

АНАЛІЗ РОБОТИ СЕПАРАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЙОГО РОБОТИ ДЛЯ ПІДГОТОВЛЕННЯ ГАЗУ НА ПРОМИСЛАХ

Ю.В. Марчук, М.О. Псюк

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42195,
e-mail: public@nung.edu.ua

Розглянуто проблему підвищення ефективності промислової сепарації газу. Наведено огляд відомих технологій і пристроїв для підвищення ефективності підготовки газу. Обґрунтовано можливість використання сітчастої насадки як ефективного сепаруючого елемента для умов Битків-Бабченського ГКР. Встановлено діапазон ефективної роботи сітчастої насадки і проведено розрахунок її параметрів.

Ключові слова: сепарація, газоконденсатне родовище, сітчаста насадка, підготовка газу, фільтр-сепаратор, сепаруючий елемент

Rассмотрена проблема повышения эффективности промышленной сепарации газа. Приведен обзор известных технологий и устройств для повышения эффективности подготовки газа. Обоснована возможность использования сетчатой насадки в качестве эффективного сепарирующего элемента для условий Битков-Бабченского ГКМ. Установлен диапазон эффективной работы сетчатой насадки и проведен расчёт её параметров.

Ключевые слова: сепарация, газоконденсатное месторождение, сетчатая насадка, подготовка газа, фильтр-сепаратор, сепарирующий элемент

The problem of increase of efficiency of gas separation is considered. The review of the technologies of gas treatment and devices for increase of efficiency of gas treatment is given. The opportunity of the use of the wire-netting nozzle as effective separation element for conditions of Bitkiv-Babche gas condensate field is substantiated. The range of effective work of the wire-netting nozzle is determined. The calculation of the parameters of the nozzle is carried out.

Keywords: separation, gas condensate field, wire-netting nozzle, gas treatment, filter-separator, separation element

Оскільки у газі, що видобувається із свердловин, завжди в певній кількості міститься вода у вигляді крапель, то він підлягає підготовленню на установці комплексного підготовки газу (УКПГ). У процесі промислового підготовки газ контактує з рідиною або барботує крізь шар рідини (рідких поглиначів-абсорбентів, інгібіторів гідратування тощо). При цьому не відбувається повний розділ пластової рідини і газу лише за рахунок різниці їх густин, а краплі рідини різного розміру захоплюються газом, що призводить до утворення аерозолу.

Однією з причин недостатнього очищення газу від аерозолу на кінцевому ступені промислових установок низькотемпературної сепарації є те, що в результаті різкого зниження тиску на дросельному органі утворюються краплі рідини з середнім діаметром $d_k = 1-3$ мкм, які практично не вловлюються звичайними відбійними елементами.

Для підвищення ефективності роботи сепараторів необхідно укрупнити дрібні краплі, що утворилися, приблизно в 10–100 разів для того, щоб вони легко відокремлювалися звичайними сепаруючими елементами.

З метою інтенсифікації процесу сепарації (тобто збільшення робочої швидкості), а також підвищення його ефективності застосовують жалюзійні та сітчасті насадки, які встановлюють в сепараторах, і фільтри-сепаратори для

тонкого очищення природного газу від рідини і механічних домішок.

У вітчизняній і закордонній практиці широко застосовуються фільтри-сепаратори, які містять коалесцюючі елементи (патрони) і є ефективними для вловлювання крапель діаметром 1 мкм і вище, мають досить низький гідравлічний опір. Основною областю їх використання є очищення газу на магістральних газопроводах.

Для підвищення якості підготовки газу і зменшення втрат вуглеводневого конденсату розроблено і запропоновано багато технологій і пристроїв (фільтри-сепаратори, жалюзійні та сітчасті насадки) різної конструкції. Зокрема, для підвищення якості підготовки газу і зменшення втрат вуглеводневого конденсату ВНИИГазом був запропонований спосіб підготовки природного газу [1], що полягає в наступному. Для підготовки природного газу до транспортування його обробляють органічним поглиначем за перепаду тиску між першим і другим ступенями сепарації 1,0–1,5 МПа. При цьому як поглинач використовують діетиленгліколь (ДЕГ) та вуглеводневу фракцію з температурою початку кипіння 280–350°C, а процес здійснюють в протиточі між двома ізольованими потоками поглиначів за їх питомої витрати 10–100 л/тис. м³ газу.

