

УДК 532.529.5

**RESEARCH OF THE SYNTHESIS OF GAS HYDRATES
ON THE SURFACE OF LIQUID DROPS
ДОСЛІДЖЕННЯ СИНТЕЗУ ГАЗОВИХ ГІДРАТІВ
НА ПОВЕРХНІ КРАПЕЛЬ РІДИНИ**

Kutnyi V.A. / Кутний В.А.*d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0002-9016-5161

Chernetska I.V. / Чернецька І.В.*s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0009-0006-7643-2565

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»,**Poltava, Pershotravneva Avenue 24, 36011**Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,**Полтава, Першотравневий проспект, 24, 36011*

Анотація. Проаналізовано перспективні шляхи інтенсифікації синтезу газових гідратів. Розроблено математичну модель гідратоутворення на поверхні краплі води, яка рухається в потоці газу. Знайдено цифрові рішення при різних розмірах крапель для різних швидкостей, тисків газу, температури води й газогідрату, а також відстежено динаміку утворення метаногідрату в часі. На основі проведених розрахунків проаналізовано зміну товщини газогідратної кірки залежно від тиску газу та розміру крапель рідини. Здійснено кількісну оцінку впливу розміру крапель води та тиску газу на інтенсивність гідратоутворення. Встановлено оптимальну температуру для утворення газових гідратів.

Ключові слова: газові гідрати, тепломасообмін, промисловий синтез газогідратів, метаногідрати, гідратоутворення.

Abstract. Prospective ways of intensifying the synthesis of gas hydrates have been analyzed. A mathematical model of hydrate formation on the surface of a water drop moving in a gas flow has been developed. Digital solutions were found for different droplet sizes for different velocities, gas pressures, temperatures of water and gas hydrate, and the dynamics of methane hydrate formation were monitored. Based on the calculations, the change in the thickness of the gas hydrate crust was analyzed depending on the gas pressure and the size of the liquid droplets. A quantitative assessment of the influence of the water droplets size and gas pressure on the intensity of hydrate formation was carried out. The optimal temperature for the formation of gas hydrates has been established.

Key words: gas hydrates, heat and mass transfer, industrial synthesis of gas hydrates, methane hydrate, hydrate formation.

Вступ

У сучасній промисловості використання твердих кристалічних сполук вуглеводнів із водою є дуже обмеженим, оскільки промислові технології їх синтезу розроблені недостатньо. Дослідження синтезу газових гідратів та підвищення швидкості масообмінних процесів при утворенні газових гідратів (ГГ) могло б сприяти ширшому застосуванню газогідратних технологій та створенню додаткового енергетичного ресурсу [1, 3].

Основний текст

Серед перспективних шляхів інтенсифікації синтезу ГГ варто виділити наступні:

- 1) оптимізація термобаричних умов гідратоутворення;

- 2) збільшення площі міжфазної поверхні;
- 3) ефективне відведення теплоти від області гідратуутворення [2, 3].

Інтенсифікація масообмінних процесів може досягатися шляхом експериментального підбору термобаричні умов, застосування поверхнево-активних речовин, застосування заходів, котрі збільшують площу міжфазної поверхні та збільшують час її активного функціонування [4, 5, 6]. Експериментальні методи інтенсифікації синтезу ГГ можуть забезпечити високу надійність, але їх суттєвим недоліком є великі затрати фінансів та часу. Тому для всебічного аналізу впливу різноманітних факторів на гідратуутворення та розроблення конкретних рекомендацій щодо інтенсифікації синтезу ГГ в інжекційних установках нами запропоновано застосування математичного моделювання.

Із метою кількісної оцінки впливу різноманітних факторів на процес гідратуутворення, який відбувається на поверхні краплі води, що рухається в потоці метану, було складено систему рівнянь тепломасообміну. За допомогою розробленої математичної моделі досліджено вплив на синтез ГГ наступних факторів:

- розмір краплі;
- швидкість руху краплі;
- температура краплі води;
- температура газу;
- газопроникність газового гідрату;
- тиск газу.

Вплив розміру крапель води на кількість газогідрату (V_d) досліджувався для розмірів крапель у межах від 30 до 500 мкм при тиску газу 4,9 МПа. Враховувалася сумарна площа крапель заданого розміру для постійного об'єму рідини.

