

СТУДЕНТСЬКА НАУКОВО-ДОСЛІДНА РОБОТА

**ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА
КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ АБСОРБЕРІВ ОЧИЩЕННЯ
ГАЗУ З ВИХРОВИМИ МАСООБМІННО-СЕПАРАЦІЙНИМИ
ЕЛЕМЕНТАМИ**

ДЕВІЗ «Високотурбулізовані потоки»

АНОТАЦІЯ

студентської науково-дослідної роботи «Високотурбулізовані потоки»

Актуальність. Сучасні технологічні процеси повинні бути безперервними і протікати з великими швидкостями за умови забезпечення ефективності і комплексного використання сировини і енергії. Тому розширення області застосування і підвищення ефективності вихрових контактних пристроїв є одним з актуальних завдань в процесах підготовки і переробки газових сумішей.

Метою роботи є дослідження впливу гідродинамічних факторів та конструкції масообмінно-сепараційних елементів на режими роботи абсорбера колонного типу та розробка методики інженерного розрахунку абсорбера очищення газу, який працює із застосуванням принципів вихрових високотурбулізованих потоків.

Завданнями наукової роботи є:

- 1) дослідження гідродинаміки масообмінно-сепараційних елементів з високотурбулізованими потоками;
- 2) визначення оптимальних технологічних і конструктивних параметрів роботи абсорбера для очищення газу з вихровими контактними ступенями.

Методи досліджень:

- 1) Комп'ютерне моделювання;
- 2) Експеримент на фізичній моделі.

Робота складається з пояснювальної записки обсягом 30 сторінок, в тому числі 23 рисунка і 8 використаних джерел.

Ключові слова: ВИХРОВІ КОНТАКТНІ СТУПЕНІ, ВИСОКОТУРБУЛІЗОВАНІ ПОТОКИ, ГІДРОДИНАМІКА, АБСОРБЕР, МАСООБМІННО-СЕПАРАЦІЙНИЙ ЕЛЕМЕНТ.

| Зміст | с. |
|---|----|
| Вступ | 3 |
| Розділ 1 Огляд літератури. Постановка задач досліджень | 4 |
| 1.1 Сучасні способи підвищення ефективності масообмінних контактних елементів з високотурбулізованими потоками | 4 |
| 1.2 Висновки до першого розділу | 5 |
| Розділ 2 Комп'ютерне і фізичне моделювання гідродинаміки вихрових контактних ступенів | 6 |
| 2.1 Комп'ютерне моделювання | 6 |
| 2.2 Експеримент на фізичній моделі | 12 |
| 2.3 Висновки до другого розділу | 16 |
| Розділ 3 Аналіз даних комп'ютерного моделювання і результатів експерименту | 17 |
| 3.1 Практичні рекомендації по вибору конструкцій елементів масообмінно-сепараційних секцій абсорбера | 22 |
| 3.2 Основні етапи методики інженерного розрахунку процесу очищення природного газу і геометричних характеристик абсорбера | 26 |
| 3.3 Висновки до третього розділу | 26 |
| Загальні висновки | 29 |
| Список літератури | 30 |

ВСТУП

Інтенсифікація виробництв хімічної галузі характеризується збільшенням випуску кінцевого продукту, яка досягається як за рахунок зростання швидкостей хімічних реакцій, температури і тиску (параметрів технологічного процесу), так і за рахунок розробки і застосування принципово нових апаратів, технологій і дій. Тому сучасні технологічні процеси повинні бути безперервними і протікати з великими швидкостями за умови забезпечення ефективності і комплексного використання сировини і енергії. Тому розширення області застосування і підвищення ефективності вихрових контактних пристроїв є одним з актуальних завдань в процесах підготовки і переробки газових сумішей.

Метою науково-дослідної роботи є дослідження впливу гідродинамічних факторів та конструкції масообмінно-сепараційних елементів на режими роботи абсорбера колонного типу та розробка методики інженерного розрахунку абсорбера очищення газу, який працює із застосуванням принципів вихрових високотурбулізованих потоків.

Завданнями наукової роботи є: 1) дослідження гідродинаміки масообмінно-сепараційних елементів з високотурбулізованими потоками; 2) визначення оптимальних технологічних і конструктивних параметрів роботи абсорбера для очищення газу з вихровими контактними ступенями.

Предмет дослідження – гідродинаміка вихрових масообмінно-сепараційних елементів і пристроїв для сепарації поглинача.