Даний числовий інтервал перепаду тисків обумовлений тим, що при перепаді тисків

$\Delta p > 1,5$ МПа виконання вимог якості газу згідно галузевого стандарту [2] забезпечується низькотемпературною сепарацією (НТС). Застосування в цей період абсорбції неможливе з таких причин: знижується ефективність процесу НТС, тому що подача абсорбенту з температурою, вищою температури абсорбованого газу, підвищує температуру точки роси по волозі і вуглеводнях. Стадія вуглеводневої абсорбції є неефективною при подачі відносно теплої поглинача в низькотемпературний сепаратор, оскільки якість товарного газу при абсорбції визначається термодинамічними параметрами на виході з апарату, різко знижується ефективність гліколевого осушування газу.

У випадку додаткового оброблення із запізненням (тобто за перепаду тисків між ступенями сепарації менше 1,0 МПа) погіршується якість газу, що подається в магістральний газопровід, і мають місце значні втрати газового конденсату.

Таким чином, перепад тисків в 1,0–1,5 МПа є необхідною умовою для ефективного здійснення стадій НТС, абсорбції і комбінованої системи якісного підготовки газу до транспортування в період вичерпання дросель-ефекту.

Процес підготовки газу до транспортування, як правило, здійснюється в такий спосіб. Газ подають у сепаратор першого ступеня сепарації, де від нього відокремлюється крапельна рідина. Після охолодження в рекуперативному теплообміннику газ проходить дроселювання, і у низькотемпературному сепараторі від нього відокремлюється сконденсована рідина. На стадії оброблення газ надходить в абсорбційну частину сепаратора-абсорбера, що має дві секції: у першій по ходу секції газ осушується з допомогою ДЕГу, а в другій – з допомогою вуглеводневої фракції з температурою початку кипіння 280–350°C, де із нього вилучається газовий конденсат. Далі газ через рекуперативний теплообмінник надходить у магістральний газопровід.

Витрата поглинача, необхідного для проведення оброблення, визначається експериментально, виходячи з необхідної точки роси по вуглеводнях і вмісту конденсату в газі, що надходить на абсорбцію, і становить 10–100 л/тис. м³ газу.

Запропонований спосіб підготовки природного газу до транспортування дає змогу значно здешевити процес, скоротити втрати вуглеводневого конденсату і підвищити точку роси оброблюваного газу по вуглеводнях.

Для підвищення ефективності сепарації газу застосовують також різні сепараційні пристрої, коалесціуючі патрони тощо.

Центральним конструкторським бюро нафтоапаратури (ЦКБН) розроблений сепараційний пристрій для очищення газу від рідини і механічних домішок на газових промислах.

Даний сепараційний пристрій [3] являє собою набір пакетів, кожний з яких складається із просторової рами, на яку намотаний сітчастий рукав у такий спосіб, що утворюються два ступені сепарації – попередньої і кінцевої.

Працює сепараційний пристрій так. Газорідинна суміш спочатку надходить на попередній ступінь сепарації, причому щільність укладання сітчастого рукава ступеня попередньої сепарації нижча від щільності укладання кінцевого ступеня сепарації. На попередньому ступені сепарації відокремлюється основна маса рідини і відбувається укрупнення дрібнодисперсних крапель. За наявності коалесціуючого елемента між ступенями сепарації відбувається додаткове укрупнення крапель рідини. Далі краплі рідини разом з газом надходять на кінцевий ступінь сепарації, де зіштовхуються із щільно укладеною об'ємною сіткою, змочують її, укрупнюються і за рахунок сил гравітації стікають у нижню частину апарату або збірника рідини, а очищений газ відбирається на виході із кінцевого ступеня сепарації.

Запропонований сепараційний пристрій дає змогу спростити конструкцію сепараційних пакетів за рахунок застосування замість укладання послідовного намотування сітчастого рукава на просторову раму. При цьому одночасно утворюються два ступені сепарації і підвищується ефективність сепараційного пристрою за рахунок зниження гідравлічного опору обох ступенів сепарації.

