

УДК 681.518.54

Таран В.О. аспірант кафедри ТСТ

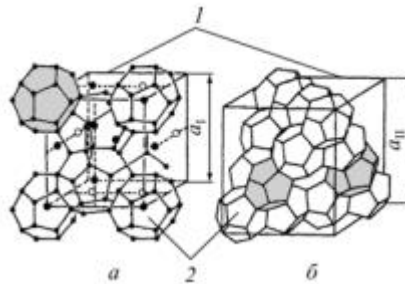
Науковий керівник: Ширін Л.Н., д.т.н., професор кафедри «Транспортних систем та технологій»

(Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна)

## ПОРИСТЕ СЕРЕДОВИЩЕ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ГАЗОВОЇ СУМІШІ

Гідрати - це тверді кристалічні сполуки, утворені водою і мікромолекулами. Вони в більший клас хімічних сполук входять, відомі під назвою «клатратов» або «з'єднання включення». Клатратами називають з'єднання, в яких молекули однієї речовини укладені всередині структур, утворених молекулами іншої речовини [1].

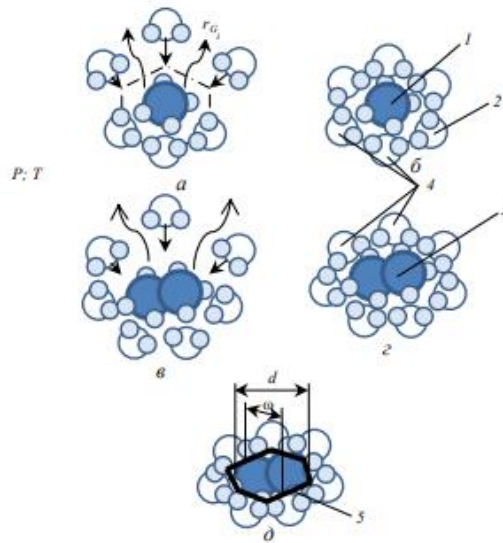
Гідрати індивідуальних газів можуть утворювати різні кристалічні решітки: кубічні (КС), гексагональні (ГС), тетрагональні (ТС) та ін.. Компоненти природних і нафтових газів (метан, етан, пропан, ізобутан, азот, сірководень, діоксин вуглецю, кисень, аргон, ксенон) утворюють дві структури кристалічних решіток - КС-I і КС-II (мал. 1). Здатність води утворювати гідрати пояснюється наявністю в ній водневих зв'язків. Воднева 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 [1,2].



Мал. 1. Структури елементарних кристалічних решіток гідратів: а - КС-I; б - КС-II; 1 - осередок кристалічної решітки; 2 - гідратна порожнина;  $a_1$ ,  $a_2$  - геометричний параметр осередків кристалічних решіток структур КС-I і КС-II. Сірим кольором виділені порожнини, кожна з яких зайнята молекули води. Кожну з безбарвних порожнин містить молекулу газу

Процес утворення гідратів відбувається при відповідних термобаричних умовах в системі «газ - рідка вода» навколо окремих молекул газу і водяної пари, що в рівноважному стані з її рідкою фазою. Формування порожнини з льодоподібних асоціатів молекул води, така асоціація молекул є міцною структурою. (Для прикладу на мал. 2 представлені процеси формування порожнин для молекул метану (а, б) і етану (в, г)). У кожній порожнині укладена тільки одна молекула газової суміші. Молекула, яка знаходиться в порожнині, не може мимовільно її покинути. Молекули води в таких з'єднаннях називаються «Owner», а молекули іншої речовини, які стабілізують кристалічну решітку, - «Guest». Молекули - Guest називаються «гідратоутворюючою речовиною». Кристалічні решітки гідратів мають складне, трьох вимірну будову, де молекули води утворюють каркас, в порожнинах якого концентруються молекули [3]. Головна особливість газових гідратів полягає в відсутності зв'язків між молекулами - Guest і Owner. Молекули - guest

можуть вільно обертатися всередині решіток, утворених молекулами - Owner. Це обертання підтверджено за допомогою спектроскопічних вимірювань.



Мал. 2. Процеси формування гідратних порожнин з молекул метану (а, б) і етану (в, г); д – сформована порожнину гідрату етану: 1 - молекула метану; 2 – молекула води; 3 - молекула етану; 4 - льодоподібною асоціати молекул води; 5 - «вікно»; d - характерний розмір молекули;  $\omega$  - характерний розмір «вікна» ( $d > \omega$ ); P, T - тиск і температура газовойодяного системи;  $r_{Gi}$  - енергія, що виділяється в процесі поглинання газу одиначної порожниною

