

Дем'янчук Ярослав Михайлович

УДК 622.691.4.052:66.074

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ АБСОРБЦІЙНОГО
ОСУШЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ**

Спеціальність 05.15.13 – Нафтогазопроводи, бази та сховища

Автореферат


дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор
Козак Федір Васильович,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри нафтогазового технологічного транспорту і теплотехніки.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Середюк Марія Дмитрівна,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри транспорту та зберігання нафти і газу

 кандидат технічних наук
Ізбайт Віктор Іванович,
заступник начальника управління експлуатації і реконструкції компресорних станцій ДК "Укртрансгаз" НАК "Нафтогаз України", м. Київ.

Провідна установа: Інжинірингово-виробниче підприємство "Всеукраїнський науковий і проєкційний інститут транспорту газу" (ВНПІТГ) м. Київ.

Захист відбудеться вченої ради спеціалізованої університету нафти і газу м. Київ, 15

З дисертації спеціалізованої університету нафти і газу м. Київ, 15

Автореферат спеціалізованої університету нафти і газу м. Київ, 15

Вчений секретар спеціалізованої університету нафти і газу м. Київ, 15



an711

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

ми. Україна володіє значними розвіданими запасами природного газу та нафти. Видобуток природного газу на теренах нашої держави протягом тривалого часу скорочувався і тільки у 1994 – 2001 роках стабілізувався на рівні 18 – 18,4 млрд. м³ на рік. Разом з цим, розвинута система транспорту та зберігання газу, яка включає 37,1 тис. км газопроводів, в тому числі 14 тис. км діаметром 1020 – 1420 мм, 72 компресорні станції загальною потужністю 5600 МВт, 13 підземних сховищ газу, має пропускну здатність на вході 290 млрд.м³ на рік та 175 млрд.м³ на рік на виході і є за потужністю другою на континенті після російської.

Очікуване зростання обсягів споживання країнами Західної та Центральної Європи вуглеводнів та нерівномірність розташування їх ресурсів робить Україну, в силу зручного географічного розташування та наявної розвинутої мережі газо- нафтопроводів, важливим транзитним вузлом між країнами-експортерами та країнами-споживачами промислово-розвиненої Європи. Для збереження конкурентноздатності і привабливості для експортерів газу актуальною є проблема зменшення енергетичних витрат на транспортування природного газу та підвищення надійності лінійної частини системи, компресорних станцій та підземних сховищ газу.

З огляду на існуючий дефіцит власних природних вуглеводневих ресурсів, серед яких природний газ з його часткою 41-42 % за останні роки в енергобалансі України відіграє роль пріоритетного енергоресурсу, впровадження ресурсоенергоощадних технологій у всіх галузях промисловості нашої держави слід віднести до стратегічних напрямків розвитку.

Осушення природного газу, як один з найважливіших процесів підготовки газу до транспорту, є найбільш ефективним і економічним способом попередження утворення кристалогідратів в газопроводах, газорозподільних і газовимірвальних станціях та, як наслідок, одним з гарантів безвідмовного функціонування зазначених об'єктів. Тому показники глибини осушення природних газів є обов'язковим складовим елементом як галузевих стандартів якості цих газів, так і контрактів на поставку газу. Створювати ж нові технології осушення сьогодні доцільно на засадах ресурсоенергоощадності. З точки зору другого закону термодинаміки одночасне неперервне підведення матеріальних і теплових потоків по висоті тепломасообмінної зони апаратів зменшує необоротність зазначених процесів та кількість дисипативних втрат теплової енергії на їх реалізацію. Трубно-колонні технології у повній мірі відповідають таким вимогам і, тому, відносяться до науково-обґрунтованих перспективних напрямків ресурсоенергоощадження.

Таким чином, дисертаційна робота спрямована на удосконалення технології абсорбційного осушення природного газу на засадах ресурсоенергоощадності, має не тільки наукову актуальність, але й важливе народногосподарське значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика роботи є частиною планових державних науково-дослідних програм з розвитку газової галузі

України і базується на результатах держбюджетної науково-дослідної роботи „Підвищення ефективності функціонування систем газонафтопостачання”, номер державної реєстрації № 0101У001666 , яка входить в координаційний план Міністерства освіти і науки України „Наукові основи розробки нових технологій видобутку нафти і газу, газопромислового обладнання, поглибленої переробки нафти і газу з метою одержання високоякісних моторних палив, мастильних матеріалів, допоміжних продуктів і нафтохімічної сировини”. Зазначений план є складовою частиною національної програми „Нафта і газ України до 2010 року”.

Мета і задачі дослідження. Удосконалення технології абсорбційного осушення природного газу гліколями на засадах ресурсоенергоощадності з використанням можливостей трубчастої насадки.

Для досягнення мети були сформовані наступні задачі:

1. Аналіз технологій осушення природного газу, які знайшли застосування в газовій галузі та перспективних технологій, з позицій ресурсоенергоощадності і, на базі основних законів термодинаміки, формування наукових принципів зменшення дисипативних втрат енергії, в тому числі і теплової, стосовно найбільш поширеної в галузі технології абсорбційного осушення природного газу гліколями.

2. Розробка нової трубчастої насадки для трубчато-колонної технології з метою інтенсифікації тепломасообміну при контактуванні газу і рідини та зменшення втрат абсорбенту від його механічного винесення обробленим газом.

3. Дослідження основних гідродинамічних характеристик протитечії газу і рідини в трубчастій насадці реальних (промислових) геометричних розмірів: режими течії, критичні навантаження, пропускна здатність, гідравлічний опір.

4. Дослідження і моделювання за теорією подібності міжфазного теплообміну при протитечії газу і рідини в трубчастій насадці реальних геометричних розмірів при відсутності масообміну між зазначеними фазами та при співвідношеннях витрат фаз, характерних для технології абсорбційного осушення природного газу.

5. Удосконалення технології абсорбційного осушення природного газу гліколями із застосуванням дослідженої трубчастої насадки, яке забезпечило б ресурсоенергоощадність у порівнянні з діючими в галузі технологіями.

Об'єкт дослідження: технологія абсорбційного осушення природного газу гліколями з використанням трубчастої насадки.

Предмет дослідження: процеси гідродинаміки і міжфазного теплообміну при протитечії газу і рідини, технологічні схеми абсорбційного осушення природного газу з рівняннями матеріального і теплового балансів.

Методи дослідження: феноменологічний та експериментальний стосовно процесів гідродинаміки і міжфазного теплообміну протитечії газу і рідини в трубчастій насадці з моделюванням за теорією подібності, системного аналізу технологічних схем абсорбційного осушення природного газу.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Створена та запатентована ефективна трубчаста насадка для ресурсоенергоощадної технології абсорбційного осушення природного газу, яка забезпечує паралельне проведення тепломасообмінних процесів в трубному та міжтрубному просторах.

2. Вперше експериментально досліджені в зазначеній новій трубчастій насадці реальних геометричних розмірів гідродинамічні режими протічкi газу і рідини, критичні навантаження, пропускна здатність, гідравлічний опір та отримані відповідні формули для визначення перерахованих параметрів.