Оскільки робота сепараторів на установках НТС на Західній Україні, зокрема в ГПУ “Львів-газвидобування”, супроводжується постійним зниженням продуктивності свердловин, продукція яких надходить на установки НТС, і тисків, то найбільш доцільним для даних умов є застосування жалюзійних та сітчастих насадок і фільтрів-сепараторів. Розглянемо детальніше застосування цих пристроїв.

Так, ВНДГазом розроблений коалесціуючий патрон [3], що може використовуватись в абсорберах, сепараторах, розділювачах рідини і призначений для коалесценції дрібнодисперсних крапель рідини, розділу двох не змішуваних рідин, сепарації і фільтрації газів від дрібнодисперсних крапель рідини або механічних домішок.

Коалесціуючий патрон працює так. Рідку суміш вводять у внутрішню порожнину патрона, після чого вона проходить опорний шар рукавної сітки, що виконує роль попереднього коагулятора, рівномірно розподіляється всією площею коалесціуючого матеріалу, де дрібні частки рідини коагулюються в більші. Скоагульовані частки рідини, що виходять із коалесціуючого матеріалу, під власною вагою стікають зовнішнім шаром опорної рукавної сітки патрона вниз. Коалесціуючий патрон забезпечує однакову ступінь коагуляції, незалежно від того, з якого боку коалесціуючої поверхні входить рідинна суміш. Застосування як опорного елемента в'язаного рукава, вкладаєного в каркас по гвинтовій лінії, значно знижує металемісність при виготовленні патрона. При цьому забезпечуються максимальний живий переріз патрона (95 – 98 %) і рівномірна робота по всій фільтруючій поверхні як з точки зору технології процесу, так і сприйняття фільтруючою по-

верхню механічних навантажень, що створюються оброблюваним середовищем.

Фільтр-сепаратор з коалесціючими патронами, що призначений для роботи в промислових установках низькотемпературної сепарації в якості низькотемпературного сепаратора, був розроблений в ЦКБН [4].

Сепаратор містить коалесціючі патрони, виконані з перфорованої труби, на зовнішній поверхні якої намотане тонковолокнисте скловолокно. Міцність патронам надає зовнішнє покриття з металевої фільтрувальної сітки. Установлені вони в апараті перед ступенем кінцевого очищення, що виконаний у вигляді горизонтальної сітчастої насадкі.

Сепаратор застосовується у технологічній схемі НТС на Єфремівському газоконденсатному родовищі.

В результаті проведених промислових випробувань була встановлена можливість використання сепаратора з коалесціючими патронами на кінцевому ступені сепарації газу установок НТС із забезпеченням високого ступеня очищення газу при початковому вмісті рідини $q_p = 3-100 \text{ см}^3/\text{м}^3$.

Оцінку якості роботи досліджуваного сепаратора другого ступеня сепарації проводили шляхом вимірювання кількості рідини, винесеної потоком газу з апарату.

Фільтр-сепаратор запропонованої конструкції забезпечує високу якість очищення газу в діапазоні продуктивності 120–800 тис. $\text{м}^3/\text{доб}$.

Завдяки застосуванню коалесціючих патронів можна практично повністю уникнути втрати ДЕГу з низькотемпературного сепаратора. Зміна початкового вмісту рідини в межах $3-100 \text{ см}^3/\text{м}^3$ не впливає на якість очищення і величину критичної швидкості на сітчастому відбійнику. Величина загального перепаду тиску на сепараторі в ефективному діапазоні не перевищує 30 кПа.

Для ефективного очищення газів від крапель рідини на вітчизняних і закордонних газопромислах широко застосовують також сітчасті насадкі різних конструкцій, з різними плетивами дротяних рукавів і розмірами петель. Їх виготовляють з різних матеріалів [3, 4]. Ці насадкі характеризуються високою ефективністю очищення (понад 99%), широким діапазоном ефективної роботи, невеликим перепадом тиску та відносно високими робочими швидкостями.

Для перевірки працездатності сітчастих насадок при очищенні природного газу від вуглеводневого конденсату в ЦКБН були розроблені два типи насадок: з металічної і поліпропіленової в'язаних рукавних сіток [5].

Проведені дослідження підтвердили можливість використання насадки з в'язаної сітки як ефективного сепаруючого елемента.

