

УДК 665. 612:622.691.2

Л.О. Педченко (аспірант)

М.М. Педченко (старший викладач)

Полтавський національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка, м. Полтава

В.С. Білецький (д-р техн. наук, професор)

Донецький національний технічний університет, Донецьк

ТЕХНОЛОГІЯ ФОРМУВАННЯ ГАЗОГІДРАТНИХ БЛОКІВ З МЕТОЮ ТРАНСПОРТУВАННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ГАЗІВ

У роботі запропоновано і експериментально обґрунтовано основні елементи технології виробництва газогідратних блоків великих розмірів, з метою їх транспортування і довгострокового зберігання. Експериментально вивчено особливості формування газогідрату шляхом стискування. Обґрунтовано доцільність проведення операцій формування газогідратної маси після її заморожування. Зафіксовано значний прояв ефекту повзучості газогідратної маси та експериментально досліджено його вплив на параметри процесу формування газогідратних блоків. Проаналізовано залежність пластичності гідратної маси від температури. Обґрунтовано переваги технології виробництва газогідратних блоків великих розмірів.

Ключові слова: гранули, газогідратні блоки, газові гідрати, пористість, спресовування, повзучість, дисоціація, самоконсервація.

Постановка проблеми і стан її вивчення. Проблема транспортування та зберігання вуглеводневих газів у світовій практиці розглядається і вирішується різними шляхами. Історично найперший і сьогодні найбільш застосований на практиці – передача природного газу газопроводами і зберігання його у підземних сховищах у звичайному (газоподібному) вигляді. У останні десятиліття активно розвивається напрямок скраплення вуглеводневих газів – транспортування їх у такому стані – переведення у газоподібну форму на приймальному терміналі. Скорочення запасів вуглеводневих паливних корисних копалин, – у першу чергу нафти і природного газу, – актуалізує пошуки нових джерел, нових видів природних енергоносіїв – сланцевого газу, природних газогідратів. У зв'язку з цим актуальною є проблема поєднання цих технологій з технологіями транспортування та зберігання вуглеводневих газів.

На сьогодні технологія транспортування природного газу в газогідратній формі розглядається як серйозна альтернатива традиційним технологіям. Особливої уваги заслуговують проекти транспорту природного газу у вигляді гранул та газогідратної суспензії, розроблені в Японії та Норвегії [1]. Лабораторні експерименти показали, що для зберігання концентрованої газогідратної суміші необхідно підтримувати тиск у межах 1 МПа при температурі 275 К. Такі умови подібні до умов, створюваних на морських судах для перевезення зріджених нафтових газів (LPG). Але вони тільки підвищують собівартість транспортування газу.

Відомі також проекти транспортування газогідрату у вигляді газогідратних гранул. Принципові переваги сухого гранульованого газогідрату у тому, що його можна зберігати за незначних від'ємних температур та атмосферному тиску без значних втрат газу. Застосування саме таких технологій знижує вартість морських перевезень газу. Але технології транспортування та зберігання гранульованого газогідрату мають ряд недоліків.

Головні труднощі при роботі із гранульованим газогідратом виникають під час їх розвантажування з трюмів танкерів. Звичайно гранули у своєму складі, окрім газогідрату, містять до 10 % вільної води. Під час транспортування відбувається змерзання гранул у суцільну і досить міцну структуру. Це призводить до

блокування конвеєрних систем. Крім того, лабораторні досліди показали, що важко видалити таку газогідратну масу із судна без їх часткової дисоціації в результаті механічної дії при розпушуванні [2].

Одним із резервів зниження витрат на транспортування газу у газогідратній формі є максимально щільне заповнення ним транспортного засобу. Як відомо, найбільш щільною є ромбоєдрична укладка кульок однакових розмірів. Саме її отримуємо при перевезенні гранульованих газогідратів. При цьому частка заповнення об'єму транспортного засобу вантажем не залежить від розміру гранул і становить 78% [3].

Найефективнішим варіантом заповнення транспортного засобу (майже 100 %) можна вважати монолітні блоки великих розмірів [4]. Цього можна досягти формуванням газогідратних блоків у формі кубів. Але при їх транспортуванні підвищується ймовірність відколювання його кутів. Ураховуючи це, доцільно розглянути формування газогідратної маси у блоки великих розмірів у формі шестикутної правильної призми. Такої форми блоки можна вкласти з максимальною щільністю. У той же час імовірність відколювання кутів від блоків такої форми буде значно нижчою. Процес виробництва газогідратних блоків, як і гранульованого газогідрату, складається із багатьох технологічних операцій, серед яких найбільш відповідальним є їх формування.