3. Вперше вивчено дослідним шляхом контактний теплообмін газу і рідини в зазначеній вище трубчастій насадці реальних геометричних розмірів при відсутності масообміну між цими фазами і, на засадах теорії подібності, отримано критеріальне рівняння для визначення коефіцієнта тепловіддачі.

4. При осушенні природного газу в трубчастій насадці оцінено можливі втрати гліколю та економія теплової енергії при регенерації гліколю із застосуванням трубчастої насадки в діапазоні зміни тисків абсорбції від 2 до 7 МПа, які є характерними для практики трубопровідного транспорту та підземного зберігання газу. Запропонована ресурсоенергоощадна технологія абсорбційного осушення природного газу гліколями на базі запатентованої трубчастої насадки.

5. Запропоновано та запатентовано спосіб абсорбційного осушення природного газу з використанням штучного холоду та трубчастої насадки, виконано аналіз варіанту застосування цього способу з утилізацією теплоти відхідних газів газотурбінного приводу компресорної станції.

Практичне значення одержаних результатів. Сукупністю розроблених положень дисертації:

- удосконалена технологія абсорбційного осушення природного газу на засадах ресурсоенергоощадності з врахуванням специфіки функціонування трубопровідного транспорту і підземного зберігання газу з використанням нової трубчастої насадки та визначені напрямки оптимізації параметрів трубчастої насадки з врахуванням її цільового призначення;

- створено технологічну оснастку для виготовлення елементів запатентованої трубчастої насадки;

- для практичного використання в інженерних розрахунках отримані дослідні рівняння: критичних швидкостей підвисання та захлинання в трубчастій насадці за патентом України №30278 А; фактора швидкості як параметра моделювання при зміні тиску газу та характеристики пропускної здатності зазначеної насадки; втрат тиску газової фази в насадці; коефіцієнта тепловіддачі при контактуванні газу і рідини в трубчастій насадці за умов відсутності міжфазного масообміну;

- окреслена сфера практичного застосування трубчасто-колонної технології в газовій та нафтовій галузях.

Результати роботи впроваджені в навчальному процесі Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу в курсовому проектуванні та практичних

заняттях з дисциплін „Термодинаміка, теплопередача і теплосилові установки”, „Типові технологічні процеси і об’єкти виробництва”, „Процеси і апарати нафтохімічної промисловості” для студентів спеціальностей „Газонафтопроводи та газонафтохемія”, „Видобування нафти і газу”, „Автоматизоване управління технологічними процесами і виробництвами”.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Зокрема: виконано аналіз перспектив використання трубчасто-колонної технології з метою досягнення ефекту ресурсоенергоощадності при осушенні природного газу шляхом зменшення дисипативних втрат [1,3,6]; розроблена оригінальна трубчаста насадка для потреб трубчасто-колонної технології та стенд і методика експериментального дослідження процесів гідродинаміки і контактного теплообміну газу і рідини в насадці [2,3,5]; досліджені основні гідродинамічні характеристики протічії газу і рідини в трубчастій насадці реальних геометричних розмірів і встановлено робочий режим експлуатації насадки [4,8,9]; досліджено міжфазний теплообмін в трубчастій насадці реальних геометричних розмірів і з наукових позицій розкрито механізм інтенсифікації зазначеного теплообміну [5,6]; на засадах ресурсоенергоощадності запропоновано новий спосіб абсорбційного осушення природного газу з використанням штучного холоду та трубчасто-колонної технології [2,5,7].

Всі лабораторні дослідження та впровадження досягнутих результатів в навчальний процес виконані особисто.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались на таких конференціях: 9 міжнародна конференція “Удосконалення процесів та апаратів хімічних, харчових та нафтохімічних виробництв” (м. Одеса, 10-13 вересня 1996 р.); 1-а науково-практична конференція “Проблеми економії енергії” (м. Львів, 16-19 червня 1998 р.); 2-а науково-практична конференція “Проблеми економії енергії” (м. Львів, 2-4 червня 1999 р.); на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу (м. Івано-Франківськ, 1998, 1999 р.р.); 6-та міжнародна науково-практична конференція “Нафта і газ України – 2000” (31 жовтня-3 листопада 2000 р.).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковані в 9 працях, з них 2 патенти України на винаходи.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, п’яти розділів, висновку, списку використаних джерел, який включає 125 найменувань на 9 аркушах. Обсяг роботи становить 148 сторінок друкованого тексту, 3 рисунки на 3 аркушах, 1 додаток.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми дисертації, сформульовано мету і задачі дослідження, відображено наукове і практичне значення результатів роботи.

У першому розділі наведено результати аналітичного огляду опублікованих робіт з питань технології абсорбційного осушення природного газу. За останні десятиліття тех-

нологія осушення змінювалася мало, а змінювалось в основному апаратурне оформлення, що не завжди вирішувалося з врахуванням ресурсоенергозаощадження. Поставленим вимогам до абсорбційної апаратури осушення газу з апаратів останнього покоління найбільш повно відповідає горизонтальний касетний абсорбер Берго Б.Г., Крушневича Т.К., П'ятничко О.І., в якому реалізовано осушення природного газу в шарі затопленої насадки. На даний час цей абсорбер осушення газу за продуктивністю є неперевершеними у світовій практиці.

При технологічному оформленні стадій промислової абсорбції і десорбції потоки тепла і речовини вводяться і виводяться на кінцях апаратів, що визначає хід робочої лінії у цілому апараті. Це призводить до того, що робоча лінія розміщується далеко від рівноважної криволінійної лінії. В результаті рушійна сила процесу дуже велика, число теоретичних тарілок при абсорбції мале, термодинамічна необоротність процесу сягає значних величин, що свідчить про дисипацію енергії в нерациональних кількостях. Щоб забезпечити максимальну оборотність процесу, необхідно зблизити робочу і рівноважну лінії. Лейтес І.Л., Брандт Б.Б., Веранян Р.С., Соколов В.С., Дільман В.В. теоретично і практично довели, що для цього доцільно вводити і виводити потоки речовини по всій висоті апарату. Цей же висновок залишається справедливим і по відношенню до потоків енергії. Саме це покладено в основу запропонованого Берго Б.Г. та П'ятничком О.І. теплообмінно-колонного фракціонування (ТКФ). В цій технології апарат виконує функції як теплообмінника так і масообмінної колони. Абсорбція і десорбція в такому апараті найбільш близько наближається до теоретичного ідеалу - оборотного процесу, а тому застосування неадиабатного масообміну дозволяє скоротити витрату енергії – ту статтю затрат виробництва, яка, як правило, є найбільшою в газорозділенні. Найбільш повно вимогам цієї технології відповідають конструкції типу вертикальний прямотрубний теплообмінник з насадкою, розміщеною в трубах, або в міжтрубному просторі, або в обох порожнинах апарату (в залежності від його функціонального призначення). Виготовлення апаратури нового типу може бути організовано на заводах, які випускають звичайні кожухотрубчасті теплообмінники. Якщо дані з масообміну в трубчастих насадках в певній мірі накопичені, в першу чергу завдяки роботам Берго Б.Г. та Козака Ф.В., то теплообмін між фазами в таких насадках раніше не вивчався. В роботі проведено огляд досліджень в області теплообміну і гідродинаміки закручених потоків і розглянуті деякі питання теоретичного обґрунтування ефективності процесу теплообміну в запропонованій насадці та задачі дослідження.