Об'єктом дослідження є абсорбер очищення газу з вихровими масообмінно-сепараційними елементами.

Наукова новизна одержаних результатів: за результатами комп'ютерного моделювання та експериментальних досліджень виділено чотири гідродинамічних режими протікання процесу масообміну на тарілці з масообмінно-сепараційними елементами прямоточно-відцентрового типу, а також визначені умови існування та характерні особливості кожного з режимів.

Практичне значення одержаних результатів: на основі проведених досліджень гідродинаміки вихрових потоків запропоновано нову організацію руху потоків в межах вихрової контактної ступені і розроблено методику інженерного розрахунку процесу очищення газу і конструктивного розрахунку абсорбера.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Сучасні способи підвищення ефективності масообмінних контактних елементів з високотурбулізованими потоками

Вихрові контактні ступені

Із усього різноманіття вихрових контактних ступенів [1], представлених на рис. 1.1, для колонних апаратів найбільш перспективними є контактні ступені з тангенціальними і багатолопатевиими осьовими завихрювачами.

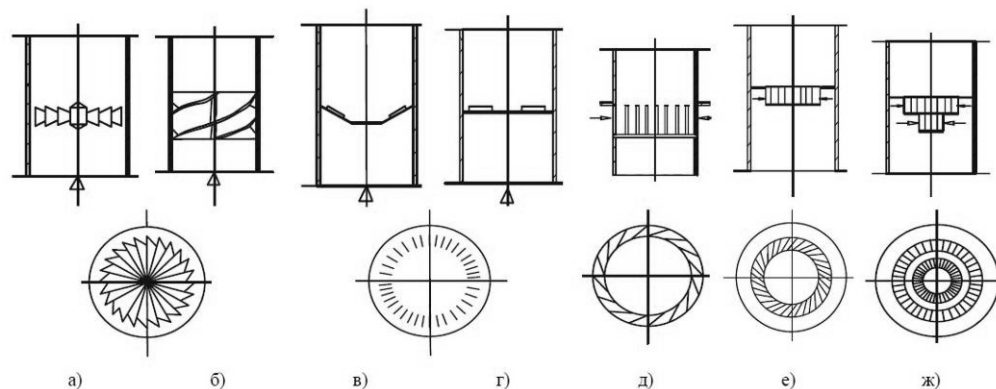


Рисунок 1.1 - Схеми вихрових контактних ступенів з різними типами завихрювачів

а – лопатевий; б – стрічковий; в, г – осьові багатолопатеві; д-ж – тангенціальні

Масообмінна тарілка

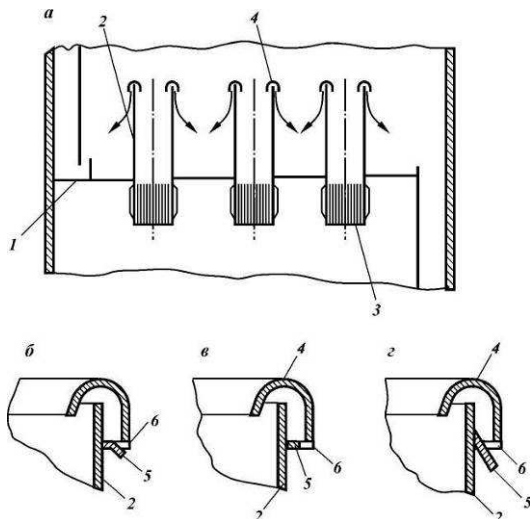


Рисунок 1.2 – Масообмінна тарілка

а - тарілка; б - кільцева перегородка з відігнутим кінцем; в - варіант перегородки, розташованої під кутом 90° до патрубку; г - варіант перегородки, встановленої під гострим кутом до патрубку.

1 - полотно; 2 - патрубок; 3 - завихрювач; 4 - плівкоз'ємник; 5 - перегородка; 6 - виступи

Масообмінна тарілка (рис. 1.2) відноситься до контактних пристроїв для проведення тепломасообміну на установках осушення газу, переробки попутного нафтового газу [2].

Дане технічне рішення дозволяє зменшити кількість контактних елементів, а тим самим діаметр апарату, що, у свою чергу, дозволяє понизити металоємність обладнання. Крім того, підвищується ефективність і продуктивність за рахунок зниження вторинного унесення рідини газовим потоком.