Мета статті – дослідження і аналіз особливостей технології виробництва газогідратних блоків великих розмірів придатних для транспортування та довгострокового зберігання, зокрема, вивчення механічних властивостей газогідратної маси.

Виклад основного матеріалу. Процес формування як гранул, так і блоків здійснюється шляхом стискування газогідратної маси, тобто зниження його початкової пористості до мінімально можливої або необхідної. Під час прикладання сили деформації до тіла лише по одній осі і за відсутності бокових стінок виникають поперечні сили розтягування $F_{роз}$ (рис.1,а). Між гранями циліндричного зразка та плитами преса вони урівноважуються із силами тертя $F_{тер}$. По довжині зразка існує місце, де сили розтягування $F_{роз}$ досягають найбільшого значення, а сили тертя $F_{тер}$ – найменшого (рис.1,б). Чим більша довжина зразка h , тим більші сили розтягування і менші тертя виникають на висоті $h/2$. Тому межа міцності при стискуванні зразків з пропорціями $d \approx h$ значно вища за $d < h$. Це необхідно враховувати при виробництві газогідратних блоків.

У випадку наявності вертикальних стінок при стискуванні газогідратної маси циліндричної форми поперечні сили розтягування $F_{роз}$, які при цьому виникають, будуть урівноважуватися силами реакції опору бічних стінок. У результаті поверхневий шар гідратної маси буде краще ущільнений, ніж внутрішній (рис. 1, в).

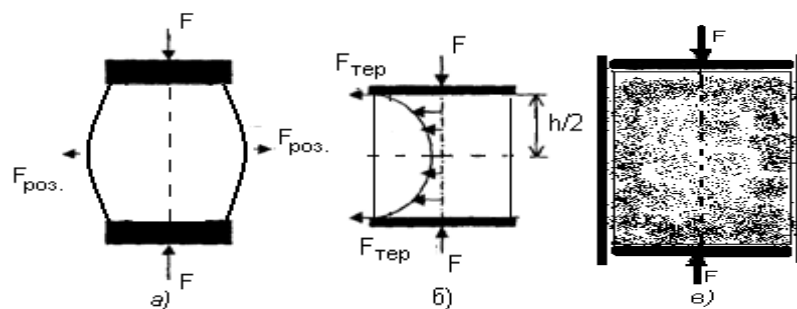


Рис. 1. Схеми стискування зразків:

а) поперечне розширення при стискуванні тіла без вертикальних стінок; б) сили тертя, що виникають при стисненні тіла; в) неоднорідна пористість газогідратної маси після стиснення

Тобто сформований газогідратний циліндр у центральній частині матиме вищу від запланованої пористість. Приклавши додаткові зусилля, пористість, звичайно, можна знизити до нульової. Проте, як показали наші експерименти, при зниженні пористості газогідратного зразка нижче 0,1 різко підвищується його крихкість.

Ураховуючи це та необхідність створення енергоефективної технології, ми пропонуємо формувати газогідратні блоки великих розмірів шляхом спресовування суміші газогідратних гранул із мінімальною пористістю та порошкоподібного газогідрату, взятих у відповідній пропорції.

Для утворення блоків із розрахунку на 1 м^3 необхідно $0,52\text{ м}^3$ гранульованого газогідрату мінімальної пористості діаметром 10 – 14 мм та $0,644\text{ м}^3$ подрібненого газогідрату пористістю 0,5. Указана пропорція підібрана таким чином, щоб після ретельного змішування і спресовування вказаної суміші гранули газогідрату залишалися цілісними. Після стискування газогідратний блок матиме таку структуру: $0,52\text{ м}^3$ займатимуть гранули та $0,48\text{ м}^3$ – газогідрат пористістю 0,12. Середня пористість блоку складе 0,058. Слід звернути увагу на те, що пористість подрібненого газогідрату після стискування буде у 2 рази вищою за середню пористість зразка.

З метою підвищення стабільності утворених газогідратних блоків доцільним є їх примусова консервація льодяною кіркою. Проте при виконанні транспортних операцій не виключене їх руйнування. При температурі вище 273 К почнеться дисоціація поверхневого шару газогідрату. В результаті цього можливий прояв ефекту самоконсервації. Але, як показали наші експерименти, є певна залежність можливого прояву даного ефекту від пористості газогідратного зразка і зовнішньої температури. Результати експерименту по вивченню ефекту самоконсервації зразків газогідрату різної пористості залежно від їх температури при атмосферному тиску і температурі повітря 273 К та 278 К подано на рисунку 2. Утворенню льодяної кірки відповідають області під кривими.