У другому розділі викладено методики проведення експериментів та обробки їх результатів.

Схема лабораторного експериментального стенда з дослідження процесів гідродинаміки та теплообміну в трубчастому елементі реальних, промислових розмірів наведена на рис. 1.

Тепломасообмінний елемент 1 складається з несучої труби, всередині якої змонтовано завихрювачі 2 (рис.2). Висота експериментальної ділянки 1250 мм. Конструкція елемента

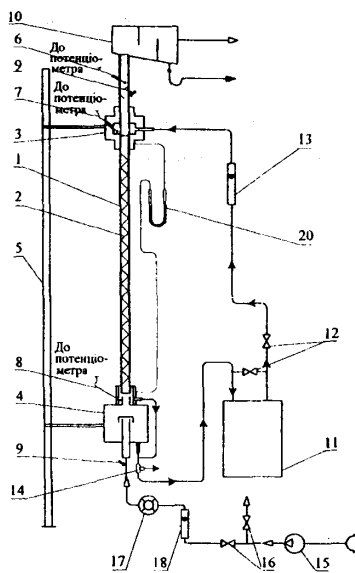


Рис. 1. Принципова схема лабораторного експериментального стенда:

1 – трубчастий тепломасообмінний елемент; 2 – завихрювачі насадки; 3 – верхній розподільник; 4 – нижній розподільник; 5 – несуча стійка; 6 – термопара для визначення вихідної температури газу; 7 – термопара для визначення вхідної температури рідини; 8 – термопара для визначення вихідної температури рідини; 9 – термометри для визначення вхідної та вихідної температур газу; 10 – краплевідбійник; 11 – термостат; 12 – регулюючі вентиля рідини; 13 – ротаметр РС-3; 14 – трійник для відбору проб рідини; 15 – газолувка; 16 – регулюючі вентиля газу; 17 – газовий лічильник G6; 18 – ротаметр РС-5; 19 – диференційний манометр ММН-240

межах критерій Прандтля для моделювання процесів технології осушення природного газу. Температури мінеральної оливи змінювалися в межах: на вході в тепломасообмінний елемент ($49 \div 105$) °С, на виході – ($34 \div 87$) °С. Температура повітря: на вході в тепломасообмінний елемент ($14 \div 22$) °С, на виході – ($45 \div 85$) °С. Швидкості газу складали – ($1,5 \div 4,5$) м/с, а лінійна густина зрошення – ($105 \div 320$) кг/(м год).

На засадах другої теореми подібності досліджуваних явищ експериментальні дані з гідравлічного опору трубчастого тепломасообмінного елемента обробляли в критеріальній формі

та забезпечує можливість легкої заміни варіантів досліджуваної насадки та застосування різних діаметрів труб.

Для досліджень було вибрано три варіанти елемента трубчастой насадки:

– варіант №1 – насадка з аксіальним завихрювачем: крок між вічками 40 мм (рис. 2.б), ширина полотна – 21 мм, товщина полотна – 1 мм; крок спіралі – 35 мм;

– варіант №2 – насадка з аксіальним завихрювачем: крок між вічками 20 мм (рис. 2.а), ширина полотна – 21 мм, товщина полотна – 1 мм; крок спіралі – 35 мм;

– варіант №3 – насадка бігвинтова (рис. 2.в): крок стрічкового завихрювача 170 мм, зовнішній діаметр – 20,5 мм, товщина полотна – 1 мм; крок спіралі – 35 мм.

Для всіх трьох варіантів: зовнішній діаметр спіралі – 25 мм; діаметр дроту спіралі – 1,75 мм; внутрішній діаметр труби – 25 мм. Для з'ясування впливу кроку спіралі використано п'ять спіралей з кроком від 0,01 м до 0,065 м. Для візуального спостереження процесів, які відбуваються в трубчастому тепломасообмінному елементі частину дослідів проведено з застосуванням скляних несучих труб такого ж внутрішнього діаметру, як і основні.

Дослідження трубчастого тепломасообмінного елемента проводилися в умовах „чистого” теплообміну на системі „повітря – мінеральна олива” (ТКп ТУ 38 101890-81) при атмосферному тиску. Вибір теплоносіїв обумовлений необхідністю виключити вплив процесу масообміну на теплообмін та змінювати в широких

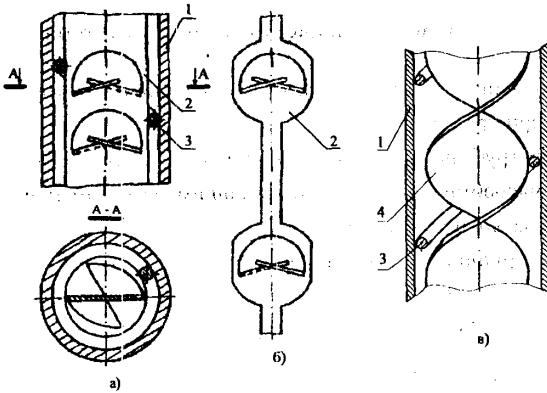


Рис. 2. Тепломасообмінний елемент з насадкою: а) та б) з аксіальним завихрювачем газового потоку за патентом України № 30278 А; в) з бігвинтовою насадкою:

1 – несуча труба; 2 – аксіальний завихрювач газу; 3 – спіраль; 4 – стрічковий завихрювач газу.

ρ_g – густина газу, $\text{кг}/\text{м}^3$; c_p – питома ізобарна масова теплосмність рідини,

$\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; w – осьова швидкість газу в трубці в розрахунку на повний переріз, $\text{м}/\text{с}$;

Γ_p – лінійна густина зрошення, $\text{кг}/(\text{с} \cdot \text{м})$.

Для характеристики теплообміну в тепломасообмінному елементі застосовано залежність виду (1):

$$f(Nu, Re_g, Re_p, Pr_p, Z_c/Z_0) = 0, \quad (1)$$

де $Nu = \alpha \cdot d/\lambda_g$ – критерій Нуссельта; λ_g – коефіцієнт теплопровідності газу, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; α – коефіцієнт тепловіддачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Раніше виконані Рябих В.Г., Большаковим О.Г. та Шмагіним Л.М. дослідження теплообміну між повітрям та мінеральною оливою при їх безпосередньому контактуванні показали, що теплообмін визначається термічним опором газової фази. Тому, нехтуючи термічним опором рідинної фази, загальний коефіцієнт тепловіддачі, визначений за рівнянням (2), приймали в якості коефіцієнта тепловіддачі в газовій фазі. Коефіцієнт тепловіддачі відносили до одиниці площі внутрішньої поверхні несучої труби, оскільки точне значення теплообмінної поверхні контактуючих фаз не відоме, а експериментальне визначення її – надзвичайно складна проблема. Тоді:

$$\alpha = Q/(\Delta t_{сеп} \cdot F), \quad (2)$$

де Q – кількість переданої теплоти від рідини до газу, Вт ; $\Delta t_{сеп}$ – середньологарифмічна рушійна сила процесу з врахуванням протитечії фаз вздовж елемента в

$$f(Eu, Re_g, Re_p, Pr_p, Z_c/Z_0) = 0,$$

де $Eu = \Delta p \cdot 9.81/(\rho_g \cdot w^2)$ – критерій Ейлера; $Re_p = 4 \cdot \Gamma_p/\mu_p$ – критерій Рейнольдса рідини; $Re_g = w \cdot d \cdot \rho_g/\mu_g$ – критерій Рейнольдса газу; $Pr_p = \mu_p \cdot c_p/\lambda_p$ – критерій Прандтля рідини; Z_c – крок спіралі тепломасообмінного елемента; $Z_0 = 1\text{м}$ – умовний крок спіралі, прийнятий при обробці даних для утворення безрозмірного симплексу подібності; d – внутрішній діаметр несучої труби насадки, м ; λ_p – коефіцієнт теплопровідності рідини, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; μ_g, μ_p – коефіцієнти динамічної в'язкості газу і рідини, відповідно, $\text{Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$;

цілому, K .