Прямоточно-відцентровий елемент

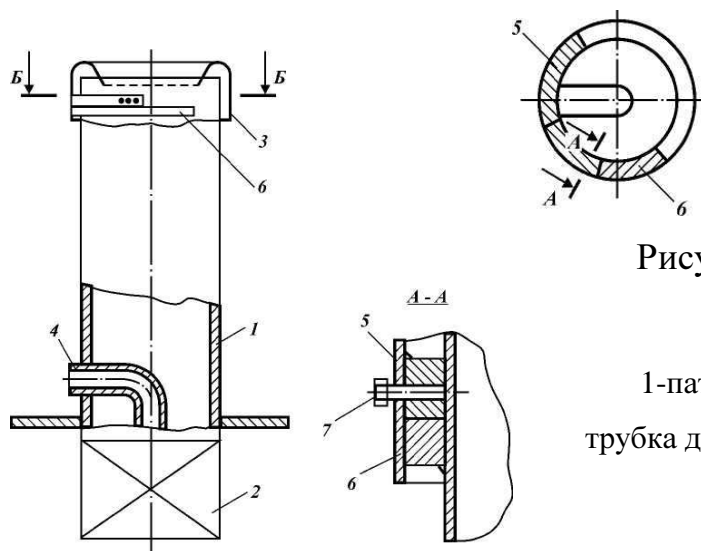


Рисунок 1.3 - Прямоточно-відцентровий елемент

1-патрубок; 2-завихрювач; 3-плівкоз'ємник; 4-трубка для подачі рідини; 5, 6-кільцеві сектори; 7-фіксатор

Прямоточно-відцентровий елемент (рис. 1.3) відноситься до контактних і сепараційних пристроїв та може бути використаний для розділення газорідної суміші в сепараторах і колонах газової, хімічної і нафтохімічної промисловості [2].

Застосування запропонованого рішення розширює діапазон ефективної роботи прямоточно-відцентрових елементів і збільшує ефективність розділення газової і рідкої фаз.

1.2 Висновки до першого розділу

В результаті проведеного літературного огляду можна зробити висновок, що технологія очищення газу, заснована на використанні вихрових високотурбулізованих потоків перспективна тому, що при впровадженні такої технології однозначно знижуються витрати на виготовлення і експлуатацію основного технологічного обладнання установки абсорбційного очищення газу – абсорбера колонного типу, але інформація по дослідженню і конструюванню колон з вихровими контактними ступенями недостатньо висвітлена в сучасній літературі, тому актуальною науковою задачею є дослідження гідродинаміки масообмінно-сепараційних елементів з високотурбулізованими потоками та визначення оптимальних технологічних і конструктивних параметрів роботи абсорбера з вихровими контактними ступенями.

РОЗДІЛ 2

КОМП'ЮТЕРНЕ І ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІКИ ВИХРОВИХ КОНТАКТНИХ СТУПЕНІВ

2.1 Комп'ютерне моделювання

Процес комп'ютерного моделювання включає створення 3D моделей масообмінно-сепараційного елемента з циліндричним і конічним патрубком (рис. 2.1 а), тарілки з контактними елементами прямоточно-відцентрового типу (рис. 3.1 б), розташованих одна біля одної двох тарілок з контактними елементами прямоточно-відцентрового типу (рис. 2.1 в) і розташованих одна біля одної двох тарілок з контактними елементами прямоточно-відцентрового типу і шаром структурованої насадки між тарілками (рис. 2.1 г), а також потоків в них за допомогою систем автоматизованого тривимірного проектування КОМПАС 3D і COSMOSFloWorks.

