

Секція: Технічні науки

Григорський Станіслав Ярославович

кандидат технічних наук,

доцент кафедри газонафтопроводів та газонафтоосховищ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

м. Івано-Франківськ, Україна

Павлів Дмитро Дмитрович

студент

Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

м. Івано-Франківськ, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ МАГІСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДУ ПРИ ФОРМУВАННІ ГАЗОВИХ ГІДРАТІВ

У найширшому сенсі гідратами називають хімічні сполуки, до складу яких входить вода. Так, наприклад, існує клас неорганічних сполук, які називаються «твердими гідратами». Вони являють собою тверді речовини з іонним типом зв'язків, в яких іони оточення молекулами води і утворюють тверде кристалічне тіло. Однак в цій роботі ми будемо, як це прийнято в газовій промисловості, розуміти під гідратами речовини, що складаються із мікромолекул і води [1].

Гідрати – це тверді кристалічні сполуки, утворені водою і мікромолекулами. Вони входять в більший клас хімічних сполук, відомих під назвою «клатратів» або «з'єднань включення». Клатратами називають з'єднання, в яких молекули однієї речовини укладені всередині структур, утворених молекулами іншої речовини [1; 2]. Об'єктом нашого дослідження будуть водні клатрати, також звані гідратами, але поряд з ними існують і інші види клатратних з'єднань, і які безпосередньо за

певних умов утворюються на лінійних ділянках магістральних газопроводів .

Здатність води утворювати гідрати пояснюється наявністю в ній водневих зв'язків. Водневий зв'язок змушує молекули води вибудовуватися в геометрично правильні структури. У присутності молекул деяких речовин ця впорядкована структура стабілізується і утворюється суміш, що виділяється у вигляді твердого осаду.

Ще одна цікава особливість газових гідратів полягає у відсутності зв'язків між молекулами-гостями і господарями. Молекули-гості можуть вільно обертатися всередині решіток, утворених молекулами-господарями. Це обертання молекул було підтверджено за допомогою спектроскопічних вимірювань. Таким чином, дані з'єднання можна найкращим чином описати як тверді розчини.

Для утворення гідратів необхідні наступні три умови [3]:

1. Сприятливі термобаричні умови. Утворенню гідратів сприяє поєднання низької температури і високого тиску.

2. Наявність гідратоутворюючої речовини. До гідратоутворюючих речовин відносяться метан, етан, пропан, бутан, сірководень та двоокис вуглецю.

3. Достатня кількість води. Води не повинно бути ні занадто багато, ні занадто мало.

Зазначимо, що для умов магістрального транспорту газу комбінація всіх вказаних трьох факторів можлива. При низькій якості осушки газу або після гідравлічних випробувань в газопроводі може утворитися конденсат і, як наслідок, утворюватися кристалогідрати, в результаті чого знижується його пропускна здатність, або взагалі повністю закупорюється внутрішня порожнина трубопроводу.

Прискореному утворенню гідратів також сприяють такі явища [2; 3]:

1. Турбулентність:

- високі швидкості потоку. Утворення гідратів активно протікає на ділянках з високими швидкостями потоку середовища. Це робить дросельну арматуру особливо чутливою до утворення гідратів. По-перше, температура природного газу при проходженні через дросель, як правило, значно знижується внаслідок афекту Джоуля-Томсона. По-друге, в зменшеному прохідному перерізі клапана виникає велика швидкість потоку.

- перемішування. При перемішуванні газу в трубопроводі, технологічному резервуарі, теплообміннику тощо інтенсивність гідратоутворення зростає.

2. **Центри кристалізації.** Говорячи простою мовою, центр кристалізації являє собою точку, в якій є сприятливі умови для фазового перетворення, в даному конкретному випадку – утворення твердої фази з рідкою. Центрами кристалізації для утворення гідратів можуть бути дефекти трубопроводів, зварні шви, фасонні деталі і арматура трубопроводів (наприклад, коліна, трійники, клапани) тощо. Включення шламу, окалини, бруду і піску також є хорошими центрами кристалізації.

3. **Вільна вода.** Наявність вільної води не є обов'язковою умовою для гідратоутворення, однак інтенсивність гідратоутворення в присутності вільної води, безумовно, зростає. Крім того, поверхня розділу вода-газ є зручним центром кристалізації для утворення гідратів.

Перераховані вище фактори сприяють посиленню гідратоутворення, але не є обов'язковими умовами. Тільки три названі раніше умови є обов'язковими для гідратоутворення.