Максимальна розрахункова відносна похибка визначення коефіцієнта тепло-віддачі складала 7,2 %.

У третьому розділі дисертації викладені результати дослідження гідродинаміки трубчастого тепломасообмінного елемента при протічанні фаз.

Візуальні спостереження на скляній трубі поведінки течії рідини та характер зміни гідравлічного опору трубчастого тепломасообмінного елемента за нашим патентом при послідовному збільшенні витрати газу засвідчили наявність чотирьох гідродинамічних режимів (рис. 3): 1) вільне стікання плівки рідини – нижче лінії а-а; 2) підвисання рідини в трубчастому елементі – між лініями а-а та в-в; 3) захлинання – вище лінії в-в; 4) режим винесення рідини газовим потоком (на рис. 3 відсутній). Робочими режимами трубчастого

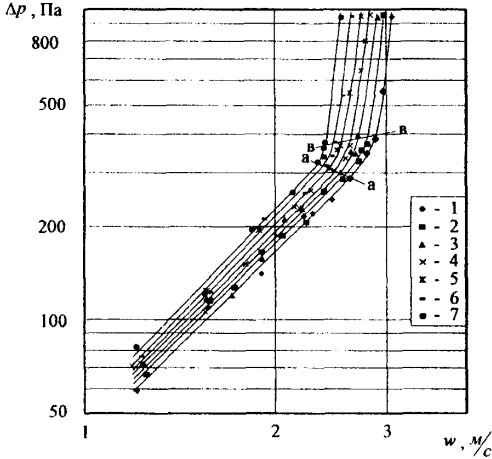


Рис. 3. Залежність втрати тиску Δp від швидкості газового потоку w в насадці за варіантом №1 при температурі рідини $t_p = 70 \pm 2^\circ\text{C}$; густині зрошення $\Gamma_p, \text{кг/с}\cdot\text{м}$:

1 – 0,026; 2 – 0,036; 3 – 0,043; 4 – 0,048; 5 – 0,059; 6 – 0,066; 7 – 0,078.

m та постійної c для насадки за варіантом №1 наведені в табл.1

Таблиця 1
Значення коефіцієнтів рівняння (4) та коефіцієнта c

Точка початку режиму	a	k	m	c
Підвисання	0,6073	-0,0232	0,0859	0,9295
Захлинання	0,4628	-0,02412	0,09224	1,1724

Критичні швидкості, визначені за рівнянням Бейна-Хоугена з врахуванням формули (3), відрізняються від дослідних на $\pm 6,5\%$ для початку режиму підвисання рідини та на $\pm 4\%$ для початку режиму захлинання трубчастого елемента. Швидкість підвисання

тепломасообмінного елемента, з точки зору його експлуатації в промислових апаратах, слід вважати перший і, умовно, другий, так як останній існує у вузькому діапазоні зміни навантажень.

Для визначення критичних швидкостей початку режимів підвисання та початку захлинання трубчастого тепломасообмінного елемента в роботі використано відоме рівняння Бейна і Хоугена, яке має дві дослідні постійні – a, c . За результатами обробки експериментальних даних отримано апроксимаційне рівняння розрахунку першої постійної рівняння Бейна-Хоугена

$$b = a \cdot \left(\frac{L}{G} \right)^k \cdot Pr^m \quad (3)$$

Значення безрозмірних коефіцієнтів $a, k,$

змінюється пропорційно кроку спіралі за експонентою (4):

$$w = w_l \cdot \exp(B \cdot Z_c / Z_0), \quad (4)$$

де B – дослідний коефіцієнт, (для швидкості початку режиму підвисання $B = 4,8988$; для швидкості початку режиму захлинання $B = 5,8851$);

w_l – відповідна критична швидкість для насадки за варіантом №1.

На практиці використовується метод моделювання масообмінної апаратури за фактором швидкості F_s

$$F_s = w \cdot \rho_2^{0,5},$$

де w – критична швидкість початку режиму підвисання або захлинання абсорбційного апарату; ρ_2 – густина газу за робочих умов.

В наших дослідах для швидкості захлинання отримані максимальні значення $F_s = 4,4$, що підтверджує високу інтенсивність трубчастої насадки. Для збільшення фактора швидкості трубчастої насадки доцільно збільшити крок вічок та крок спіралі, зменшити кут нахилу пелюсток відносно вертикальної осі завихрювача або розмішувати їх ближче до краю полоси.

В результаті обробки даних з гідравлічного опору трубчастої насадки за методом найменших квадратів отримано критеріальне рівняння, в якому загальна втрата тиску потоку газу віднесена до одного метра висоти насадки:

$$Eu_n = 2,41196 \cdot Re_2^{0,057} \cdot Re_p^{0,323} \cdot Pr_p^{0,38} \cdot \exp(-14,638 \cdot Z_c / Z_0). \quad (5)$$

Рівняння (5) адекватно описує дослідні дані в діапазоні зміни критеріїв: $Re_2 = 1700 \div 4300$, $Re_p = 10 \div 140$; $Pr_p = 50 \div 130$ та кроку спіралі $Z_c = 0,01 \div 0,065$ мм з точністю $\pm 14\%$.

Четвертий розділ дисертації присвячений дослідженню міжфазного теплообміну в трубчастій насадці.

При розташуванні в трубчастому елементі завихрювачів рідинної та газової фаз інтенсифікуються міжфазні процеси теплообміну чи масообміну. Оберткові рухи фаз породжують відцентрові сили, які призводять до вторинних течій – циркуляцій. Поле масових сил в поперечному перерізі каналу утворює циркуляцію у формі парного вихора – вторинної течії першого роду. Окрім того, в площині поперечного перерізу труби частина течії газу, що омиває стінку труби, рухається вздовж увігнутої поверхні і тому в пограничному контактному шарі створюються сприятливі умови для виникнення вихорів Тейлора-Гьортлера, які породжують вторинні течії другого роду. Стрічковий завихрювач газу, крім зазначеного вище ефекту інтенсифікації, в певній мірі збільшує поверхню теплообміну, тобто створює ефект оребрення.

Проведені досліди показали, що в режимі вільного стікання рідини у порівнянні з трубою без насадки розташування в трубі завихрювача газу за варіантом №1 збільшує

коefficient тепловіддачі від 2,28 до 3,59 разів і межах зростання швидкості газу на 70 % та при щільності зрошення $\Gamma_p = 0,07 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м})$, а разом із спіраллю кроком 35 мм – від 2,86 до 4,96 разів.