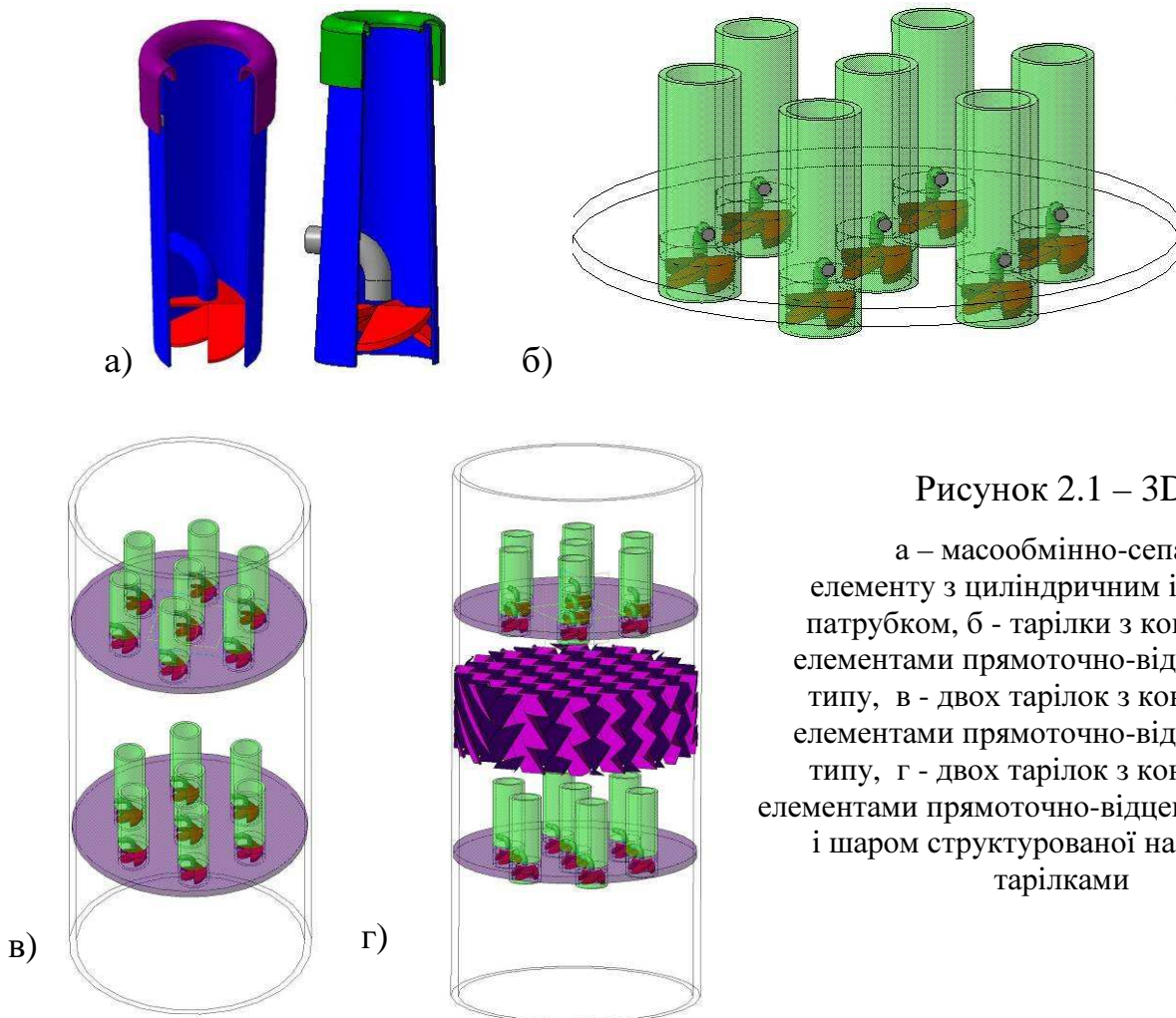


Рисунок 2.1 – 3D моделі

а – масообмінно-сепараційного елемента з циліндричним і конічним патрубком, б - тарілки з контактними елементами прямоточно-відцентрового типу, в - двох тарілок з контактними елементами прямоточно-відцентрового типу, г - двох тарілок з контактними елементами прямоточно-відцентрового типу і шаром структурованої насадки між тарілками

Комп'ютерне моделювання гідродинаміки масообмінно-сепараційного елемента прямоточно-відцентрового типу

В процесі моделювання були випробувані різні варіанти проведення процесу із зміною конструктивних параметрів контактного масообмінно-сепараційного елемента.

На рис. 2.2 а) зображений розподіл швидкостей в кінці масообмінно-сепараційному елементі з 3 елементами, що завихрюють. Максимальна швидкість газового потоку (16 м/с) спостерігається при проходженні мінімального прохідного перетину в області завихрювача, що складається з 3 елементів, далі газовий потік розбивається на 3 шари в радіальному напрямі: 1 - швидкість частини газового потоку біля периферії 10 м/с, 2 – ближче до осі обертання потоку швидкість 7 м/с, 3 – по осі обертання швидкість близька до 0 м/с. Пройшовши половину висоти патрубку швидкість газового потоку вирівнюється і складає 7 м/с біля