### Зберігання та транспортування в гідратному стані (NGH)

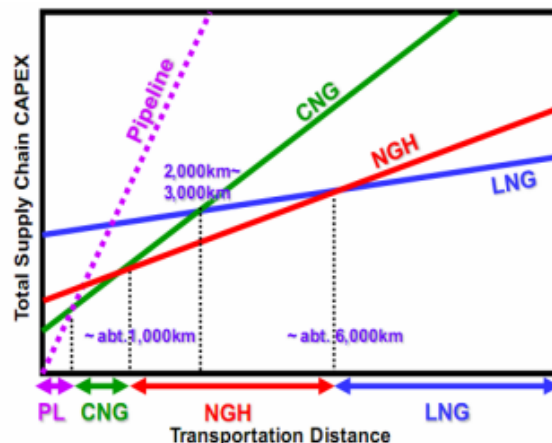
В даний час оптимальний спосіб транспортування газу це трубопровідний транспорт. Але у такого способу транспортування є недоліки, а саме:

- такий вид транспортування дає збитки нанесення екології (особливо під час транспортування підводних трубопроводів) ,
- висока вартість початкових капіталовкладень під час будівництва нафтогазопровідної мережі ,
- складність прокладання траси у певних районах,
- транспортування на далекі відстані (наприклад на сусідній континент)

то такий вид транспорту потребує великих ресурсів для планування робіт, боротьба с корозійними процесами на етапі будівництва та експлуатації та інші. Тому проблема альтернативним видом транспортування є актуальною проблемою.

Відомо три альтернативних способи зберігання і транспортування природного газу - в зрідженому стані, стиснений і газогідратний. Найбільш ефективно використання обсягу газосховищ і вантажних приміщень морських танкерів - «метановози» досягається за рахунок переведення природного газу в зріджений стан, тому що щільність рідкого метану вище газоподібного при нормальних умовах в 600 разів, в той час як при стисненого газоподібного природного газу до тиску 200 бар і при переході в газогідратний стан вдається підвищити його щільність лише в 180 раз. Однак, необхідно врахувати, що при атмосферному тиску рідкий природний газ має

температуру мінус 162 С і нижче, що вимагає при його перевезенні та зберіганні застосування дорогих конструкційних матеріалів і складних технічних пристроїв [5].



Мал. 3. Порівняльна економічна ефективність 3-х способів транспортування природного газу, в зрідженому і газогідратному стані.

Транспортування у вигляді гідратів менше затратне з фінансової частини та більш прогнозоване зі сторони охорони праці, оскільки перевозка цієї суміші дуже схожа зі звичайним вантажно-рефрижераторним транспортуванням. В умовах зон вічної мерзлоти де можливе транспортування гідрату як кам'яного вугілля у відкритих вагонах або інших ємкостях. Доцільність зберігання і транспортування газу в гідратній стані впливає з молярного співвідношення газ - вода і виключно високої щільності газу в гідратній стані. Питома щільність газу в решітці гідрату перевищує його щільність в рідкому стані. Зберігання газу в гідратній стані найбільш ефективно при відносно низькому тиску, коли при одному і тому ж тиску в одиниці об'єму в гідратній стані міститься значно більше газу, ніж у вільному[6]. Використану технологію для транспортування газу можемо припустити що інші газові суміші будуть теж економічно доцільно використовувати для транспортування, в основі якої лежить ефект самоконсервації гідрату метану при атмосферному тиску, дозволяє зберігати і транспортувати природний газ не тільки безпечніше, але і при певних умовах значно дешевше за порівнянню з традиційними способами (мал. 3). У гідратний стані можливо зберігання і транспортування радіоактивних, інертних газів, наприклад радону.

### Висновок:

На підставі розглянутих елементів та розвитку газогідратної інфраструктури в країнах Японії, Канаді та США впливає висновок про розгляд гідратної форми транспортування для не тільки природно газу а і інших повітряних ресурсів. Гідратна форма транспортування газу може надавати додаткові переваги над іншими видами транспортування і економічно вигідним для розвитку регіонів.

## Перелік посилань

1. Запорожець Е.П., Шостак Н.А. Гідрати: монографія. – Краснодар: Південь, 2014. – 460 с.
2. Fleisch T.H., Sills R.A., Briscoe M.D. 2002 – Emergence of the gas-to-liquid industry: a review of global GTL developments. *J.Nat.GasChe*, 2002, v11, No 1-2, p.1-10
3. Бик С.Ш., Макогін Ю.Ф., Фоміна В.І. Газові гідрати. – М.: Недра, 1980. – 293-297 с.
4. Gudmundsson, J.S., Nydal, O.J, Rønnevig, J., Eggen, E. Cooling system for cold flow in deepwater production, NTNU, Trondheim. 2002.
5. Сичів В.В., Вассерман О.А. та інші. ТД свойства метана. Довідник. М. 1979. – 110-116 с.
6. Oyewo O. Economic viability of compressed natural (CNG), as a gas transportation alternative to pipeline transportation. A thesis degree of master of science. USA. 2009., p 49-52