На рис. 4 наведено залежність coefficienta тепловіддачі від швидкості газового потоку для трьох варіантів тепломасообмінного елемента в межах основного робочого режиму насадок – вільного стікання рідини.

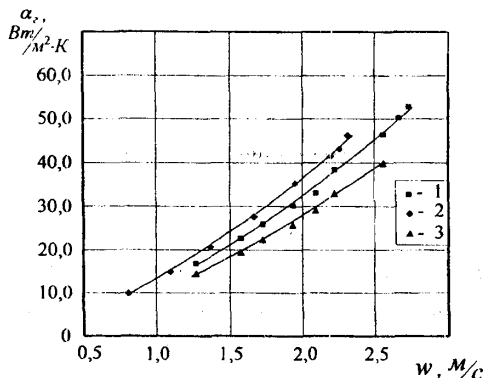


Рис. 4. Залежність coefficienta тепловіддачі α_2 від швидкості газового потоку w для трубчастої насадки:

1 – за варіантом №1; 2 – за варіантом №2;
3 – за варіантом №3. $t_2 = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$;

$t_p = 70 \pm 4 \text{ }^\circ\text{C}$; $\Gamma_p = 0,06 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м})$.

критеріями подібності визначали шляхом побудови графіків зміни критерія Нуссельта – визначуваного критерія послідовно від кожної з величин, які входять у рівняння (1), за умови незмінності решти впливових параметрів. В результаті апроксимаційне критеріальне рівняння набуло вигляду

$$Nu = 1,3544 \cdot 10^{-4} \cdot Re_z^{1,514} \cdot Re_p^{-0,192} \cdot Pr_p^{0,222} \cdot (Z_c/Z_0)^{-0,0261} \quad (6)$$

Від'ємне значення показника степені при Re_p в рівнянні (6) свідчить про наявність ламінарної течії плівки рідини в насадці. Дослідні coefficientи рівняння (6) визначені, як і в розд.3, шляхом одночасної обробки всього масиву даних за методом найменших квадратів. Рівняння (8) адекватно описує дослідні дані в діапазоні зміни критеріїв $Re_z = 1700 \div 4300$, $Re_p = 13 \div 145$, $Pr_p = 10 \div 140$ та кроку спіралі $Z_c = 0,01 \div 0,065 \text{ м}$ з точністю $\pm 9 \%$.

В п'ятому розділі розглянуто удосконалення технології абсорбційного осушення природного газу на засадах ресурсоенергоощадності з використанням дослідженої трубчастої насадки.

Принципова технологічна схема абсорбційного осушення природного газу запропо-

нованого нами (нового) варіанта наведена на рис. 5. В якості базового варіанта прийнята традиційна схема, яка, наприклад, наведена на рис.4.1 в монографії Жданової Н.В. та Халіф А.Л. „Осушка углеводородных газов” (1984 р.).

Основні відмінності нової технологічної схеми від базової наступні.

Трубчаста насадка використовується як в абсорбері так і в десорбері. Регенований розчин гліколю, який відводиться з кубової частини десорбера, подається до міжтрубного простору масообмінної зони апарата. Таким чином, теплообмін регенованого і насиче-

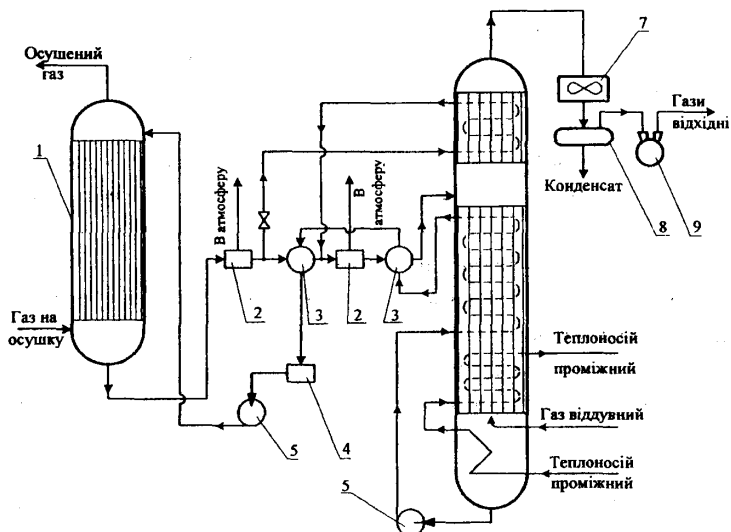


Рис. 5. Технологічна схема ресурсоенергоощадної трубчато-колонної установки абсорбційного осушення природного газу:

1 – абсорбер; 2 – сепаратори; 3 – теплообмінники; 4 – проміжна ємність; 5 – насоси; 6 – десорбер; 7 – конденсатор-холодильник; 8 – ємність; 9 – вакуум-насос.

ного розчинів суміщається з процесом масообміну (десорбції) в трубах по всій висоті масообмінної зони десорбера. Проміжний теплоносій в кубі стабілізує температуру регенованого розчину на виході з десорбера, а решта теплоти проміжного теплоносія підводиться до розчину гліколю в нижній частині масообмінної зони, що також сприяє зближенню робочої та рівноважної лінії десорбера. До міжтрубного простору верхньої частини десорбера подається певна частка холодного насиченого розчину гліколю для конденсації з паро-газової суміші потрібної кількості водяних парів і утворення орошення. Відсутні насос орошення та підігрівач-кип'ятильник.

В межах змін тиску абсорбції від 2 до 7 МПа, концентрації регенованого розчину діетиленгліколю від 98,5 % до 99,5 % мас., які є характерними для практики установок абсорбційного осушення газу при трубопровідному транспорті та підземному зберіганні газу, визначено, що при температурі контактування фаз в абсорбері 20 °С та температурі точки роси осушеного газу -10 °С число одиниць переносу в абсорбері коливається в

межах від 1,95 до 2,21. Кількість абсорбованої вологи при зменшенні тиску абсорбції від 7 до 2 МПа збільшується у 2,79 раз, що спричиняє зростання питомої масової витрати діетиленгліколю на таку ж величину. При висоті одиниці переносу до 0,4 м, яка прийнята на основі виконаних Козаком Ф.В. досліджень масообміну в бігвинтовій насадці, висота масообмінної зони з використанням трубчастої насадки за варіантом №1 складатиме ~ 1м, що дозволяє використовувати її в абсорберах як вертикального так і горизонтального типів. Отже, компактність абсорбера є наслідком істотної необоротності процесу з причини створеної великої рушійної сили масопереносу.

Аналіз сучасного стану абсорбційного осушення природного газу гліколями показує, що найбільшу питому вагу в експлуатаційних витратах мають втрати гліколю (50-80 %) та витрата теплоти на регенерацію останнього (21÷50 %).