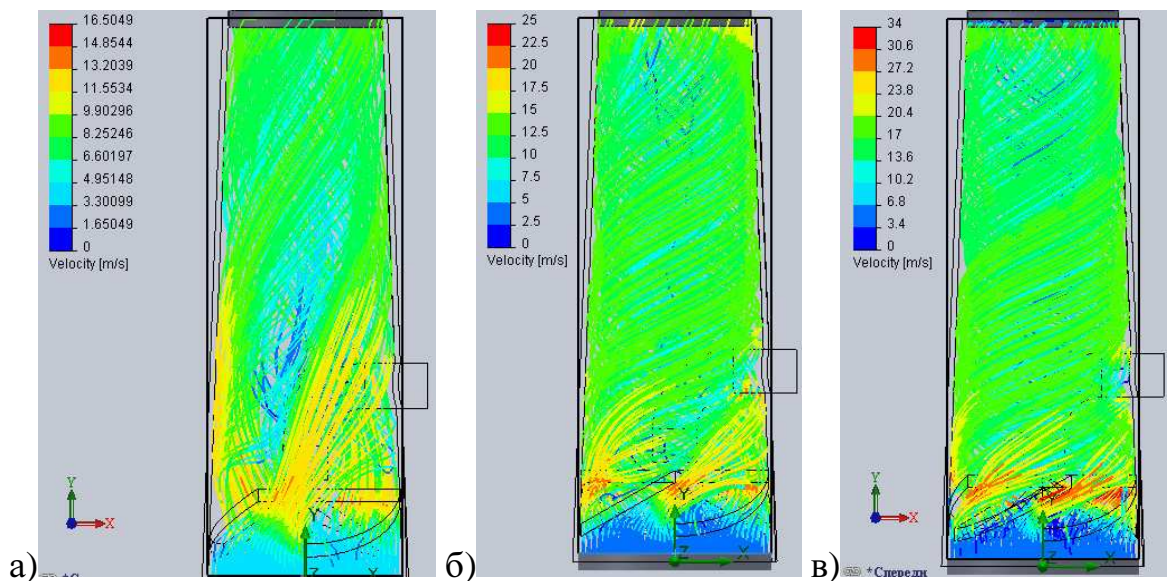


Рисунок 2.2 – Візуалізація полів швидкостей в кінці контактному елементі з завихрювачем, що складається з:

а - 3 елементів; б - 4 елементів; в - 5 елементів

периферії і 5 м/с на осі обертання потоку. Завихрювання по всій висоті патрубку незначні. На рис. 2.2 б) зображений розподіл швидкостей в кінці масообмінно-сепараційному елементі з 4 елементами. Максимальна швидкість газового потоку 25 м/с при проходженні завихрювача, далі газовий потік розбивається на 3 шари в радіальному напрямі: 1 - швидкість частини газового потоку біля периферії 15 м/с, 2 – ближче до осі обертання потоку швидкість 8 м/с, 3 – по осі обертання швидкість близька до

0 м/с. Пройшовши третину висоти патрубку швидкість частини газового потоку у периферії зменшується і складає 11 м/с, інші 2 шари газового потоку практично не змінюють значення швидкості. Завихрювання по всій висоті патрубку більш виражені, ніж із завихрювачем, що складається з 3 елементів. На рис. 2.2 в) зображений розподіл швидкостей в кінці масообмінно-сепараційному елементі із завихрювачем, що складається з 5 частин. Максимальна швидкість газового потоку 34 м/с при проходженні завихрювача, далі газовий потік розбивається на 3 шари в радіальному напрямі: 1 - швидкість частини газового потоку біля периферії 20-25 м/с, 2 – ближче до осі обертання потоку швидкість 12 м/с, 3 – по осі обертання швидкість 3 м/с. Пройшовши чверть висоти патрубку швидкість частини газового потоку у периферії зменшується і складає 15 м/с, інші 2 шари газового потоку практично не змінюють значення швидкості. Завихрювання по всій висоті патрубку інтенсивні.

