

Актуальні питання нафтогазової галузі

УДК 622.276:621.1.016

ЗАСТОСУВАННЯ ГАЗОГІДРАТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В НАФТОГАЗОВІЙ ГАЛУЗІ

В.О. Онищенко, В.В. Клименко

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,
36011, м. Полтава, просп. Першотравневий, 24, тел. (05322) 73867, e-mail: klymvas@ukr.net

Розглянуто застосування газогідратних технологій для стискування природного або іншого гідратоутворювального газу, розділення газових сумішей. Описано пропозиції по транспорту газу в газогідратному стані, зокрема у вигляді льодогідратних капсул. Наведено схему установки, в якій застосовано принципи газогідратного і ежекторного компримування, що дає змогу експлуатувати газові і газоконденсатні родовища (свердловини) у період зниження пластового тиску, аж до повного їх виснаження. Проаналізовано технології видобування метану з газогідратних покладів в акваторії Чорного моря та розглянуто напрямки досліджень окремих складових газогідратних технологій в науково-дослідній лабораторії Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка.

Ключові слова: газогідратні технології, природний газ, льодогідратні капсули, видобування, підготовка та транспорт природного газу.

Рассмотрено применение газогидратных технологий для сжатия природного или другого гидратообразующего газа, разделения газовых смесей. Описаны предложения по транспорту газа в газогидратном состоянии, в частности в виде льдогазгидратных капсул. Приведена схема установки, использующей принципы газогидратного и эжекторного компримирования, что позволяет эксплуатировать газовые и газоконденсатные месторождения (скважины) в период снижения пластового давления, вплоть до полного их истощения. Проанализированы технологии добычи метана из газогидратных залежей в акватории Черного моря и рассмотрены направления исследований отдельных составляющих газогидратных технологий в научно-исследовательской лаборатории Полтавского национального технического университета им. Ю. Кондратюка.

Ключевые слова: газогидратные технологии, природный газ, льдогазгидратные капсулы, добыча, подготовка и транспорт природного газа

In this work was researched the application of gas hydrate technologies used for natural gas compression, was researched the process of gas mixtures splitting using gas hydrates. Was described the main idea of natural gas transport in hydrate state with the help of ice-hydrate capsules. The scheme of the plant was presented in which gas hydrate and ejector compression is used. This plant allows to recover gas and gas condensate reservoirs at the final stage. Was analyzed methane extraction technologies from gas hydrate fields of Black sea. In this work was discussed the ways of researches in different gas hydrate technologies in Poltava national technical university research laboratory.

Keywords: gas hydrate technologies, natural gas, ice-hydrate capsule, extraction, refining, transportation of natural gas.

Термодинамічні властивості газогідратів, можливість гнучко реалізувати процеси їх утворення та розкладання за відносно невисоких тисків і температур дасть змогу здійснити низку технологічних процесів із більшою ефективністю порівняно з існуючими промисловими технологіями. У цьому напрямі перспективним є стискування природного або іншого гідратоутворювального газу шляхом переведення їх через гідратний стан, розділення газових су-

мішей у процесі гідратоутворення, транспортування газу в газогідратному стані.

Газогідратна термокомпресія (ГТТ) газів базується на тому, що гідратоутворювач у газогідратному стані займає суттєво менший об'єм, ніж у газоподібному. Так, наприклад, 1 м³ гідрату метану вміщує 162,6 м³ метану [1]. Процес стискування шляхом ГТТ - безмашинний, одноступеневий, за будь-яких ступенів стискування близький до ізотермічного. Тиск для метану,

природного газу, N_2 та інших може бути визначений із рівняння стану за температури плавлення газогідратів за питомим об'ємом. Наприклад, утворивши гідрат етану при 5,2 бар й $0^\circ C$ та розклавши в замкненому об'ємі при $95^\circ C$, отримаємо тиск 4000 бар [1].

Такий спосіб стискування пропонується застосовувати на газових промислах у технічній системі стабілізації й транспортування конденсату при підготовці газу до транспортування.

Розділення газових сумішей у процесі гідратоутворення ґрунтується на нерівності складів рівноважних фаз у присутності газогідратів, що дає змогу проводити формальну аналогію цього процесу з процесом ректифікації. При гідратному розділенні багатоконпонентних газових сумішей можна комплексно розділяти компоненти як ті, що утворюють гідрати, так і ті, що їх не утворюють [2].