Завдяки ламінарній течії абсорбенту в трубчастій насадці, що підтверджено нашими дослідями, механічне винесення абсорбенту осушеним газом відсутнє при швидкостях газу до 90 % від швидкості підвисання. Ця позитивна з точки зору мінімізації експлуатаційних затрат, характеристика апарата плівкового типу підтверджена промисловими випробуваннями реконструйованого горизонтального абсорбера з регулярною насадкою фірми "Sulzer" в складі установки підготовки газу Богородчанського ЛВУМГ, проведеними за нашою участю: при тиску процесу 5,2 МПа і температурі контактування фаз 20 °С механічне винесення діетиленгліколю було відсутнє, хоча швидкість газу за робочих умов в розрахунку на повний переріз насадки в апараті сягала 0,4 м/с.

Втрати діетиленгліколю, які без втрат від механічного винесення складаються з випаровування в абсорбері та сепараторах-вивітрювачах, втрат з водним та вуглеводневим конденсатами десорбера, термічного розкладу у виварнику десорбера, через сальники насосів, нещільності комунікацій, відбору проб на аналізи, визначені за методикою Бородіної І.І. і коливаються від 6,5 г/1000 м³ газу при тиску абсорбції 2 МПа до 4,5 г/1000 м³ при тиску 7 МПа. Передбачивши для гарантії механічне винесення діетиленгліколю на рівні 3,5 – 5,5 г/1000 м³ газу, досліджена трубчаста насадка при її експлуатації в плівковому режимі може забезпечити реальне зменшення сумарних втрат діетиленгліколю з 19 – 20 г/1000 м³ газу, які зараз встановлені для більшості установок осушення підприємств ДК „Укртрансгаз”, до 8 – 12 г/1000 м³ газу. При вартості діетиленгліколю за цінами 2002 року 3750 грн/т економія складатиме від 0,03 до 0,045 грн/1000 м³ газу.

Для порівняння регенерації складено матеріальні та теплові баланси для обох варіантів технологічних схем. Витрати теплової енергії на регенерацію насиченого діетиленгліколю в десорбері нового варіанту Q_{np} в розрахунку на 1 кг регенованого розчину ДЕГ дорівнюють:

$$Q_{np} = Q_c + Q_T,$$

де Q_c – витрата теплоти на підігрів віддувного газу від 20 °С до 154 °С, Q_T – теплота, яку віддає в десорбері проміжний теплоносіє на регенерацію розчину діетиленгліколю (за

рівнянням теплового балансу):

Витрати теплоти на регенерацію розчину діетиленгліколю в розрахунку на 1000 м^3 осушеного газу в базовому Q_{δ} та новому Q_n варіантах складають:

$$Q_{\delta} = Q_{s_p} \cdot L, \quad Q_n = Q_{n_p} \cdot L$$

де L – питома масова витрата регенованого розчину, $\text{кг}/1000 \text{ м}^3$ газу.

Тоді економія теплової енергії Q_e від запровадження нової технології на стадії регенерації діетиленгліколю складатиме

$$Q_e = Q_{\delta} - Q_n$$

Порівняння виконано за таких ідентичних умов для обох варіантів:

вміст діетиленгліколю в регенованому розчині $x_1 = 98,5 \%$ мас., а в насиченому – $x_2 = 96,5 \%$ мас., а; температура насиченого розчину діетиленгліколю на вході в апарат $t_2 = 105 \text{ }^{\circ}\text{C}$; температура регенованого розчину діетиленгліколю при виведенні із кубової частини десорбера $t_1 = 154 \text{ }^{\circ}\text{C}$ та при виведенні його з міжтрубного простору масообмінної зони в десорбері нового варіанта – від $129 \text{ }^{\circ}\text{C}$ до $139 \text{ }^{\circ}\text{C}$; температура віддувного газу на вході в десорбер $t = 154 \text{ }^{\circ}\text{C}$; температура парогазової суміші на виході із десорбера $t_n = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$; температура води – орошення укріплюючої (верхньої) частини десорбера базового варіанта $t_o = 97 \text{ }^{\circ}\text{C}$; абсолютний тиск в десорбері $p = 0,12 \text{ МПа}$.

Результати порівняння наведені в табл. 2, де витрати теплоти нового варіанта подані для двох граничних температур регенованого діетиленгліколю на виході з міжтрубного простору масообмінної зони: Q_H^{15} – при $t = 154 - 15 = 139 \text{ }^{\circ}\text{C}$ і Q_H^{25} – при $t = 154 - 25 = 129 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 2

Залежність витрат теплоти на регенерацію діетиленгліколю від тиску абсорбції в розрахунку на 1000 м^3 газу ($x_1 = 98,5 \%$ мас.; $x_2 = 96,5 \%$ мас.)

Показник та його одиниці вимірювання	Абсолютний тиск абсорбції, МПа					
	2	3	4	5	6	7
Q_{δ} , кДж	6557	4591	3612	3022	2630	2349
Q_H^{15} , кДж	4778	3347	2632	2202	1916	1712
Q_H^{25} , кДж	3131	2193	1732	1443	1255	1122

Поєднання теплообміну з масообміном, які протікають по всій висоті тепломасообмінної зони десорбера, дозволяють зменшити термодинамічну необоротність процесів і, як результат, скоротити витрати теплоти на регенерацію гліколю від 27% (для Q_H^{15}) до 52% (для Q_H^{25}).

Кількість заощадженого природного газу V_0 (за н.у.), який спалюється для підігріву проміжного теплоносія і віддувального газу в технологічній печі типу ЦС-1 з коефіцієнтом корисної дії бруто 0,8 (за технологічним регламентом установки підготовки газу Богородчанського ЛВУМГ), дорівнюватиме

$$V_0 = Q_c / (Q_c \cdot \rho_0 \cdot 0,8) ,$$

де Q_c – нижча теплота згоряння природного газу за його сухим складом, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; ρ_0 – густина природного газу за н.у., $\text{кг}/\text{м}^3$.

Вартість заощадженого природного газу E_Q (грн./1000 м^3 газу), економія або це ж – вартість заощадженої теплової енергії, складе:

$$E_Q = V_0 / 1000 \cdot C ,$$

де C – ціна 1000 м^3 природного газу в гривнях, яка в 2002 році складала в ДК „Газ України” 331 гривню (без 20 % податку на додану вартість).

При продуктивності установки осушення 100 млн. м^3 /добу газу та при тиску абсорбції, наприклад, 5 МПа сумарна вартість заощаджень діетиленгліколю та теплової енергії складатиме від 5580 грн./добу до 6750 грн./добу за цінами 2002 року (див. рис. 6).

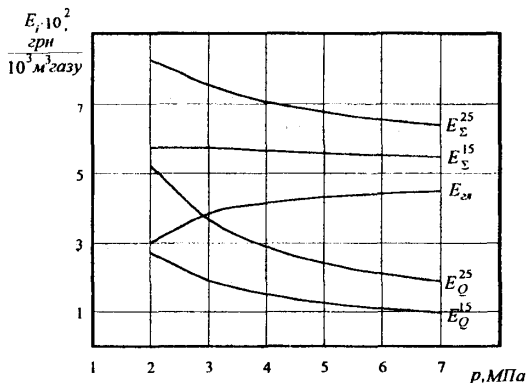


Рис. 6. Залежність вартостей заощаджених теплової енергії E_Q^{15} , E_Q^{25} , діетиленгліколю E_{Σ} та їх суми E_{Σ}^{15} , E_{Σ}^{25} від абсолютного тиску абсорбції p в розрахунку на 1000 м^3 осушеного природного газу. $x_1 = 98,5$ % мас.; $x_2 = 96,5$ % мас.; температура контакту фаз в абсорбері 20 °С; насадка трубчаста за варіантом №1.