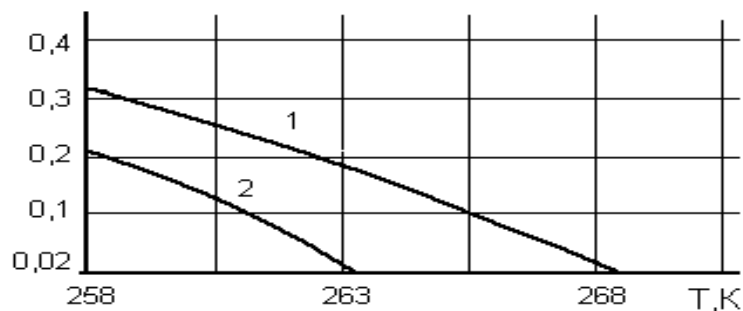


Рис. 2. Графіки залежності температури газогідрату від пористості для прояву ефекту самоконсервації при температурі повітря 273 К (крива 1) та 278 К (крива 2)

Отже, із графіків, зображених на рис. 2, випливає, що після формування газогідратного блоку пористість газогідрату між щільними гранулами не повинна перевищувати 0,21, при цьому його середня пористість буде 0,11.

Формування газогідратної маси у гранули здійснювали ударом, а блоків – поступовим стискуванням. В обох випадках абсолютна деформація ε виходить за межі пружної – об'єм зразка зменшиться. Зовнішні сили виконують роботу, спрямовану на розрив зв'язків між кристалами, на зменшення об'єму порового простору, та протидіють силам когезії (режеляції) між кристалами газогідрату і льоду при

від'ємних температурах. У результаті пористість зразка змінюється, наприклад, від 0,5 до 0,12.

У циліндрі, як протидія зовнішнім силам, виникає внутрішня напруга. Її величина залежить не лише від величини деформації тіла, а й від швидкості, з якою зовнішня сила діє на предмет. Тому можна передбачити, що під час спресовування шляхом удару внутрішня напруга буде достатньо великою порівняно з напругою, що виникне під час поступового повільного стискування.

Внутрішня напруга, що виникає під час стискування чи удару, проявляється у формі внутрішнього тертя і буде спрямована проти дії зовнішніх сил – у бік зменшення впливу на зразок. Тому частина роботи при деформації зразка витрачається на його нагрівання. Саме завдяки цим внутрішнім силам існує залишкова деформація після дії зовнішніх сил.

Отже, зовнішні сили, прикладені на одиницю поверхні гранули чи блока, виконують певну роботу. Оскільки функція $\sigma(\varepsilon)$ – нелінійна, то

$$dA_{\text{стиск}} = F_{np} d\varepsilon = S \int_0^{\varepsilon} \sigma d(\varepsilon), \quad (1)$$

де F – сили пружності, Па;

$d\varepsilon$ – зміна величини деформації зразка, м;

σ – напруга, що виникає під час прикладання зовнішньої сили до зразка, Па;

S – площа поперечного перерізу зразка, м².

Повна робота, виконана зовнішніми силами під час формування, визначається за формулою

$$A_{\text{стиск}} = S \sigma \varepsilon. \quad (2)$$

Процес формування газогідратних гранул шляхом удару описується формулою

$$mg(h + \varepsilon) = S \sigma \varepsilon. \quad (3)$$

Формування газогідратного блока – формулою:

$$F = S \sigma \varepsilon. \quad (4)$$

З метою перевірки запропонованого способу формування газогідратних блоків проведено експерименти по утворенню гранул і формуванню із них та подрібненого газогідрату блоків.

Утворену і сепаровану суміш води і газогідрату із концентрацією останнього 70 – 75 % осушували сировинним газом для видалення води шляхом зв'язування її у газогідрат. Процес здійснювали протягом 18 годин при температурі 277 – 282 К і тискові 5,6 МПа. Хід процесу контролювали, враховуючи швидкість падіння тиску в робочій камері після припинення подачі газу. З метою видалення компонентів газової суміші, що не утворюють газогідрат, камеру періодично продували сировинним газом без зміни термобаричних параметрів.

Після осушки концентрований газогідрат охолоджували до 248 К, після чого тиск у камері знижували до атмосферного і газогідрат вилучали з апарата. Його пористість становила в середньому 31 %.

Слід відмітити, що при стискуванні структурованого газогідрату витрачається значно більше енергії на подолання сил взаємодії між кристалами в порів-

нянні з попередньо подрібненим. Досить міцні (жорсткі) структури утворюються за рахунок когезії кристалів і замерзання залишкової води при від'ємній температурі.