Розглянемо метод розрахунку умов гідратоутворення і безпосередньо перерізу, в якому можливе утворення гідратів, що базується на динамічній математичній моделі, яка використовується при більш точних розрахунках [3, 4]. При реалізації чисельного алгоритму необхідно враховувати, що шар гідрату діє як додаткова ізоляція, тобто його

наявність призводить до зміни місцевого коефіцієнта теплообміну. Тобто спочатку необхідно розрахувати сумарний коефіцієнт теплообміну газу з довкіллям K_{mo} з урахуванням відкладень гідратів на стінках трубопроводу

$$K_{mo} = \left[\frac{1}{K_{mo}^{z-zidp}} - \frac{D_{вн} \cdot \sqrt{\bar{S}}}{4 \cdot \lambda_{zidp}} \cdot \ln(\bar{S}) + \sum_{\xi} \left(\frac{\delta_{\xi}}{\lambda_{\xi}} \cdot \ln \left(\frac{D_{\xi+1}}{D_{\xi}} \right) \right) + \frac{\sqrt{\bar{S}}}{K_{mn}^z} \right], \quad (1)$$

де K_{mo}^{z-zidp} , K_{mn}^z – відповідно коефіцієнт конвективного теплообміну газу з гідратним шаром товщиною δ_{zidp} та коефіцієнт теплопередачі від зовнішньої поверхні трубопроводу в навколишнє середовище;

λ_{zidp} – коефіцієнт теплопровідності гідратного шару;

$D_{вн}$ – внутрішній діаметр трубопроводу;

δ_{ξ} , λ_{ξ} , $D_{\xi+1}$, D_{ξ} – параметри ізоляції трубопроводу: товщина шару, коефіцієнт теплопровідності, зовнішній та внутрішній діаметр відповідно;

\bar{S} – функція, що залежить лінійної x_i та часової координати t_j

$$\bar{S} = \bar{S}(x_i, t_j) = \left(1 - \frac{2 \cdot \delta_{zidp}(x_i, t_j)}{D_{вн}} \right)^2. \quad (2)$$

Наступним етапом буде розрахунок динаміки товщини гідратного шару.

Перш за все, слід відзначити істотну відмінність режимів роботи трубопроводу з постійною витратою і з постійним перепадом тисків. При підтримці в трубопроводі потоку з постійною витратою, можливі два випадки:

- 1) з часом встановиться деякий рівноважний стан гідратного шару, при якому збережеться стаціонарний режим течії;
- 2) при сильному зменшенні перетину істотну роль буде грати дросель-ефект, при якому стаціонарний режим неможливий.

Тобто зростання гідратного шару може привести до двох принципово відмінним режимів роботи газопроводу.

По-перше, може встановитися або рівність теплових потоків на межі «газ – гідрат», або з газового потоку не буде виділятися вільна волога, необхідна для утворення гідрату. Це означає, що далі шар гідрату рости не буде.

По-друге, зростання гідратного шару може привести до такого зменшення перерізу, при якому дросель-ефект буде надавати переважний вплив на температурний режим, тобто за стрибком ущільнення газу виникне різке його охолодження, що в свою чергу призведе до інтенсивного гідратоутворення.

Знаючи швидкість випадання вологи, можна визначити кількість вологи, що випала в будь-якому заданому перерізі. Якщо вся випала волога перейде в гідрат, то, знаючи густину гідрату, можна визначити зміну площі поперечного перерізу.

Тобто процедура моделювання режиму трубопроводу при відкладенні газових гідратів має таку послідовність:

1. Використовуючи одну з моделей транспорту газу по трубопроводу, виконуємо розрахунок параметрів газового потоку: тиск, температура газу, уздовж трубопроводу.

2. Відповідно до розрахованих термобаричних умов утворення гідратів визначаємо ділянку трубопроводу, на якому можливе їх відкладення.

3. Виконуємо розрахунок товщини гідратного шару уздовж цієї ділянки трубопроводу і коефіцієнта теплообміну «газ-гідрат-труба-грунт».

4. Переходимо на наступний проміжок часу і продовжуємо виконання розрахункової процедури з розрахунку параметрів газового потоку уздовж трубопроводу.

Література

1. Лурье М. В. Математическое моделирование процессов трубопроводного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа / М. В. Лурье. М.: Нефть и газ, 2003. 335 с.
2. Кэрролл Джон Гидраты природного газа. Перевод с английского. М.: ЗЛЮ «Премиум Инжиниринг», 2007. 316 с., ил.
3. Селезнев В.Е., Алешин В.В., Клишин Г.С. Методы и технологии численного моделирования газопроводных систем. М.: Едиториал УРСС, 2002. 448 с.
4. Zhang S.-X., Chen G.-J., Ma C.-F., Yang L.-Y., Guo T.-M. Hydrate formation of hydrogen + hydrocarbon gas mixtures. J Chem Eng Data, 45. 2000. P. 908-911.