абсорбера (0÷8) °С розчинами діетиленгліколю з концентрацією (90 – 93,5) % мас. проти (98,5 – 99,5) % мас. в традиційних схемах. Завдяки зниженню концентрації розчину діетиленгліколю зменшуються його втрати з механічним винесенням, а процес регенерації реалізується при атмосферному тиску з відповідною економією теплової енергії.

Великий викидний енергетичний потенціал продуктів спалювання природного газу на привідних газових турбінах компресорних станцій газотранспортної системи України може бути використаний не тільки для виробництва електроенергії, але і для забезпечення енергією новітніх технологій осушення природного газу від вологи.

Прикладом такої технології є спосіб осушення природного газу за нашим патентом (рис.7). Застосування штучного холоду дозволяє здійснювати осушення природного газу, наприклад, до точки роси по волозі (-10) °С при дотриманні температури плівки діетиленгліколю в трубчастій насадці

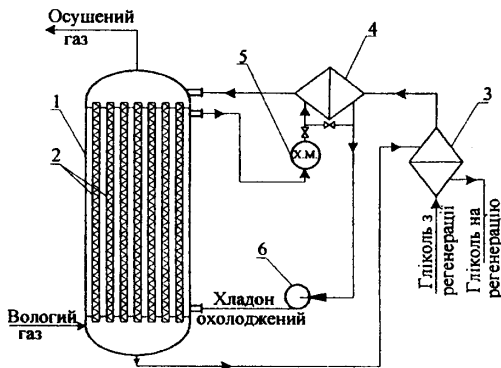


Рис. 7. Схема абсорбційного осушення природного газу з використанням штучного холоду за патентом України № 25390 А:

1 – абсорбер; 2 – трубчаста насадка; 3 – рекуперативний теплообмінник; 4 – холодильник; 5 – абсорбційна холодильна машина; 6 – циркуляційний насос.

використані в технологічній масообмінній апаратурі газонафтопереробки, в технологіях промислової обробки газу і нафти, в хімічній, харчовій та суміжних галузях.

ВИСНОВКИ

В результаті виконаних теоретичних і експериментальних досліджень вирішена важлива науково-практична задача яка полягає в підвищенні ефективності технології абсорбційного осушення природного газу гліколями за рахунок використання можливостей трубчастої насадки

1. Вперше розроблена та запатентована конструкція трубчастої насадки, яка, завдяки широкому діапазону зміни робочих навантажень та можливості паралельного проведення тепломасообміну в трубному і міжтрубному просторах, придатна для використання в абсорберах і десорберах установок осушення природного газу гліколями.

2. На основі експериментальних досліджень трьох варіантів трубчастої насадки з'ясовані оптимальні її параметри, що забезпечує високе значення коефіцієнта тепловіддачі при незначному гідравлічному опорі в широкому діапазоні зміни швидкостей газу і рідини..

3. На основі експериментальних досліджень з міжфазного теплообміну при протитечії фаз в дослідженій трубчастій насадці кількісно оцінена інтенсифікація зазначеного процесу та з'ясовано її механізм. Підтверджено наявність ламінарного руху плівки рідини в насадці в межах її основного робочого режиму та істотного штучного турбулізуючого впливу на міжфазний теплообмін завихрювачів обох фаз. Значення “чистого” коефіцієнта тепловіддачі (без впливу масовіддачі), які можуть бути знайдені за отриманим критеріа-

Бромистолітєва абсорбційна холодильна машина в якості джерела теплоти високого потенціалу (при температурі $\sim 120\text{ }^{\circ}\text{C}$) використовує викидні гази приводу КС, а зниження температури газу в абсорбері, наприклад, від $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ забезпечить економію потужності на його транспортування до 2,34 %.

Накопичені даним дослідженням наукові висновки та отримані залежності мають значення і практичну цінність не тільки для технології абсорбційного осушення природного газу гліколями, але можуть бути використані в технологіях

льним рівнянням, дозволяють врахувати вплив теплообміну на масообмін при їх одночасній реалізації в трубчастій насадці.

4. З використанням теорії подібності змодельовано міжфазний теплообмін при протічній газу і рідини в трубчастій насадці реальних геометричних розмірів при відсутності масообміну між зазначеними фазами та при співвідношеннях витрат фаз, характерних для технології абсорбційного осушення природного газу.

5. Удосконалено технологію абсорбційного осушення газу за рахунок використання трубчастої насадки. На стадії абсорбції, завдяки плівковому режиму руху абсорбенту, насадка дозволяє суттєво зменшити механічне винесення останнього. На стадії регенерації нова технологія за рахунок часткового зменшення термодинамічної необоротності дозволить на 27 – 52 % скоротити витрати теплоти. При наявності великого викидного теплового потенціалу відхідних газів приводу ГПА привабливою є трубчато-колонна технологія осушення газу із застосуванням штучного холоду, отриманого за рахунок зазначеної викидної теплоти.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Козак Ф.В., Шутка Л.М., Дем'янчук Я.М. Про зменшення технологічних витрат на осушування природного газу. // Нафтова і газова промисловість. – 1996. - №4. – С.45-47.
2. Дем'янчук Я.М., Козак Ф.В. До питання розробки енергоощадної трубчастої колонної технології. // Вісник держ. у-ту “Львівська політехніка”. Спеціальний випуск. – 1998. – С.94-95.
3. Дем'янчук Я.М. Дослідження деяких питань гідродинаміки трубчатого тепломасообмінного елемента. // Вісник держ. у-ту “Львівська політехніка”. – №2. – 1999. – С.122-124.
4. Дем'янчук Я.М., Козак Ф.В. Дослідження теплообмінних характеристик бігвинтової насадки. // Державний міжвідомчий науково-технічний збірник „Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 1998. – Випуск 35, том 5, – С.77-83.
5. Дем'янчук Я.М. Дослідження теплообміну трубчатого тепломасообмінного елемента. // Науковий вісник ІФНТУНГ. – №2 (3) – 2002, – С.61-66.
6. Пат. України 30278 А, МКИ 6 F 28D ¼. Трубчастий тепломасообмінний елемент / Козак Ф.В., Дем'янчук Я.М. – №93020798. Заявл. 17.02.1998; Опубл. 15.11.2000, Бюл. №6-ІІ.
7. Патент України 25390 А, МКВ F 16C 19/00. Спосіб низькотемпературного осушення природного газу / Козак Ф.В., Дем'янчук Я.М. (Україна); Івано-Франк. держ. техн. ун-т нафти і газу.- № 96031154; Заявл. 23.06.96; Опубл. 25.12.98, Бюл. №6.- 3 с.
8. Дем'янчук Я.М., Козак Ф.В., Шутка Л.М. Дослідження деяких гідродинамічних характеристик бігвинтової насадки. // Тези доповідей 9 міжнародної конференції “Удосконалення процесів та апаратів хімічних, харчових та нафтохімічних виробництв” – Одеса.: ОГАХТ, – 1996. – С.37.
9. Козак Ф.В., Дем'янчук Я.М. Дослідження режимів роботи трубчастої насадки // 36. наук. праць 6-ої Міжнар. наук.-практ. конф. “Нафта і газ України – 2000”. – Том 3. – Івано-Франківськ: Факел. – 2000. – С.60-62.