Наприклад, відносна деформація (ϵ) після створення тиску на зразок подрібненого газогідрату за температури 175 К становить 0,02, у той же час, як для твердого – лише 0,001 [6].

При температурі, вищій за 273 К, газогідратна маса значно податливіша при стискуванні, особливо коли на поверхні кристалів є хоча б незначна кількість води в рідкій фазі. Вода, на відміну від льоду, не з'єднує частинки між собою, а навпаки – запобігає їх коагуляції. Але в умовах лабораторії, при температурі вищій за 273 К, досить складно провести експерименти по формуванню газогідратної маси у структури, придатні для їх транспортування і зберігання, оскільки для попередження дисоціації необхідно підтримувати тиск, вищий за 3,5 МПа. Такі умови економічно недоцільно створювати і в умовах виробництва. Крім того, запропонований нами технологічний ланцюг виробництва газогідратних блоків великих розмірів передбачає, що на виході із установки їх температура повинна бути не вищою за 258 К. Ураховуючи фізичні властивості газогідрату, можна зробити висновок, що тривалість процесу охолодження таких блоків і, як наслідок, довжина відповідної технологічної лінії не можуть задовольнити умови промислового виробництва.

Отже, ми пропонуємо охолоджувати газогідратну масу до моменту її формування в блоки. До того ж, рівень переохолодження повинен враховувати тепловий баланс операцій згідно із запропонованою технологією (формування гранул, формування блоків, утворення льодяної кірки, а також втрати енергії), оптимальну температуру зберігання ЛГБ при атмосферному тискові і можливі втрати енергії під час транспортування і зберігання. У той же час зайве переохолодження негативно вплине на економіку процесу. Проведені нами розрахунки показали, що оптимальна температура підготовленої газогідратної маси перед формуванням становить 253 К.

Тому, згідно з методикою експерименту, перед формуванням висушену і охолоджену до 253 К газогідратну масу подрібнювали до розмірів частинок не більше 1 мм. Пористість отриманої маси становила близько 51 %. При цій же температурі із частини подрібненого газогідрату, за допомогою штампа, схема якого зображена на рис. 3, шляхом удару формували гранули середнього діаметра 4,5 мм, масою 2,2 г.

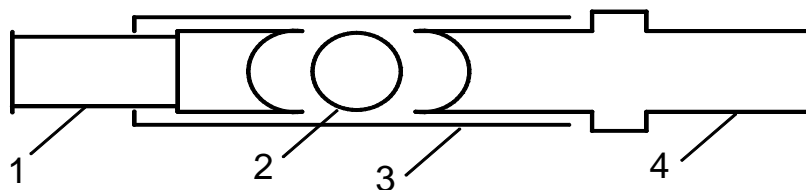


Рис. 3. Штамп для виготовлення газогідратних гранул: 1, 4 – верхній і нижній шток із півсферичними заглибинами; 2 – гранула газогідрату; 3 – корпус

Для цього в корпус 3 поміщали наважку газогідрату (2,2 г). Пристрій закріплювали у вертикальному положенні та із висоти 0,9 м кидали вантаж масою 18,5 кг, який ударяв у торець верхнього штока 1 (рис. 3). При падінні він ударяв із силою 169 Н. У результаті удару подрібнений газогідрат спресовувався практично до нульової пористості.

Далі 110 гранул перемішували з 375 см^3 подрібненого газогідрату. Отриману суміш, масою 430 г, поміщали між двома поршнями в металевому циліндрі внутрішнім діаметром 81 мм (рис. 4).

Крім того, один поршень 2 (площею $50,24 \text{ см}^2$) приєднували до штока гідравлічного преса 1, другий 4 – до динамометра 5. Уся конструкція розміщується горизонтально. Суміш стискували, фіксуючи прикладену силу за допомогою динамометра, скорочення зразка – по положенню поршнів.

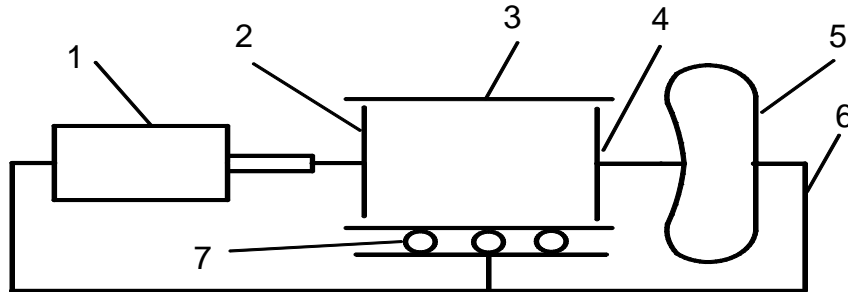


Рис. 4. Схема пристрою для вивчення процесу формування газогідратних блоків: 1 – гідравлічний прес; 2, 4 – поршень; 3 – циліндр; 5 – динамометр; 6 – рама; 7 – рухома опора

