

ВІДГУК

офіційного опонента Середюк Марії Дмитрівни на дисертаційну роботу Бузовського Віталія Петровича **«Розробка ефективного конденсаційного методу вловлювання парів легких фракцій нафтопродуктів з використанням ежекційного пристрою»**, подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 – Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

Дисертацію присвячено вирішенню проблеми зменшення втрат нафтопродуктів від випаровування у резервуарах шляхом розроблення фізико-технічних основ конденсаційного методу вловлювання парів легких фракцій нафтопродуктів з використанням ежекційного пристрою.

1. Актуальність теми

Актуальність дисертаційної роботи полягає в декількох аспектах. По-перше, вирішується проблема енергозбереження. З кожним роком спостерігається збільшення енергоспоживання країнами світу. У роботі запропонована конденсаційна система уловлювання легких фракцій (УЛФ), спроможна частково компенсувати таке зростання, заощадивши вже вироблені енергоресурси. По-друге, вирішується проблема збереження якості нафтопродуктів. Невідповідність октанового числа бензину його заявленій величині є одним із поширених порушень на АЗС. Це призводить до проблем при експлуатації двигунів автомобілів. Конденсація легких фракцій нафтопродуктів і повертання їх в резервуар АЗС допоможе зберегти показники їх якості. По-третє, вирішується екологічна проблема. Питання екологічної безпеки займають особливе місце серед глобальних проблем сучасного світу. Високі показники забрудненості урбанізованих територій змушують провідні країни світу посилювати вимоги до викидів парів вуглеводнів. Дані вимоги можуть бути виконані лише за умови наявності науково-технічної бази, що дозволить впровадити високоефективні та пожежовибухобезпечні системи УЛФ.

Впровадженню конденсаційних систем з ежекційним пристроєм заважає відсутність єдиної теорії розрахунку теплообмінників ежекційного типу. Це пояснюється складною картиною гідродинаміки і процесів тепломасообміну в теплообмінниках даного типу. Як наслідок, спостерігається нестача даних, підтверджених експериментальними дослідженнями, щодо оптимальних режимів експлуатації із забезпеченням максимально можливої ефективності вловлювання. Тому питання актуальності дисертаційної роботи не викликає сумнівів.

2. Загальна характеристика роботи

Дисертація Бузовського Віталія Петровича складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, додатків і списку літератури (101 джерело). Основний зміст дисертації становить 164 сторінки друкованого тексту та містить 67 рисунків і 29 таблиць.

У *вступі* подано обґрунтування актуальності теми дисертації, сформульовано мету та задачі досліджень, представлено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів теоретичних досліджень, особистий внесок здобувача, апробацію результатів роботи на міжнародних та вітчизняних конференціях та публікаціях за темою проведених досліджень.

У *першому розділі* проведено огляд вітчизняних та зарубіжних досліджень, які стосуються тематики роботи. Виконано аналіз ефективності засобів скорочення втрат нафтопродуктів від випаровування, починаючи від відносно дешевих, але менш ефективних, понтонів, плаваючих покрівель, дисків-відбивачів, газовирівнювальних систем, і закінчуючи високоефективними, але дорогими і технологічно складними системами на основі фізичних процесів конденсації, абсорбції, адсорбції, компримування тощо. Здобувач продемонстрував, що існуючі конденсаційні системи працюють переважно на базі рекуперативних теплообмінників. Аналіз теплообмінників даного типу стосовно до задачі охолодження пароповітряної суміші, які відходять з резервуарів, і конденсації бензинових парів дозволив виявити ряд недоліків: підвищена пожежота вибухонебезпека, фіксована поверхня теплообміну, значний гідравлічний опір потоку пароповітряної суміші (ППС), висока матеріаломісткість, можливість утворення інею на стінках теплообмінника за рахунок конденсації водяних парів, що містяться в ППС. Здобувачем детально описаний принцип дії запропонованої конденсаційної системи з ежекційним пристроєм. Описана конструкція пристрою і доведено, що апарати даного типу позбавлені недоліків поверхневих теплообмінників.

У *другому розділі* автором присвячено велику увагу дослідженню гідродинамічних процесів газорідного факелу. Математичне моделювання руху одиночної краплі дозволило встановити, що швидкість краплі в значній мірі залежить від напрямку її початкового руху. Виконано теоретичні дослідження гідродинаміки вільного факелу. Спільний розв'язок рівнянь збереження імпульсу і рівнянь руху дозволив встановити характер зміни параметрів гідродинамічних процесів. Знайдено мінімальну граничну початкову швидкість краплі, за якої форму факелу можна вважати конусом, утвореним обертанням крайньої бічної струминки навколо осі, що збігається з напрямком горизонту. Математичне моделювання дало змогу встановити, що в рівняннях збереження імпу-

льсу концентрацією крапель можна знехтувати, вважаючи, що весь простір займає парогазова фаза. Встановлено закономірності зміни швидкості середовища і тиску в різних частинах апарату. Знайдено величини коефіцієнтів ежекції залежно від гідравлічного опору системи, до якої підключений апарат, і перепаду тиску на форсунці. Математична модель гідродинамічних процесів використана для моделювання параметрів ППС при великих диханнях резервуара і процесів тепломасообміну в ежекційному апараті при конденсації парів бензину.