В результаті аналізу промислових даних про технічні характеристики установок низькотемпературної сепарації (УНТС-1), на якій проходить підготовки газу Битків-Бабченського ГКР, і аналізу згаданих вище технологій підготовки газу і пристроїв для підвищення його ефективності, зроблено висновок про те, що

найбільш ефективним рішенням як з точки зору економічної ефективності, так і з точки зору якості підготовки газу, є застосування сітчастих насадок. В зв'язку з цим був проведений розрахунок насадок із сітки для умов Битків-Бабченського ГКР. Розрахунки проводились у такій послідовності [5, 6]:

1) визначення критичної швидкості газу в сітчастій насадці;

2) розрахунок вільної площі сітчастої насадки за відомим значенням витрати газу (отримане значення величини площі необхідно округлити в більшу сторону);

3) визначення найбільшої витрати газу через насадку;

4) визначення діапазону ефективної роботи відбійника;

5) визначення величини перепаду тиску на насадці при найбільшій витраті газу.

Розрахунки проводились для таких умов: робочий тиск (тиск на вході в УНТС)

$$P_p = 1,5 \text{ МПа};$$

густина рідини

$$\rho_p = 738 \text{ кг/м}^3;$$

густина газу при нормальних умовах

$$\rho_{г.0} = 0,776 \text{ кг/м}^3;$$

густина газу при робочих умовах

$$\rho_r = 11,91 \text{ кг/м}^3;$$

тиск на виході УНТС

$$P_{\text{вих}} = 0,5 \text{ МПа};$$

в'язкість рідини

$$\mu_p = 0,72 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

міжфазний поверхневий натяг на межі розділу фаз "газ – конденсат" в умовах сепарації:

$$\sigma = 7,26 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м};$$

витрата газу (станом на 1.01.2010 р.)

$$Q_r = 435,3 \text{ тис. м}^3/\text{доб};$$

робоча температура

$$T_c = 275 \text{ К}.$$

При розрахунку сепаратора із сітчастою насадкою використовувались такі формули:

1) формула для визначення критичної швидкості газу в сітчастій насадці $W_{кр}$:

$$W_{кр} = k \cdot 4 \sqrt{\frac{10 \cdot g \cdot y \cdot (c_p - c_r)}{c_r^2}}, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт, який характеризує порушення режиму сепарації (для горизонтального сітчастого відбійника $k = 0,6$);

2) формула для визначення швидкості газу у насадці W_n :

$$W_n = 0,8 \cdot W_{кр}; \quad (2)$$

3) формула для розрахунку вільної площі сітчастої насадки F_n :

$$F_n = \frac{Q_r \cdot P_0 \cdot T_c \cdot Z_p}{86,4 \cdot P_p \cdot T_0 \cdot Z_0 \cdot W_{кр}}, \quad (3)$$

де Z_p, Z_0 – коефіцієнт стисливості реального газу в робочих і нормальних умовах;

4) формула для визначення найбільшої витрати газу через насадку Q_n :

$$Q_H = 86,4 \cdot \frac{F_{H.T} \cdot P_p \cdot T_0 \cdot Z_0 \cdot W_{кр}}{P_0 \cdot T_c \cdot Z_p}, \quad (4)$$

де $F_{H.T}$ – табличне значення площі сітчастої насадки (тобто заокруглене в більшу сторону згідно таблиці, в якій наведені стандартні значення площі сітчастої насадки);

5) формули для розрахунку діапазону ефективної роботи сітчастого відбійника :

$$Q_{еф} = (0,5 \div 1) \cdot Q_H, \quad (5)$$

$$W_{с.н.еф.} = (0,5 \div 1) \cdot W_{кр}; \quad (6)$$

(нижнє значення швидкості руху газу, при якій зберігається високий ступінь очищення газу за допомогою сітчастої насадки приймають :

$$W_{с.мін.} = 0,5 \cdot W_{кр} \quad [6])$$

6) формула для визначення величини перепаду тиску на сітчастій насадці за найбільшої витрати газу :

$$\Delta P = \frac{\xi \cdot W_{кр}^2 \cdot c_r}{2 \cdot g}, \quad (7)$$

де ξ – коефіцієнт гідравлічного опору (для насадки із металічної сітки $\xi = 70$).