В ході експерименту по утворенню газогідратних блоків необхідно встановити особливості процесу ущільнення. Вони базуються на реологічній моделі і характеризують напружено-деформівний стан газогідратної маси як об'єкта ущільнення. Реологічні параметри газогідратної маси визначалися через величину деформації зразка при покроковому збільшенні зусилля прикладеного до зразка в від пористості зразка та початкової температури. Оскільки ущільнення газогідратного блоку економічно доцільно проводити за рахунок деформацію повзучості, тому експеримент зі швидким одноразовим стискуванням не розглядали.

Методику експерименту розроблено, виходячи із варіювання параметру h при ступінчатих і постійних значеннях σ як однофакторного експерименту. Для цього вимірювали величину скорочення протягом 1 хв після кожного прикладання зусилля до зразка. Результати вимірів показано у вигляді графіка на рис. 5.

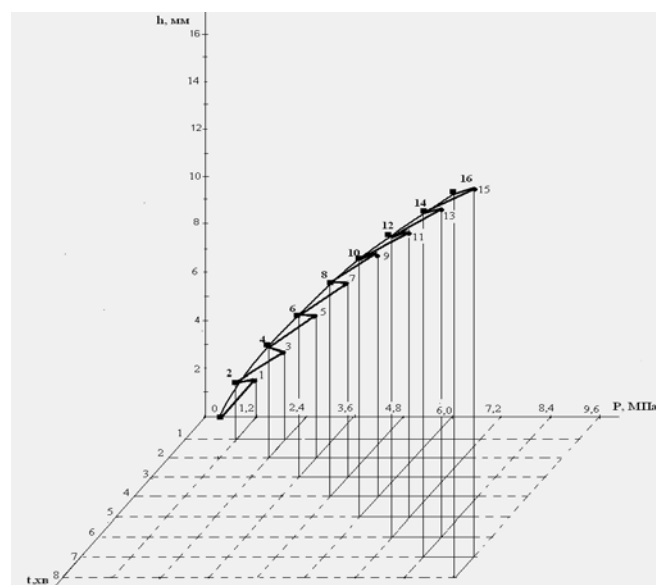


Рис. 5. Графік осадки зразка газогідратного блоку при покроковому збільшенні навантаження

За результатами випробувань вибрано рівняння регресії, методом найменших квадратів встановлено коефіцієнти залежності. Величина осадки газогідратного зразка від величини зусилля, що покрокового збільшується, описується апроксимуючою залежністю, поданою в таблиці 1 і виконано степеневою функцією:

$$P = a \cdot h^b, \quad (5)$$

де P – нормальний тиск, створюваний на зразки (МПа);

a та b – емпіричні коефіцієнти залежності;

h – параметри досліджуваного фактора – осадка газогідратного блоку (мм).

Таблиця 1 – Апроксимація дослідних даних степеневою функцією

Фактор	Нормальний тиск, створюваний на зразки, МПа	
Осадка	$P = 0,496 \cdot h^{1,05}$	
	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт варіації
	$r = 0,999$	$v = 0,035$

Графік та встановлені залежності указують на сильний і прямий кореляційний зв'язок. Осадка газогідратного блоку зростає зі збільшенням тиску, прикладеного до нього.

У результаті одновісного компресійного стискування довжина зразків газогідрату скорочувалася на 15 – 17 мм. При цьому їх середня пористість знаходилася в межах 0,06 – 0,08. Отримані зразки циліндричної форми ($d = 81$ мм, $h = 107$ мм) на зрізі мали рівномірне розподілення гранул по об'єму зразка без проявів їх деформації і руйнування (рис. 6).

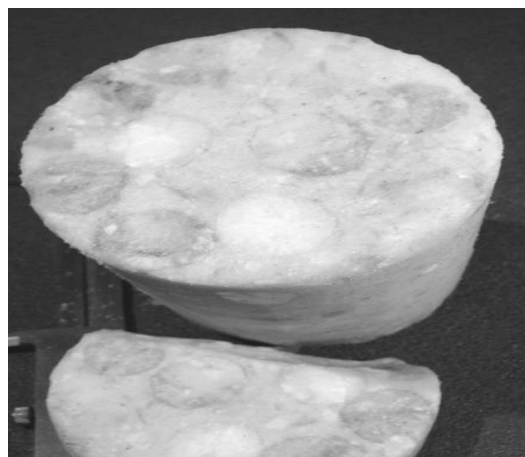


Рис. 6. Поперечний зріз газозогідратного блока після формування

На основі отриманих результатів побудовано реологічну діаграму ущільнення газогідратної маси для випадку створення постійного тиску на зразок (при $\sigma_0 = \text{const}$) (рис. 7).

