216
Перед адсорбером на осушку	60	3,17	1,83	76,1	5,3	мінус 25,7	мінус 25,7	1 444
	30	3,17	1,55	64,4	6,3			1 361
В товарний газ на виході з УОГ	60	3,17	1,37	51,1	8,0	мінус 25,7	21,2	1 095
	30	3,17	1,37	51,1	8,0		9,9	1 095

залежить від якості підготовки ГР і ступеню його насичення вологою.

Для підтвердження доцільності використання запропонованої авторами способу подавання ГР в основну технологічну лінію були проведені

експериментальні дослідження в промислових умовах на діючій УОГ.

Мета проведення експериментальних досліджень полягала в підтвердженні розрахованих значень за двома параметрами – вологовміст ви-

хідного вологого газу на вході в адсорбер при подаванні ГР в основну технологічну лінію перед сепаратором попереднього очищення вологого газу (3-й варіант рис. 1) та вологовміст вологого газу на вході в адсорбер при подаванні ГР в основну технологічну лінію на виході з УОГ (2-й варіант рис. 1). Умови роботи УОГ, за яких проводились експериментальні дослідження в промислових умовах, та компонентний склад природного газу наведені в таблицях 1, 2. Визначення ТТР вологого газу на вході в адсорбер, за якою проводився розрахунок його вологовмісту, проводились при роботі кожного адсорберу в режимі осушування протягом всього циклу адсорбції. Тривалість циклу адсорбції складала 24 години. Переключення режимів подавання ГР в основну технологічну лінію УОГ відбувалось через кожні дванадцять годин.

Результати експериментальних досліджень в значній мірі співпали з результатами попередньо проведених розрахунків. При подаванні ГР в основну лінію перед сепаратором попереднього очищення вміст вологи в природному газі, який прямує на вхід адсорберу, становив майже незмінне значення і не відрізнявся від вологовмісту природного газу на вході в адсорбер при подаванні ГР в основну лінію на виході з УОГ. При цьому якість підготовки самого ГР не впливала на значення вологовмісту в природному газі основної технологічної лінії на вході до адсорберу

і, відповідно, на ТТР осушеного газу на виході з УОГ.

Висновки. Огляд способів підготовки природного газу, використання яких є найбільш доцільним в умовах його видобутку, що склались на даний момент, показав переваги використання адсорбційного способу видалення пари вологи.

Враховуючи результати проведених розрахунків та експериментальних досліджень, які були проведені в промислових умовах, запропонований оптимальний, з огляду на забезпечення якості підготовленого природного газу за показником ТТР вологи, спосіб апаратурного оформлення технологічної схеми УОГ. Використання запропонованого способу дозволить забезпечити:

– незмінність якості природного газу на виході з УОГ за показником ТТР вологи протягом всього проектного циклу адсорбції;

– мінімальне навантаження на адсорбент за вологою та подовження терміну його експлуатації;

– зменшення впливу підготовленого з низькою ефективністю ГР на якість за показником ТТР вологи підготовленого природного газу на виході УОГ при забезпеченні її проектною продуктивності;

– досягнення високих екологічних показників.