В результаті проведених розрахунків нами встановлено :

критична швидкість набігання газу

$$W_{кр} = 0,83 \text{ м/с};$$

швидкість газу у сітчастій насадці

$$W_H = 0,664 \text{ м/с};$$

площа сітчастої насадки

$$F_H = 0,396 \text{ м}^2;$$

табличне значення площі сітчастої насадки

$$F_{H.T.} = 0,41 \text{ м}^2;$$

найбільша витрата газу через насадку

$$Q_H = 451,15 \text{ тис. м}^3/\text{доб};$$

мінімальне значення швидкості руху газу, при якій зберігається високий ступінь очищення газу за допомогою насадки із сітки,

$$W_{с.мін.} = 0,42 \text{ м/с};$$

діапазони ефективної роботи сітчастого відбійника

$$Q_{еф} = 225,58 - 451,15 \text{ тис. м}^3/\text{доб};$$

$$W_{с.н.еф.} = 0,42 - 0,83 \text{ м/с};$$

величина перепаду тиску на насадці за найбільшої витрати газу

$$\Delta P = 29,3 \text{ Па.}$$

З виконаного огляду технологій підготовки газу і пристроїв для підвищення ефективності підготовки газу можна зробити висновок про те, що одними з найбільш ефективних шляхів підвищення ефективності промислової сепарації газу є застосування жалюзійних та сітчастих насадок і фільтрів-сепараторів.

В результаті аналізу промислових даних про технічні характеристики установки УНТС-1, огляду технологій підготовки газу і при-

строїв для підвищення ефективності підготовки газу і розрахунку сітчастої насадки для умов Битків-Бабченського ГКР встановлено діапазон ефективної роботи сітчастої насадки, що становить $Q_{еф} = 225,58 - 451,15$ тис. м³/доб;

$W_{с.н.еф.} = 0,42 - 0,83$ м/с, а також визначено

критичну швидкість газу в насадці – $W_{кр} = 0,83$ м/с, площу сітчастої насадки –

$F_H = 0,396$ м², найбільшу витрату газу через насадку – $Q_H = 451,15$ тис. м³/доб і величину

перепаду тиску на насадці при найбільшій витраті газу – $\Delta P = 29,3$ Па.

З проведених розрахунків випливає, що фактична витрата газу, що надходить на УНТС, не виходить за межі діапазону ефективної роботи сітчастої насадки: $Q_{еф} = 225,58 - 451,15$

тис. м³/доб, а $Q_{г.ф.} = 435,3$ тис. м³/доб. Це підтверджує можливість використання сітчастої насадки як ефективного сепаруючого елемента для умов Битків-Бабченського ГКР.

Окрім того, перспективним технічним рішенням, що також може підвищити якість підготовки газу, є встановлення масляного (скрубного) сепаратора на УНТС-1 (скомбінувати його із гравітаційним сепаратором із сітчастою насадкою) з метою більш повного очищення газу від механічних домішок.

Література

1 Способ подготовки природного газа : А.с. 1066299 СССР, МКИ Е 21 В 43/00 / Е.Н.Туревский, А.Е.Винокур, В.Г.Гореченков, Е.И.Черников, Л.В.Грипас, Г.К.Зиберт; ВНИИ-Газ; Заявл. 12.06.83; Опубл. 21.08.84, Бюл. № 48.

2 ОСТ 51.40-83. Газы природные, подаваемые из газовых и газоконденсатных месторождений и с газоперерабатывающих заводов в магистральные газопроводы.

3 Подготовка и переработка углеводородных газов и конденсата. Технологии и оборудование: справ. пособ. / [Зиберт Г.К., Седых А.Д., Кашицкий Ю.А. и др.] – М.: ОАО “Недра-Бизнесцентр”, 2001. – 316 с.

4 Низкотемпературный сепаратор новой конструкции / [В.А.Толстов, В.М.Алексеев, А.П.Елеференко и др.] // Газовая промышленность. – 1975. – № 12. – С. 11 – 13.

5 Исследование работы вертикального сепаратора с горизонтальной насадкой из вязаной сетки / [Ю.А.Кашицкий, В.А.Толстов, А.П.Елеференко и др.] // Газовая промышленность. – 1973. – № 2. – С. 6 – 10.

6 Гриценко А.И. Физические методы переработки и использования газа : учебное пособие / А.И. Гриценко, И.О. Александров, А.И. Галанин. – М.: Недра, 1981. – 224 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії
04.10.10

Рекомендована до друку професором
Кондратом Р.М.