Третій розділ дисертаційної роботи присвячений теоретичному дослідженню тепломасообміну в ежекційному апараті при охолодженні пароповітряної суміші і конденсації компонентів. Як основний інструмент досліджень використаний метод математичного моделювання. Основу запропонованої моделі склали диференціальні рівняння теплового балансу і теплопередачі. Для розрахунку густини потоку речовини запропоновано два різних підходи. В основі першого лежить теоретична формула Стефана, в основі другого – емпірична формула Фреслінга. Враховуючи механізми конвективної і молекулярної дифузії здобувачем вперше виведена формула Стефана у сферичній системі координат. Графічні залежності описують зміну локальних показників матеріальних потоків по довжині робочої зони апарату: температури розсолу, температури та об'ємної концентрації ППС. Розрахунки проведено при витратах ППС від 30 до 300 м³/год, які характерні для великих дихань резервуарів АЗС і нафтобаз. Результати моделювання рекомендовано для вибору режиму роботи апарату відповідно до паспортних характеристик холодильної установки, яка входить в систему конденсаційного уловлювання.

Здобувачем вперше виконано дослідження впливу конденсації водяних парів. Показано, що при одночасній конденсації водяних парів і парів бензину останні вносять найбільший вклад у передачу тепла, тому при практичних розрахунках теплотою конденсації водяних парів можна нехтувати.

Вперше виконано оцінку внеску стінок і краплевловлювача в загальну ефективність вловлювання. Показано, що на краплевловлювачі і стінках конденсується не більше 3,5% загального обсягу вуглеводнів.

Четвертий розділ містить результати експериментальних досліджень тепломасообміну в ежекційному апараті та перевірку адекватності розробленої математичної моделі. Описано конструкцію експериментального стенда для дослідження тепломасообміну в ежекційному апараті при конденсації парів бензину на краплях розсолу. Експериментальні дані отримано для 12-ти режимів роботи ежекційного апарату залежно від температури розсолу на вході. В ході експерименту для кожного режиму фіксувалась температура ППС на виході з ежекційного апарату. Слід відмітити, що такі параметри, як температура ППС на вході, витрата ППС і розсолу, перепад тиску на форсунці, концентра-

ція насичених парів на вході для кожного з режимів не змінювались.

Об'ємну концентрацію бензинових парів запропоновано визначати, використовуючи зв'язок між цією величиною, парціальним тиском парів і температурою. Цей зв'язок є однозначним за умови, що парціальний тиск дорівнює тиску насичених парів. Здобувачем стверджується, що ця умова була витримана при проведенні експерименту. Зв'язок між парціальним тиском і температурою описується рівнянням, який має коефіцієнт пропорційності – тиск насичених парів нафтопродукту по Рейду. Зазначений параметр визначався здобувачем експериментальним шляхом за допомогою бомби Рейда.

Отримані експериментальні дані, з врахуванням похибки прямих і непрямих вимірювань були використано для вирішення низки наукових задач. Виконано порівняння експериментальних даних з результатами математичного моделювання при варіації товщини дифузійного пограничного шару.

На базі експериментальних даних розроблено методику розрахунку тепломасообміну в ежекційному апараті при конденсації парів вуглеводнів. Використовуючи результати експериментальних досліджень, автором дисертації запропоновано варіант рівняння Є.І. Андреева стосовно процесу конденсації парів нафтопродуктів в ежекційному апараті.

Особливу увагу приділено техніко-економічному обґрунтуванню, яке виконане в *п'ятому розділі* дисертаційної роботи. Розрахунки економічних показників впровадження конденсаційної системи УЛФ з ежекційним пристроєм представлено окремо для резервуарів АЗС і нафтобаз. Підібрано основне обладнання конденсаційної системи. Виконаний розрахунок режиму роботи компресорно-конденсаторного агрегату, який працює на охолодження 34 м³/год пароповітряної суміші. Одержано, що річні експлуатаційні витрати на уловлювання бензинових парів, які відходять з резервуарів АЗС, в 4,4 рази менші, ніж вартість вловленого бензину.

Виконано аналіз економічних показників роботи конденсаційної системи УЛФ при уловлюванні бензинових парів під час великого дихання резервуара РВС 3000. Встановлено, що зниження температури охолодження ППС за рахунок збільшення холодопродуктивності холодильної установки призводить до суттєвого позитивного економічного ефекту, тоді як експлуатаційні витрати зростають незначно. Розрахунок параметрів ППС при великому диханні резервуарів виконаний за сучасною методикою, яка враховує насичення газового простору резервуара за простою та донасичення газового простору парами бензину під час операції наливу.

3. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність забезпечується:

- використанням сучасних методів обробки експериментальних даних та задовільною їх узгодженістю з даними теоретичних досліджень;
- застосуванням фундаментальних законів та коректною фізичною та математичною постановкою при побудові моделей процесів гідродинаміки та тепломасообміну при конденсації парів нафтопродуктів;
- застосуванням при проведенні теоретичних досліджень апробованих методів диференціального числення та математичного моделювання;
- успішною апробацією розроблених методів та рекомендацій щодо зменшення втрат нафтопродуктів від випаровування на АЗС ТОВ «ІКС ОІЛ».