За результатами розрахунку гідратуутворення для постійного об'єму води і в порівнянні з краплями розміром 500 мкм (V_{500}) побудовано графік відносної інтенсивності синтезу ГГ залежно від розміру крапель рідини (рисунок 1).

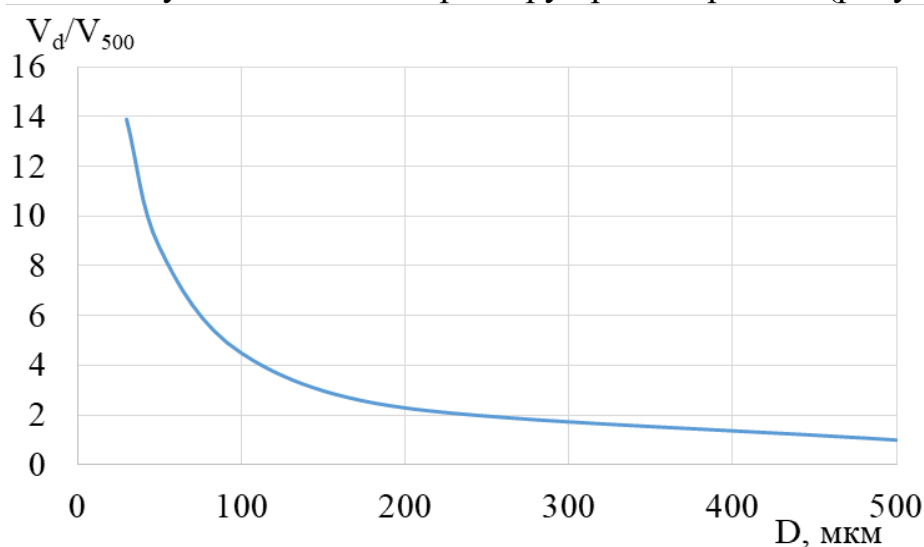


Рисунок 1 - Відносна інтенсивність синтезу ГГ залежно від розміру крапель рідини (D) Авторська розробка

Аналіз графіка свідчить про значне зростання інтенсивності гідратуутворення при зменшенні розміру крапель, що обумовлює перевагу застосування у промислових установках синтезу газових гідратів крапель розміром менше 100 мкм. Зменшення розміру крапель у 2 рази дозволяє у 2-4 рази збільшити інтенсивність гідратуутворення. При цьому оптимальною для гідратуутворення є температура газу 0 °С. Відхилення від неї різко зменшує інтенсивність гідратуутворення.

Ще одним важливим фактором впливу на процес синтезу ГГ є тиск газу. Для встановлення кількісних характеристик цього впливу було виконано ряд розрахунків при наступних вихідних даних: початкова температура води +5 °С; температура газу 0 °С; діапазон розмірів крапель 30÷500 мкм.; діапазон тисків газу 4,9÷10 МПа; швидкість газу 20 м/с. Результати розрахунку товщини газогідратної кірки, яка утворюється на поверхні краплі води за час $\tau = 0,01$ с представлено у вигляді поверхні (рисунок 2).