В основі зручного методу розрахунку статистики термодинамічного процесу гідратного розділення є використання констант рівноваги k_i для визначення зв'язку мольних часток i -го компонента Y_i в газовій та X_i в гідратній фазах

$$Y_i = k_i X_i.$$

Це рівняння застосовують для визначення рівноважних умов гідратоутворення, які отримують із залежності

$$\sum Y_i = \sum k_i X_i = 1.$$

Значення тиску P і температури t , при котрих справедливе це рівняння, є рівноважними умовами гідратоутворення для газу, склад якого Y_1, Y_2, \dots, Y_i задано. Розроблені пропозиції щодо газогідратного розділення сумішей H_2 та C_2H_6 , бутану і пропан-пропілена, виділення гелію, сірководню та діоксиду вуглецю з природного газу [2].

Застосування газогідратної технології для транспортування природних газів є серйозною альтернативою існуючим технологіям, що використовуються у наш час. Відомі такі пропозиції щодо транспортування природного газу: 1) трубопроводами у вигляді метастабільних поршнів або контейнерів газових гідратів [3]; 2) спеціальними кораблями-носіями у вигляді заморожених газових гідратів (NGH-технологія) [4]. Згідно з першою пропозицією в районі газодобування газ переводять у газогідрати, пресують у тверді гідратні циліндричні блоки, охолоджують їх до $271 \div 273$ К, транспортують трубопроводом на газовій подушці під дією перепаду тиску газу і плавлять у районі газоспоживання з виділенням газу.

NGH-технологія розроблена в Норвезькому науково-технологічному університеті й складається з таких основних частин: виробництво на березі гідратів у спеціальних реакторах, їх заморожування у вигляді льодогазогідратних капсул (ЛГК) і переміщення на корабель, морське транспортування й регазифікація на місці призначення. Протягом рейсу теплопритоки призведуть до часткового розкладання замороженого гідрату на газ і лід. Газ, що виділився, використовується як паливо для двигунів кора-

бля-носія, а лід, який утворився, слугує ізоляцією для основної частини заморожених гідратів.

У місці призначення гідрати плавляться на кораблі-носії теплою водою, а виділений природний газ спрямовується в труби великого діаметра, приєднані до компресорів, розташованих на березі.

Співробітниками Полтавського і Кіровоградського національних технічних університетів розроблено технічні пропозиції способів ізохорного і адиабатного утворення ЛГК для подальшого транспортування та довгострокового зберігання [5,6], виконано теоретичні та експериментальні дослідження процесів утворення ЛГК [7-10]. Вигляд льодогазогідратної капсули, отриманої при заморожуванні водогазогідратної суспензії в замкненому об'ємі, зображено на рис. 1.

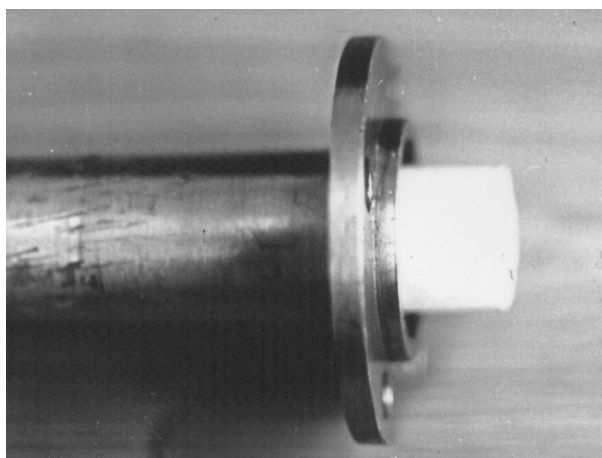
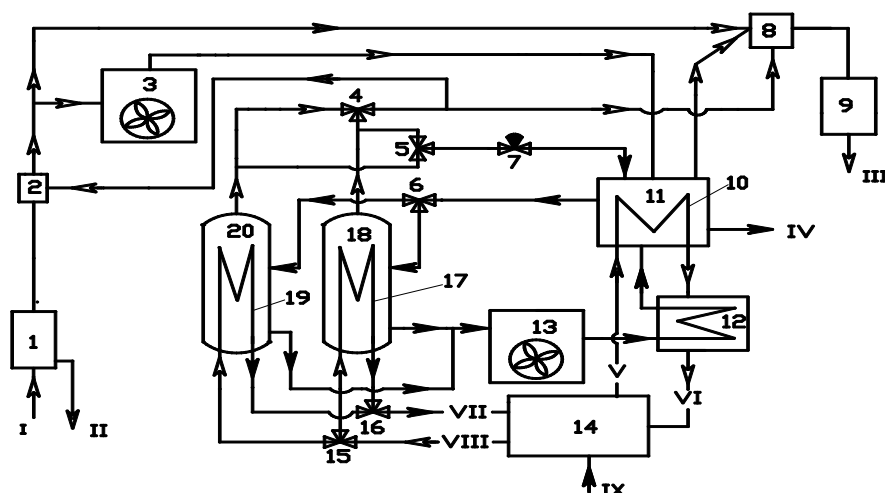


