

## АНОТАЦІЯ

*Подольак Т.М.* Удосконалення технології застосування метанолу під час низькотемпературної підготовки газу. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 185 – нафтогазова інженерія та технології (18 «Виробництво та технології»). – Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2026.

Дисертаційна робота присвячена питанням підвищення ефективності використання метанолу в процесах низькотемпературної підготовки газу в умовах гідратуутворення за рахунок використання енергії надвисокочастотного випромінювання.

**У першому розділі** проведено аналіз сучасного стану та проблем запобігання гідратуутворенню в системах видобування й транспортування вуглеводневої сировини. Проаналізовано особливості застосування термодинамічних інгібіторів та інгібіторів низького дозування, методів ліквідації сформованих гідратних пробок у промислових трубопроводах. Здійснено аналіз сучасних технологій використання метанолу й низькотемпературних процесів підготовки природного газу на родовищах України. Обґрунтовано значення технологій підготовки газу низькотемпературної сепарації для Східного нафтопромислового регіону та визначено чинники нераціональної витрати метанолу, що потребує впровадження оптимізованих рішень щодо його розподілу в технологічних лініях для забезпечення енергетичної і економічної безпеки галузі. Проведено порівняльний аналіз аналітичних та експериментальних методів визначення рівноважних умов гідратуутворення природних газів, на основі якого обґрунтовано переваги використання сучасних програмних комплексів (Aspen HYSYS, OLGA, ProMax) для моделювання процесів низькотемпературної підготовки газу й оптимізації витрат інгібіторів.

Обґрунтовано перспективність використання енергії надвисокочастотного електромагнітного випромінювання як методу інтенсифікації дисоціації газових

гідратів завдяки його селективності й високій швидкості нагрівання. Визначено фізичні основи взаємодії електромагнітних полів із багатofазними середовищами для ефективного руйнування гідратних структур і запобігання їх повторному виникненню. На основі аналізу наявних математичних моделей і результатів експериментів визначено необхідність урахування багатомодовості та неоднорідності середовища в трубопроводах для розроблення ефективних комбінованих технологій захисту обладнання з мінімальним використанням хімічних інгібіторів.

**У другому розділі** проведено термодинамічне моделювання та системний аналіз розподілу метанолу в процесах низькотемпературної підготовки газу з використанням програмного комплексу Aspen HYSYS. На основі розроблених прототипів трьох найбільш поширених технологічних схем (із дроселюванням, турбодетандерним агрегатом та установкою штучного холоду) здійснено кількісне оцінювання фазової поведінки метанолу та ідентифіковано критичні зони гідратуутворення.

Дослідження виконано із застосуванням рівняння стану Cubic Plus Association для адекватного опису багатокомпонентних сумішей та утилів Hydrate Formation для прогнозування точок початку кристалізації. Установлено, що застосування турбодетандерного агрегату в низькотемпературній підготовці газу є найбільш ефективною схемою за витратами метанолу, оскільки втрати інгібітора у 1,6-2 рази менші порівняно зі схемами із дроселюванням та установкою штучного холоду. Підготовка газу низькотемпературною сепарацією з ефектом Джоуля-Томпсона характеризується найвищим рівнем безповоротних втрат реагенту (56,3% мас.). Визначено, що найбільш критичною ділянкою для всіх сценаріїв моделювання є вхідна лінія низькотемпературного сепаратора. З'ясовано, що інгібіторний захист цієї ділянки за класичною схемою потребує на 30% більше реагенту, що визначає перспективність упровадження альтернативних методів впливу на цій ділянці трубопроводу.

**У третьому розділі** представлено результати розроблення та дослідження запобігання гідратуутворенню у промислових трубопроводах шляхом застосування надвисокочастотного електромагнітного випромінювання.

Розроблено нову конструкцію знімної вставки з магнетроном, що забезпечує термодинамічний розклад кристалогідратів шляхом безпосереднього передавання енергії мікрохвильового поля молекулам води в об'ємі потоку. Характерною рисою розробки є створення резонансної зони між дроселем та діафрагмою, що дозволяє сконцентрувати поле та прискорити дисоціацію гідратів у 1,5-3 рази порівняно з термічним нагрівом. Окрему увагу приділено підвищенню енергоефективності системи через встановлення діафрагми-відбивача з оптимізованими аеродинамічними характеристиками, що забезпечує багаторазове відбиття хвиль та концентрацію електромагнітної енергії в робочій зоні. Показано, що впровадження такої конструкції дозволяє досягти стабільної дисоціації гідратів за рахунок селективного поглинання енергії молекулами води. На основі проведеного аналізу окреслено перспективи подальших досліджень, спрямованих на врахування багатомодовості трубопроводів та розроблення математичних моделей для промислової експлуатації НВЧ-установок.

Розроблено математичну модель процесів синтезу та дисоціації газових гідратів у трубопроводі під дією мікрохвильового випромінювання та комп'ютерну програму Pipe3, написану мовою QBASIC, для виконання завдань математичного моделювання.

Проведені чисельні дослідження багатомодового режиму поширення хвиль (моди  $H_{11}$ ,  $E_{01}$ ,  $H_{01}$ ). Результати моделювання показали, що за відсутності випромінювання процес гідратоутворення має самоприскорюваний характер, особливо для дрібних частинок через їхню високу питому площу теплообміну. З'ясовано, що застосування надвисокочастотного електромагнітного поля дозволяє досягти стану стабілізації та повного руйнування гідратних зародків. Уперше отримана апроксимаційна залежність, яка пов'язує необхідну потужність випромінювача з поточною концентрацією та розміром часток. Виведено комплексний показник, що пов'язує концентрацію гідрату та радіус гранул, і дозволяє визначати необхідну потужність випромінювача для конкретних технологічних умов. З'ясовано, що інтенсивність затухання надвисокочастотного електромагнітного випромінювання в газопроводі може бути

застосована для постійного контролю за концентрацією газових гідратів у газовому потоці.

Отримані дані є теоретичним підґрунтям для вдосконалення технологій підготовки газу в умовах гідратоутворення, що дозволить повністю або частково відмовитися від подавання токсичних інгібіторів та забезпечити екологічність технологічного процесу.

У **четвертому розділі** розроблено технологію використання метанолу в процесах низькотемпературної підготовки газу з використанням енергії надвисокочастотного випромінювання, до якої входить облаштування у лінії низькотемпературної сепарації спеціальної ділянки трубопроводу з технологічною вставкою з розташованим на ній мікрохвильовим електромагнітним випромінювачем, антена якого розташована усередині газопроводу. Упровадження ділянки газопроводу з технологічною вставкою з НВЧ-випромінювачем у лінію низькотемпературної сепарації УППГ «Західні Радченки» ТОВ «ПРАЙМ-ГАЗ» дозволило отримати економічний ефект у сумі 111 196,8 грн за період дослідження. Застосування запропонованої технологічної схеми використання метанолу дозволило знизити витрати інгібітора на 22,5% для забезпечення безгідратного режиму роботи установки. Очікуваний річний економічний ефект для підприємства становить 1 255 857,76 грн. Також впровадження розробки забезпечує значний екологічний ефект унаслідок зниження використання токсичного метанолу та зменшення техногенного навантаження на довкілля.

**Ключові слова:** газові гідрати, гідратоутворення, метанол, надвисокочастотне електромагнітне випромінювання, енергоефективність, підготовка газу, низькотемпературна сепарація, природний газ, родовище, математичне моделювання.