Загальна деформація газогідратного блоку для кожного випадку прикладання постійного навантаження складається із суми миттєвої деформацій та деформа-

ції повзучості. Модель процесу ущільнення можна представити послідовним з'єднанням лінійно-деформівного тіла (пружного елемента Гука) і пружно-в'язкого тіла Кельвіна-Фойгта (паралельно з'єднаних пружного та в'язкого елементів), зображеного на рис. 8.

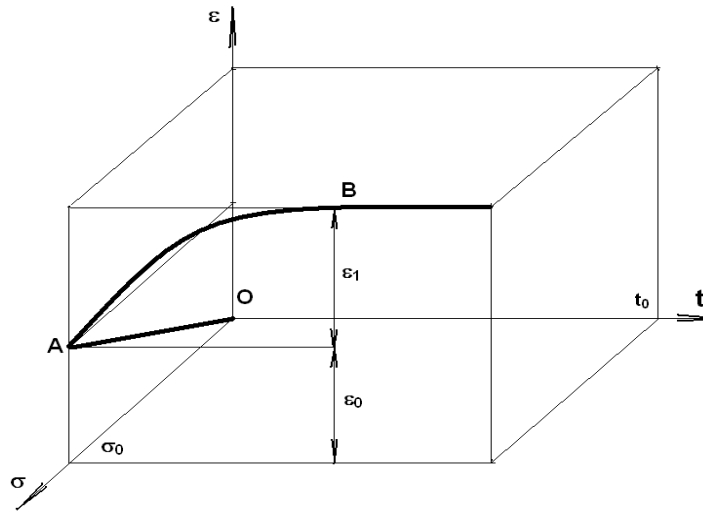


Рис. 7. Реологічна діаграма ущільнення газогідратної маси для випадку створення постійного тиску на зразок (при $\sigma_0 = \text{const}$)

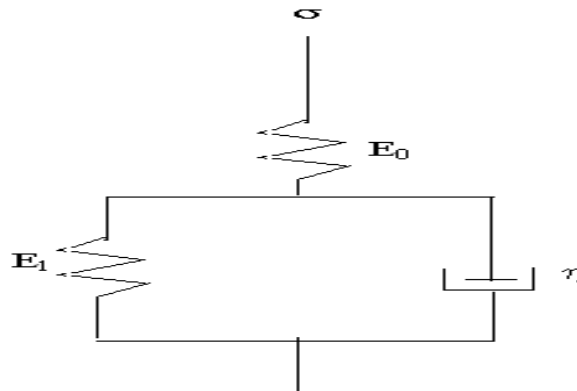


Рис. 8. Реологічна модель узагальненого пружно-в'язкого тіла (нормальна реологічна модель)

Рівняння стану запропонованої моделі має вигляд [5]

$$E_0 n \frac{d\varepsilon}{dt} + \varepsilon H = n \frac{d\sigma}{dt} + \sigma, \quad (6)$$

де $n = \frac{\eta}{E_0 + E_1}$ – час релаксації;

$H = \frac{E_0 \cdot E_1}{E_0 + E_1}$ – тривалий модуль деформації.

Для постійної напруги $\sigma = \text{const}$ і часу t рівняння деформації матиме вигляд

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma}{H} + \left(\frac{\sigma}{E} - \frac{\sigma}{H}\right)e^{-\frac{H}{En}t} \quad (7)$$

Значення реологічних параметрів E_0 , E_1 та η обчислено і подано в таблиці 2.

Таблиця 2 – Реологічні параметри газогідратної маси, визначені експериментально

№ п/п	Миттєва деформація	Деформація повзучості	
	Модуль початкової деформації E_0 , МПа	Модуль тривалої деформації E_1 , МПа	Коефіцієнт в'язкості η , МПа·с
1.	99,2 – 840	954 – 7440	12500 – 135000

Отже, важливою складовою процесу ущільнення газогідратних зразків є осадка, що здійснюється за рахунок деформація повзучості. Процес скорочення проходить без прикладання додаткових зусиль. Таке протікання процесів пластичної деформації приводить до зниження пружних і росту пластичних властивостей. Тому використання пластичності газогідратних блоків дасть можливість зменшити кількості енергії, необхідної для їх ущільнення.