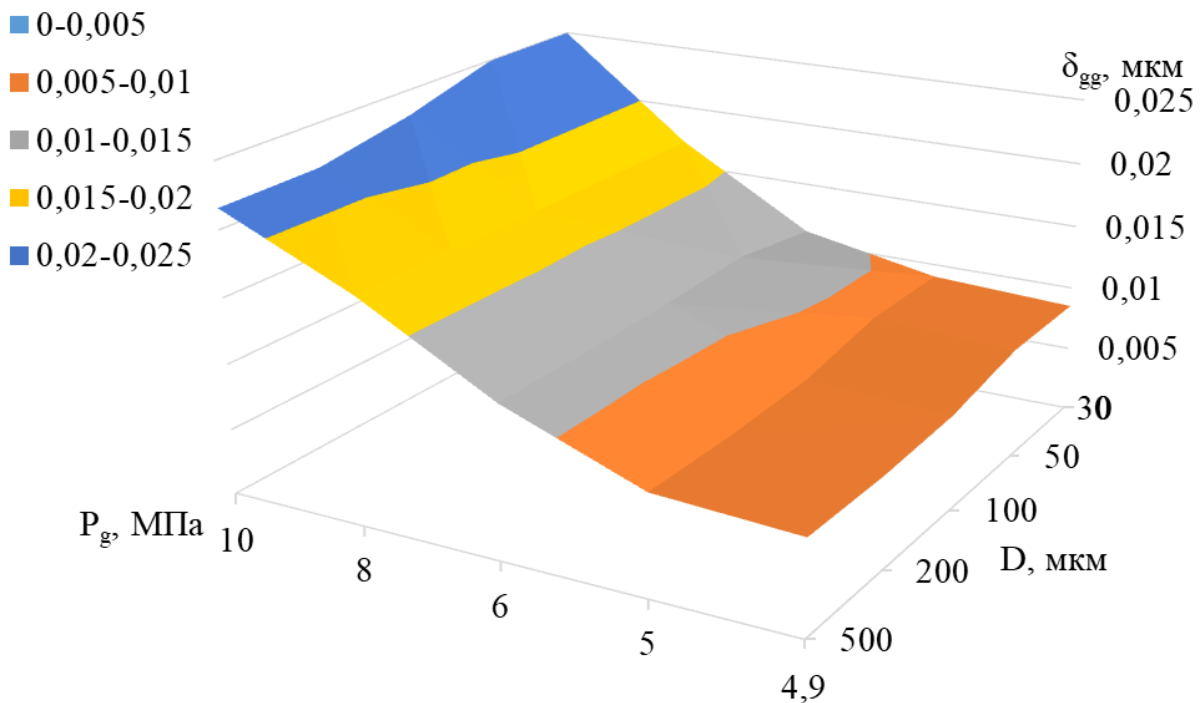


Рисунок 2 - Товщина ГГ кірки (δ_{gg}) залежно від тиску газу (P_g) та розміру крапель рідини (D)

Авторська розробка

Аналіз отриманих результатів показує, що для різних розмірів крапель інтенсифікація теплообміну відбувається майже однаково. Збільшення тиску в 2 рази дозволяє збільшити швидкість синтезу ГГ метану в 2÷2,5 рази. Отримані результати підтверджують, що тиск газу є важливим інтенсифікуючим фактором гідратуутворення.

Висновки.

Таким чином, у результаті математичного моделювання процесу синтезу гідрату метану на поверхні краплі води, яка рухається в газовому потоці, встановлено кількісні залежності, які враховують вплив таких факторів, як розмір крапель рідини; різних взаємних швидкостей газу та краплі; часу; тисків

та температур газу. Виявлено значне зростання інтенсивності гідратоутворення при зменшенні розміру крапель, що обумовлює перевагу застосування у промислових установках синтезу газових гідратів крапель розміром менше 100 мкм. Встановлено, що оптимальною температурою для утворення метаногідратів є 0 °С. Підтверджено важливу роль тиску газу в інтенсифікації процесу синтезу газових гідратів.

Література:

1. Макогон Ю.Ф. Газогидраты. История изучения и перспективы освоения // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2010. – №2. – С. 5–21.

2. Сай К.С. Експериментальні дослідження отримання газових гідратів з метану вугільних шахт / К.С. Сай, М.В. Петльований, П.Б. Саїк, В.Г. Лозинський, О.В. Черняєва // Вісник ЖДТУ. – 2019. – № 1 (83). – С. 276–282.

3. Максимова Е.О. Штучні метаногідрати – як додатковий енергоресурс для України / Максимова Е.О., Овчинніков М.П., Лисенко Р.С., Прокопенко К.М. // Геотехнічна механіка. – 2018. – № 139. – С. 49–58.

4. Патент UA105208 Застосування рідинно-газового струминного апарата з подовженою камерою змішування як контактного пристрою для утворення газових гідратів. Педченко Л. О., Педченко М. М. Опубліковано 2014.

5. Bondarenko, V. Study of the formation mechanism of gas hydrates of methane in the presence of surface-active substances / V. Bondarenko, O. Sviatkina, K. Sai // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 5, Issue 6(89). – P. 48-55.

6. В.І. Бондаренко Розробка математичної моделі інтенсифікації процесу гідратоутворення за результатами експериментальних досліджень / В.І. Бондаренко, К.С. Сай, К.А. Ганушевич, М.П. Овчинніков // Розробка родовищ. – 2015. – Т. 9, №1. – С. 259–266.

Стаття віправлена: 24.04.2023 р.

© Кутний Б.А.

© Чернецька І.В.