Рисунок 1 – Льодогазгидратна капсула, отримана при заморожуванні ВГС в замкненому об'ємі

Перспективним є застосування газогідратної технології при експлуатації газових і газоконденсатних родовищ (свердловин) у період зниження пластового тиску, аж до повного їх виснаження. Для таких умов запропоновано спосіб видобування і підготовки природного газу та установку для його реалізації [11,12]. Установка (рис. 2) використовує принципи газогідратного і ежекторного компримування та охолодження тепловикористовуючою холодильною машиною, для роботи якої використовується тепла енергія будь-якого походження і, відповідно, складається з трьох основних блоків: газогідратного, ежекторного і холодильного.

Попередні розрахунки свідчать, що у ході експлуатації газової свердловини з пластовим тиском 0,2–0,3 МПа для природного газу з відносною густиною $0,7 \text{ кг/м}^3$ достатньо отримувати після плавлення гідратів газ з тиском 12–16 МПа. Це дасть можливість підтримувати тиск основного потоку газу на рівні близько 6 МПа, що є достатнім для його підготовки і подання в магістральний трубопровід.

Для України нагальним є питання видобування метану з газогідратних покладів (ГГП) в акваторії Чорного моря.



1 – сепаратор фазового розділу продукції свердловини; 2 – ежектор попереднього стиснення; 3, 13 – апарати повітряного охолодження; 4, 5, 6, 15, 16 – триходові крани; 7 – дросель; 8 – ежектор остаточного стиснення; 9 – блок осушування стисненого газу; 10 – випарник холодильної машини; 11 – реактор утворення газогідратів; 12 – теплообмінник; 14 – тепло-використовуючий агрегат холодильної машини; 18, 20 – газогідратні дотискувачі; 17, 19 – конденсатори холодильної машини; I – продукція газової (газоконденсатної) свердловини; II, IV – конденсат; III – стиснений газ; V – рідкий пропан на випаровування; VI – газоподібний пропан після випаровування; VII – газоподібний пропан на конденсацію; VIII – сконденсований пропан; IX – теплоносій від зовнішнього джерела тепла

Рисунок 2 – Схема установки для видобування природного газу

На сьогодні для видобування газу із субмаринних газогідратів розглядають два основних способи: 1) застосування відомих методів розробки відкритих кар'єрів для видобування газогідратів на дні моря в твердому стані з наступною доставкою їх на поверхню; 2) переведення гідратного газу у вільний стан у пласті з наступним відбором традиційними методами. Перший спосіб малоефективний, оскільки газогідрати будуть самочинно (неконтрольовано) розкладатися при порушенні їх рівноважного стану з непередбаченими екологічними наслідками. Другий спосіб можна реалізувати такими методами: 1) зниження пластового тиску нижче рівноважного; 2) підвищення пластової температури вище рівноважної; 3) закачування в пласт інгібіторів, які сприяють розкладенню газогідратів; 4) дією активними високочастотними полями [13].

Перспективною є технологія, яка суміщає депонування CO_2 у вигляді гідратів у придонні шари і розробку ГГП [14]. Вуглекислим газом можна заміщувати метан у гідратах (цьому сприяють термодинамічні та енергетичні характеристики обох видів гідратів), організовуючи контрольований видобуток метану. Утворення гідратів вуглекислого газу в розломах земної кори дасть змогу перекривати місця виходу природного метану («свищі»).

Для дослідження вищезгаданих механізмів і процесів утворення та розкладення газогідратів у природних геологічних структурах і за термобаричних параметрів, відповідно до умов ГГП Чорного моря в лабораторії «Газогідратні технології в нафтогазовому комплексі України» кафедри ВНГГ ПолтНТУ розроблено проект експериментальної установки, основним елементом якої є модульний газогідратний реактор (рис. 3). У ньому можна буде підтримувати тем-



Рисунок 3 – Модульний газогідратний реактор

пературу від мінус 10 до 70°C і тиск до 12 МПа. Планується провести такий комплекс досліджень: перевірка моделей механізму та кінетики процесу утворення гідратів у пластових умовах, фізичне моделювання елементів технології видобутку газу з ГГП, включаючи ви-

вчення впливу дії бурового інструменту на пласт (через шлюзову камеру), процесів у привибійній зоні та у вертикальній і горизонтальній свердловинах при різних методах дії на пласт із метою виділення газу.