Зміну швидкості протікання деформації повзучості при ущільненні до необхідної пористості визначили за допомогою регресійного аналізу експериментальних даних для газогідратних блоків із температурою 250 – 259 К та кінцевою пористістю 0,058. В процесі аналізу залежність апроксимовано експоненційним рівнянням регресії й подано у таблиці 3.

Таблиця 3 – Апроксимація дослідних даних експоненційною функцією

Фактор	Швидкість відносної деформації повзучості зразка газогідрату, с^{-1}	
Час, с	$\varepsilon_1 = \frac{\sigma}{954 \cdot 10^6} (1 - e^{-0,076t})$	
	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт варіації
	$r = 0,995$	$v = 0,035$

На рис. 9 показано графік зміни швидкості відносної деформації зразка газогідрату при прикладанні постійного навантаження з часом для експериментальних та розрахункових даних.

Отже, швидкість деформації з часом поступово зменшується, прямує до постійної величини – $1,5 \cdot 10^{-5}$ м/с, що узгоджується із результатами наведеними у [6]. За рахунок деформації повзучості скорочення зразка, згідно експерименту, становило 33 – 36%

При деформації зразка газогідрату відбувається його часткова дисоціація навіть при термобаричних умовах, що відповідають його стабільності. До того ж цей процес відбувається і при низьких, і при високих температурах. Дисоціацію спричиняють порушення цілісності кристалічної решітки та мікротріщини [6].

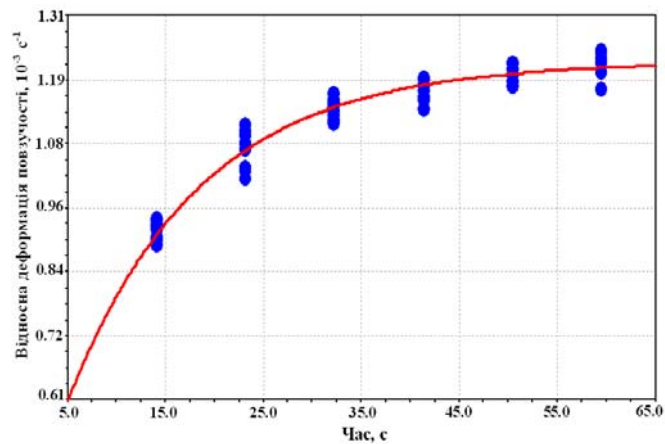


Рис. 9. Зміна швидкості відносної деформації повзучості зразка газогідрату при прикладанні постійного навантаження

Тому, ми вважаємо, що процес стискування зразка газогідрату супроводжується наступними процесами: руйнуванням кристалічної решітки газогідрату і льоду; перетворенням частини механічної енергії в теплову; частковою дисоціацією газогідрату з виділенням газу і вільної води (у тому числі і переохолодженої) та поглинанням енергії, необхідної для його дисоціації; утворенням газогідрату із води і газу з виділенням тепла гідратуутворення; теплообміном між поровим простором і кристалами. До того ж ці процеси проходять одночасно і переважно в місцях контакту структурних одиниць. Переважання того чи іншого процесу залежить від початкової температури зразка і тиску газу в порах. Крім того, при температурі, вищій за точку кристалізації води і атмосферному тиску, переважатимуть процеси дисоціації і руйнування кристалів. Відповідно при низьких температурах переважають процеси, що відповідають перекристалізації: повторне утворення (але іншої форми і в іншому місці) газогідрату із продуктів дисоціації і кристалізація переохолодженої води.

Як показали результати експериментів та виконані розрахунки, ущільнення газогідрату значною мірою відбувається за рахунок різко вираженого процесу повзучості, який полягає в ряді послідовних фазових переходів на межі структурних одиниць. Деформація повзучості зразка, на нашу думку, відбувається завдяки дисоціації газогідратної маси. Процес підпорядкований певним закономірностям і не може проходити миттєво. Тому врахування особливостей такого роду фазових переходів дасть можливість додатково оптимізувати параметри технологічного процесу формування газогідратних блоків.

Висновки

1. Транспортування газогідрату доцільно здійснювати у формі блоків великого розміру. Найбільш прийнятним є виготовлення газогідратних блоків у формі шестикутної правильної призми.

2. Пропонується формувати блоки шляхом поступового спресовування суміші гранульованого і подрібненого газогідрату.