4. Цінність одержаних результатів для науки і практики

Цінність одержаних результатів для науки полягає у такому:

На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень встановлено нові закономірності гідрогазодинамічних процесів, пов'язаних з формуванням факелу в горизонтальному ежекційному конденсаторі парів нафтопродуктів. Виявлений вплив процесів тепломасообміну на швидкість дисперсійного потоку та ефективність роботи ежекційного конденсатора. Одержано нові закономірності конденсації парів вуглеводнів в дифузійному пограничному шарі на межі розділу рідинної та газової фаз. Встановлено вплив товщини дифузійного пограничного шару на температуру охолодження пароповітряної суміші;

Цінність одержаних результатів для практики полягає у такому:

Запропоновано оригінальну конденсаційну систему з ежекційним пристроєм, яка характеризується низькою металоємністю, пожежо- та вибухобезпекою, низьким гідравлічним опором, високою ефективністю вловлювання парів нафтопродуктів у процесі зберігання в резервуарах. Розроблено методику розрахунку гідрогазодинамічних характеристик факелу в горизонтальному ежекційному конденсаторі парів нафтопродуктів. Запропоновано метод теплового розрахунку ежекційного апарату зі складною гідродинамічною картиною. Розроблено алгоритм та програмне забезпечення для розрахунку параметрів спільної роботи резервуара у процесі його заповнення нафтопродуктом і запропонованої автором системи уловлювання парів вуглеводнів. Здійснено впровадження результатів роботи на підприємствах нафтопродуктозабезпечення України.

5. Повнота викладення матеріалу в опублікованих працях

В опублікованих автором 6 наукових працях викладено всі основні положення, результати і висновки дисертації.

Обсяг і стиль матеріалу, наведеного в авторефераті, дають змогу зрозуміти основний зміст дисертації. Основні результати і підсумкові висновки автореферату аналогічні змісту дисертації.

6. Зауваження по роботі

6.1 Перший розділ дисертації переобтяжений інформацією про існуючі методи, засоби і системи уловлювання парів нафтопродуктів. Цей розділ можна було скоротити, зробивши посилання на відповідні джерела.

6.2 При моделюванні гідрогазодинамічних процесів газорідинного факелу горизонтального конденсатора не враховано нерівномірність розподілу густини зрошення. Це допущення доцільно було обґрунтувати у роботі.

6.3 Формула Стефана, яка використана для розрахунку густини потоку речовини, містить товщину дифузійного пограничного шару. Слід було пояснити, як зазначений параметр залежить від режиму руху краплі.

6.4 При тепловому розрахунку ежекційного апарату не враховані теплові втрати через стінки апарату, а також відсутні рекомендації щодо вибору теплової ізоляції для теплообмінника і труб з робочою речовиною.

6.5 Здобувачем запропоновано метод спрощеного теплового розрахунку ежекційного апарату при охолодженні ППС, при цьому на конкретизовано діапазон критеріїв подібності, в якому забезпечується адекватність методу.

6.6 Як зазначено у роботі, запропонована технологія вловлювання парів нафтопродуктів може бути застосована як для резервуарів нафтобаз, так і для резервуарів АЗС. Ці резервуари відрізняються за об'ємом, конструкцією, технологічними регламентами заповнення ємності нафтопродуктами. У роботі не роз'яснено як ці відмінності впливають на конструктивні параметри та режими роботи запропонованої системи.

6.7 У тексті роботи є невдалі зврати та описки. Світлини теплообмінників ежекційного типу, призначених для застосування в інших галузях, можна було не наводити у додатках.

Наведені вище зауваження не мають принципового характеру, не спричиняють зниження наукового рівня дисертації, а деякі з них дають рекомендації щодо продовження наукових досліджень за вибраною здобувачем тематикою.

7. Загальний висновок по дисертації

Дисертаційна робота Бузовського Віталія Петровича «Розробка ефективного конденсаційного методу вловлювання парів легких фракцій нафтопродуктів з використанням ежекційного пристрою» має практичну і наукову цінність, одержані результати і підсумкові висновки характеризуються новизною, достовірністю і науковою обґрунтованістю.

Дисертація є завершеною роботою, а її оформлення відповідає вимогам, які ставляться до кандидатських дисертацій.

Ураховуючи актуальність проблеми, комплексний підхід при вирішенні завдання розроблення теоретичних основ, режимних та конструктивних параметрів запропонованої конденсаційної системи, новизну і ступінь обґрунтованості результатів досліджень, вважаю, що її автор Бузовський В.П. заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 – Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри транспорту і
зберігання нафти і газу,
Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу
доктор технічних наук, професор



М. Д. Середюк

Підпис(и)	<i>М. Д. Середюк</i>
посвідчую	<i>В. П. Процюк</i>
Учений секретар ІФНУНГ	
« 27 »	03 2018 р.

Відгук надіслано у спеціалізовану вчену раду Д 20.057.04 27.03.2018

Учений секретар