Література

- 1 Макогон Ю.Ф. Гидраты природных газов / Ю.Ф. Макогон. – М.: Недра, 1974. – 208 с.
- 2 Бык С.Ш. Газовые гидраты / С.Ш. Бик, Ю.Ф.Макогон, В.И.Фомина. – М.: Химия, 1980. – 296 с.
- 3 А. с. 711758 СССР, МКИ В 65 G 51/02. Газопровод для транспортировки природного газа в виде газовых гидратов / Л. Ф. Смирнов. (СССР). – № 33409321/24-03; заявл. 04. 01. 76; опубл. 03.12.83, Бюл. № 45.
- 4 Frozen hydrate compared to LNG. / Gudmundsson J.S., Hveding F. end Borrehaug A. Norwegian Institute of Technology, Trondheim, 1995. – 25 p.
- 5 Патент України 23179 А, F25D 3/00 F25C 1/18. Установа для виробництва льодяних капсул, які наповнені газовими гідратами діоксиду вуглецю / В.В.Клименко, В.Н. Корнієнко (RU), Віт.В.Клименко, Ю.П. Денисов, І.Г. Чумак; заявник і патентовласник В.В. Клименко. – № 96093438. – заявл. 03.09.96; опубл.19.05.98, Бюл. № 6.
- 6 Патент України № 61109 F25J1/00. Спосіб утворення льодогідратних капсул / В.В. Клименко, М.Л. Зоценко, М.М. Педченко, Л.О. Педченко; заявник і патентовласник Полтавський націон. техніч. університ. ім. Ю.Кондратюка. – у 201014718; заявл. 08.12.2010; опубл. 11.07.2011, Бюл. № 13.
- 7 Клименко В.В. Моделирование процесса замораживания газгидратных цилиндрических капсул / В.В. Клименко, В.С. Миронов, О.В. Скрипник // Розробка і технологія виробництва сільськогосподарських машин: Збірник наукових праць КІСМ. – 1994. – С. 61–64.
- 8 Скрипник А. В. Экспериментальная оценка процессов замораживания смеси "H₂O + газовые гидраты CO₂" / А. В.Скрипник, В.В. Клименко // Холодильна техніка і технологія. – 2007. – № 1 (105). – С. 87–89.
- 9 Клименко В.В. Моделирование адиабатного способа утворення льодогідратних капсул / В.В.Клименко, М.М.Педченко, Л.О.Педченко // Холодильна техніка і технологія. – 2010. – № 6(128). – С. 41-45.
- 10 Клименко В.В. Заморожування води в порах при адиабатному способі утворення льодогідратних капсул / В.В.Клименко, М.М.Педченко, Л.О.Педченко // Холодильна техніка і технологія. – 2011. – № 1(129). – С. 37-39.
- 11 Патент UA № 53195, E21B43/00, F04F1/00. Установа для підготовки природного газу / В.В. Клименко, М.Л. Зоценко, М.М. Педченко, Л.О. Педченко; заявник і патентовласник Полтавський націон. техніч. університ. ім. Ю.Кондратюка – у 201004095; заявл. 08.04.2010; опубл. 27.09.2010, Бюл. № 18.
- 12 Патент UA № 53196, E21B43/00, F04F1/00. Спосіб видобування і підготовки природного газу / В.В. Клименко, М.Л. Зоценко, М.М. Педченко, Л.О. Педченко; заявник і патентовласник Полтавський націон. техніч. університ. ім. Ю.Кондратюка. – у 201004095; заявл. 08.04.2010; опубл. 27.09.2010, Бюл. №18.
- 13 Басниев К.С. Способы разработки газогидратных месторождений / К.С. Басниев, В.В.Кульчицкий, А.В. Щebetов // Газовая промышленность. – 2006. – № 7. – С.22-24.
- 14 Жук Г.В. Применение гидратов в технологиях хранения CO₂ / Г.В.Жук, А.И.Пятничко, П.Ф.Гожик, В.В. Клименко: Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції «Енергоефективність – 2010» (19-21 жовтня 2010 р.,Київ, Україна). – К.: Інститут газу НАНУ, 2010. – С. 48- 51.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
25.10.11*

*Рекомендована до друку професором
Федоришиним Д.Д.*