3. Для виробництва блоків із запланованою температурою охолоджувати газогідратну масу доцільно до моменту його формування. У промислових умовах операції по формуванню газогідратних блоків необхідно здійснювати при температурі газогідратної маси в межах 250 – 255 К.

4. Урахування особливостей деформації повзучості газогідрату при формуванні допоможе додатково оптимізувати параметри технологічного процесу формування газогідратних блоків.

У наступних дослідженнях доцільно розглянути питання застосовності і особливостей використання запропонованої технології виробництва газогідратних блоків, їх транспортування і довгострокового зберігання з можливою ресурсною базою – сланцевим газом, природними газовими гідратами, попутним нафтовим газом на газобензинових заводах, газом термічної і термокаталітичної переробки нафти і нафтопродуктів на установках термічного і каталітичного крекінгу, піролізу і коксування, алкілювання й інших процесів, штучними газами на заводах синтетичного моторного палива (заводи деструктивно-гідрогенізаційної переробки вугілля і важких нафтопродуктів, синтезу моторного палива з оксиду вуглецю і водою й ін.), природними газами, які містять, крім метану, певну кількість більш важких вуглеводнів, газоконденсатній сировині.

Список литературы

1. Rodgers R.E. Gas Hydrate Storage Process for Natural Gas / [R.E. Rodgers, Y. Zbong, R. Arunkumar, J.A. Etheridge, L.E. Pearson, J.Mc. Cown, K. Hogancamp] // GasTIPS. – 2005, Winter.
2. Dawe R.A. Hydrate Technology for Transporting Natural Gas / R.A. Dawe, M.S. Thomas, M. Kromah // Engineering Journal of the University of Qatar. – 2003. – Vol. 16. – P. 11–18.
3. Kanda H. Economic study on natural gas transportation with natural gas hydrate (NGH) pellets / H. Kanda // 23rd World Gas Conference (Amsterdam, 2006).
4. Современное состояние газогидратных технологий. Обз. инф. / В.С. Якушев, Ю.А. Герасимов, В.Г. Квон, В.А. Истомина. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2008. – 88 с.
Yakushev V.S. Modern state of gas hydrate technologies. Rev. inf / V.S. Yakushev, Yu.A. Gerasimov, V.G. Kvon, V.A. Istomin. – М.: LTD «IRTs Gazprom», 2008. – 88 p.
5. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти: підручник / [М.Л. Зоценко, В.І. Коваленко, А.В. Яковлев и др.]. – Полтава: ПолтНТУ, 2004. – 568 с.
6. The strength and rheology of methane clathrate hydrate / [W.B. Durham, S.H. Kirby, L.A. Stern, W. Zhang] // Journal of Geophysical Research. – 2003. – Vol. 108. – No. B4, 2182. – P. 1–11.

Надійшла до редакції 27.08.2012

Л.А. Педченко, М.М. Педченко, В.С. Белецкий

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава

ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГАЗОГИДРАТНЫХ БЛОКОВ С ЦЕЛЬЮ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ

В работе предложено и экспериментально обосновано основные элементы технологии производства газогидратных блоков больших размеров, в форме правильной шестиугольной призмы. Экспериментально изучены особенности формирования газогидрата путем сжатия. Обосновано целесообразность исполнения операций формирования газогидратной массы после ее замораживания. Зафиксировано значительное проявление эффекта ползучести газогидратной массы и экспериментально исследовано его влияние на параметры процесса формирования газогидратных блоков. Обоснованы преимущества технологии производства газогидратных блоков больших размеров.

Ключевые слова: гранулы, газогидратные блоки, газовые гидраты, пористость, сжатие, ползучесть, диссоциация, самоконсервация.

L.A. Pedchenko, M.M. Pedchenko, V.S. Biletskyy

THE TECHNOLOGY OF FORMATION OF HYDRATE BLOCKS WITH THE PURPOSE OF TRANSPORTING AND STORAGE OF HYDROCARBONIC GASES

Therefore in work the basic elements of technology of production of ice gas hydrate blocks of large size are offered and substantiated experimentally. Authors studied the features of forming of gas hydration mass by a compression during an experiment. Expedience of conducting of operations of forming of gas hydration mass after freezing is substantiated. A considerable display of the effect of creep of gas hydration mass is fixed. Its influence is probed on the parameters of process of forming of gas hydration blocks experimentally. Also dependence of plasticity of gas hydration mass with a temperature is analysed. Advantages of technology of production of gas hydrate blocks of large size with the purpose of their transporting and long-term storage are substantiated.

Keywords: pellets, gas hydrate blocks, gas hydrate, porosity, compression, creep, dissociation, self-preservation.