АННОТАЦІЯ

Демянчук Я.М. Удосконалення технології абсорбційного осушення природного газу.

– Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 – нафтогазопроводи, бази та сховища. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2003.

В дисертації вирішується важлива народно-господарська задача – зменшення енергетичних та матеріальних витрат при проведенні абсорбційного осушення природного газу. Запропонована нова технологічна схема установки осушення газу, яка, завдяки використанню трубчасто-колонної технології, дозволяє суттєво зменшити як втрату абсорбенту високої вартості з потоком осушеного газу завдяки плівковій схемі руху першого так і кількість теплової енергії на стадії регенерації насиченого абсорбенту. Останнє досягається шляхом зменшення необоротності процесу при паралельному проведенні процесів тепло- та масообміну в трубному і міжтрубному просторах по всій висоті масообмінної зони апарату. Для досягнення належної ефективності проведення вище наведених процесів запропонована та досліджена на створеному експериментальному стенді трубчаста насадка.

Ключові слова: трубчаста насадка, трубчасто-колонна технологія, абсорбент, абсорбер, теплообмін, масообмін, гідродинамічні режими, швидкість запливу газу.

АННОТАЦИЯ

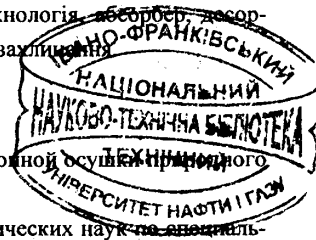
Демянчук Я.М. Усовершенствование технологии абсорбционной осушки природного газа. – Рукопись.

Дисертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 – нефтегазопроводы, базы и хранилища. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2003.

В дисертации на основе анализа существующих технологических схем абсорбционной осушки природного газа выделены аспекты, которые наиболее влияют на экономичность технологии абсорбционной осушки. Среди них наиболее существенные: потери гликолей высокой стоимости с потоком осушенного газа и затраты тепловой энергии при регенерации насыщенного раствора абсорбента. Так, потери гликолей составляют от 47 до 80 % от общих затрат, а доля тепловой энергии на стадии регенерации – от 21 до 53 %.

С позиции второго закона термодинамики уменьшить диссипативные потери тепловой энергии можно путем подвода (отвода) тепловых потоков по всей высоте теплообменной зоны аппаратов, что позволяет осуществить трубчасто-колонная технология. Однако для обеспечения надлежащей эффективности аппаратов этой технологии необходима высокоэффективная насадка как для трубного так и для межтрубного пространств.

Предложенная трубчатая насадка, конструкция которой защищена патентом Украины №30278 А, состоит из газового завихрителя и спирали вокруг него, а все вместе поме-



щено в несущую трубу. В насадке жидкость стекает сверху вниз пленкой по витках спирали, а каждая следующая пара лепестков-лопаток закручивает газовый поток в противоположную сторону. Для исследования предложенной насадки спроектирован и построен экспериментальный стенд. Исследованы три варианта газового завихрителя и пять спиралей с различным шагом витков. В результате сравнения выбран наиболее оптимальный вариант трубчатой насадки.

Гидродинамику и теплообмен исследовали при атмосферном давлении на системе "воздух - минеральное масло", которая позволила исключить влияние массообмена на теплообмен.

При исследовании гидродинамики трубчатой насадки зафиксировано существование трех основных гидродинамических режимов работы – режим свободного стекания жидкости, режим подвисяния жидкости и режим захлебывания. На основе уравнения Бейна-Хоуена получены зависимости для расчета скоростей начала режимов подвисяния и захлебывания. Также получено критериальное уравнение для расчета гидравлического сопротивления трубчатой насадки. Трубчатая насадка отличается высокой пропускной способностью.

Исследования теплообмена при противотоке фаз в трубчатой насадке показали, что наличие в трубе газового завихрителя и спирали интенсифицирует теплообмен от 3 до 5 раз. В результате обработки экспериментальных данных получена критериальная зависимость для расчета коэффициента теплоотдачи.

На основе проведенных исследований синтезирована новая технология абсорбционной осушки газа с использованием предложенной трубчатой насадки. В новой схеме ресурсосбережение достигается использованием трубчатой насадки на стадии абсорбции. Благодаря ламинарному течению пленки жидкости в насадке, что подтверждено исследованиями, механический вынос абсорбента отсутствует до скоростей газа, составляющих 90 % от скорости подвисяния. Это позволяет уменьшить потери гликолей от нынешних установленных в ДК "Укртрансгаз" 19-20 г/1000 м³ до 8-12 г/1000 м³.

Наиболее полно преимущества предложенной трубчатой насадки проявляются на стадии регенерации гликоля. Проведено сравнение базового и нового вариантов. Объединение теплообмена с массообменом в десорбере нового варианта, которые протекают параллельно по всей высоте тепломассообменной зоны десорбера, позволяет уменьшить термодинамическую необратимость процессов и, как результат, уменьшить затраты теплоты на регенерацию гликоля от 27 до 52 %.

Большой энергетический потенциал продуктов сгорания природного газа на приводных газовых турбинах компрессорных станций может быть использован не только для производства электроэнергии, но и для обеспечения энергией новых технологий осушки природного газа. Пример такой технологии – способ осушки природного газа при низких температурах за патентом № 25390 А. Проведение процесса осушки при температурах контакта фаз от 0 °С до 10 °С раствором диэтиленгликоля с концентрациями (90 – 93,5) % мас. против (98,5 – 99,5) % мас. в традиционных схемах позволяет уменьшить его потери,

а процесс регенерации реализуется при атмосферном давлении с соответствующей экономией тепловой энергии.

Ключевые слова: трубчатая насадка, трубчато-колонная технология, абсорбер, десорбер, теплообмен, массообмен, гидродинамические режимы, скорость захлебывания.

ANNOTATION

Demianchuk Y.M. Improvement of technology for absorption dehumidifying of natural gas. – Manuscript.

Thesis for obtaining a scientific degree of Candidate of Engineering Sciences, speciality 05.15.13 – oil & gas pipelines, bases and product storages. – Ivano-Frankivsk national technical university of oil & gas, Ivano-Frankivsk, 2003.

The given thesis contains a possible solution of an important task of national economy – reduction of power and material costs of natural gas absorption dehumidifying. There has been suggested a new technological scheme for gas dehumidifying installation. Due to tubular-string technology this scheme allows to reduce considerably both the loss of high-cost absorbent along with drained gas flow thanks to a film diagram of the absorbent motion and the quantity of thermal energy at the stage of saturated absorbent reactivation. The latter is achieved by decreasing the process irreversibility in the parallel processes of heat and mass exchange in tubal and inter-tubal spaces within the height of the apparatus mass-exchange zone. To achieve the proper level of efficiency of the above-mentioned processes, there has been suggested a tubular nozzle, which has been tested on a created experimental bench.

Key-words: tubular nozzle, tubular-string technology, absorber, desorber, heat exchange, mass exchange, hydrodynamic models, speed of