Література

1. *Нормативно-правовий акт «Кодекс газотранспортної системи» [Текст]. Затверджено Постановою НКРЕКП від 30 вересня 2015 року № 2493, зареєстровано Міністерством юстиції України 06.11.2015 р. за № 1379/27823.*
2. *Нормативно-правовий акт «Кодекс газорозподільних систем» [Текст], затверджено Постановою НКРЕКП від 30 вересня 2015 року № 2494, зареєстровано Міністерством юстиції України 06.11.2015 р. за № 1379/27824.*
3. *Лур'є, А. І. Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку нормативного забезпечення якості природного газу [Текст] / А. І. Лур'є, О. В. Хвостова, Я. Б. Наконечний // Питання розвитку газової промисловості України. – Вип. XXXVII. – Харків, 2009. – С. 311-316.*
4. *Ланчаков, Г. А. Технологические процессы подготовки природного газа и методы расчета оборудования [Текст] / Г. А. Ланчаков, А. Н. Кульков, Г. К. Зильберт. – М.: Недра, 2000. – 280 с.*
5. *Колобродов, В. Г. Адсорбция и десорбция паров воды различными цеолитами [Текст] / В. Г. Колобродов // Вопросы атомной науки и техники, 2002. – Вып. 1. – Харьков: ННЦ ХФТИ. – С. 50-55.*
6. *Бекиров, Т. М. Сбор и подготовка к транспорту природных газов [Текст] / Т. М. Бекиров, А. Т. Шаталов. – М.: Недра, 1986. – 261 с.*
7. *Бретинайдер, С. Свойства газов и жидкостей : инженерные методы расчета [Текст] / С. Бретинайдер. – М.: Химия, 1966. – 534 с.*
8. *Вяхирев, Р. И. Разработка и эксплуатация газовых месторождений [Текст] / Р. И. Вяхирев, А. И. Гриценко, Р. М. Тер-Саркисов. – М.: Недра, 2002. – 880 с.*
9. *Гвоздев, Б. П. Эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений : справочное пособие [Текст] / Б. П. Гвоздев, А. И. Гриценко, А. Е. Корнилов. – М.: Недра, 1988. – 575 с.*
10. *Руднік, А. А. Експлуатація і технічне обслуговування газорозподільних станцій магістральних газопроводів : довідник [Текст] / А. А. Руднік. – К.: Росток, 2003. – 576 с.*
11. *Базлов, М. Н. Подготовка природного газа и конденсата к транспорту [Текст] / М. Н. Базлов, А. И. Жуков, Т. С. Алексеев. – М.: Недра, 1968. – 215 с.*
12. *Зарембо, К. С. Справочник по транспорту горючих газов [Текст] / К. С. Зарембо. – М.: Гостоптехиздат, 1962. – 887 с.*

13. Катц, Д. Л. *Руководство по добыче, транспорту и переработке природного газа [Текст]* / Д. Л. Катц. – М.: Недра, 1965. – 676 с.
14. Hammersmidt, E. G. *Calculation and Determination of Moisture Content of Compressed Natural Gas* / E. G. Hammersmidt // *Western Gas*, 1983. – P. 29.
15. Gritsenko, A. I. *Gathering and Conditioning of Gas on the Northern Gas Fields of Russia* / A. I. Gritsenko, V. A. Istomin, A. N Kulkov, R. S. Suleimanov. – Moscow: Nedra Publishing House, 1999. – P. 476.
16. Жданова, Н. В. *Осушка углеводородных газов [Текст]* / Н. В. Жданова, А. Л. Халиф. – М.: Химия, 1984. – 133 с.
17. *Спосіб адсорбційного осушення природного газу [Текст]: пат. 46830 Україна, МПК В 01 D 53/02.* / В. І. Жуковін, І. Й. Рибчич, Б. Б. Синюк та ін.; заявник та патентовласник Дочірня компанія "УкрГазвидобування" НАК "Нафтогаз України"; заявл. 24.06.2009; опубл. 11.01.2010; Бюл. № 1. – 2 с.
18. *Спосіб адсорбційного осушення природного газу [Текст]: пат. 84521 Україна, МПК В 01 D 53/02, В 01 D 53/04, В 01 D 53/26.* / Є.О. Летюк, В.В. Тюрін, А.М. Кутасевич та ін.; заявник та патентовласник ПАТ "УкрГазвидобування"; заявл. 16.04.2013; опубл. 25.10.2013; Бюл. № 20. – 3 с.
19. Швейкін, О. Л. *Оптимізація режимів роботи адсорбційних систем осушування природного газу [Текст]* / О. Л. Швейкін, О. В. Хвостова, В. М.Ткаченко, Д. С. Івашечко // *Нафтогазова галузь України.* – Вип. №2. – Київ: НАК Нафтогаз України, 2016. – С. 24-26.
20. Эшмурадов, О. А. *Применение регенерированных цеолитов типа СаА в адсорбционных и каталитических процессах нефтегазопереработки: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.17.04 [Текст]* / О. А. Эшмурадов. – Ташкент: УзНИПИНефтеГаз, 2000. – 20 с.