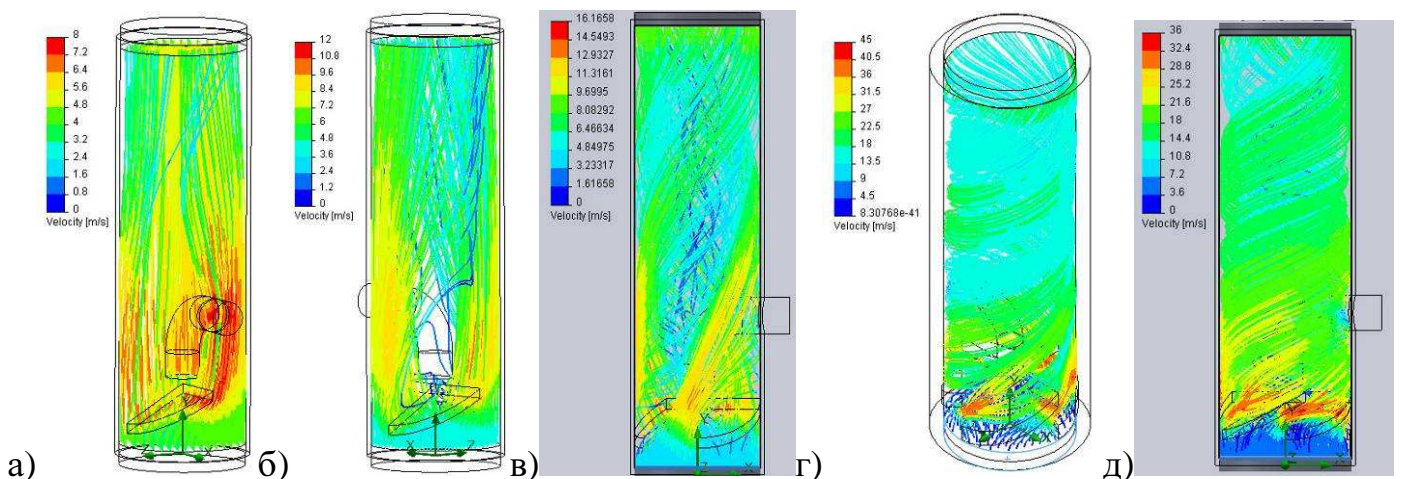


Рисунок 2.3 – Візуалізація полів швидкостей в циліндричному контактному елементі з завихрювачем, що складається з:

а - 1 елементу; б - 2 елементів; в - 3 елементів; г - 4 елементів; д - 5 елементів

На рис. 2.3 а) зображений розподіл швидкостей в циліндричному контактному патрубку з 1 елементом, що завихрює. Завихрювань потоку не спостерігається, максимальна швидкість 8 м/с. На рис. 2.3 б) зображений розподіл швидкостей в циліндричному контактному патрубку з 2 елементами, що завихрюють. Завихрювання потоків дуже незначні, максимальна швидкість 10 м/с. На рис. 2.3 в) зображений розподіл швидкостей в циліндричному контактному патрубку з 3 елементами, що завихрюють. Максимальна швидкість газового потоку 16 м/с при проходженні завихрювача, далі газовий потік розбивається на 4 шари в радіальному

напрямі: 1 - швидкість частини газового потоку біля периферії 11 м/с, 2 – ближче до осі обертання потоку швидкість 8 м/с, 3 – далі 5 м/с, 4 - по осі обертання швидкість близька до 0 м/с. Пройшовши половину висоти патрубку швидкість частини газового потоку біля периферії зменшується і складає 8 м/с, біля осі потоку – швидкість залишається близькою до 0 м/с. Завихрювання по всій висоті патрубку незначні. На рис. 2.3 г) зображений розподіл швидкостей в циліндричному контактному патрубку з 4 елементами. Максимальна швидкість газового потоку 45 м/с при проходженні завихрювача, далі швидкість частини газового потоку біля периферії складає близько 30 м/с, ближче до осі обертання потоку швидкість 22 м/с. Пройшовши третину висоти патрубку швидкість газового потоку стабілізується і складає 14-20 м/с. Завихрювання по всій висоті патрубку більш виражені, ніж із завихрювачем, що складається з 3 елементів. На рис. 2.3 д) зображений розподіл швидкостей в циліндричному контактному патрубку з 5 елементами. Максимальна швидкість газового потоку 36 м/с спостерігається при проходженні завихрювача, що складається з 5 елементів, далі швидкість газового потоку біля периферії складає 22 м/с, а ближче до осі обертання потоку швидкість 18 м/с. Пройшовши трохи більше третини висоти патрубку швидкість частини газового потоку біля периферії зменшується до 18 м/с, по осі обертання потоку швидкість складає близько 10 м/с. Завихрювання по всій висоті патрубку інтенсивні.

Зміна швидкості в циліндричному контактному патрубку масообмінно-сепараційного елементу прямоточно-відцентрового типу

На рис. 2.4 представлена візуалізація зміни швидкості в контактному патрубку масообмінно-сепараційного елементу прямоточно-відцентрового типу: а) задається початкова швидкість газового потоку - 4 м/с (дані з експерименту на фізичній моделі); б) при досягненні потоком нижньої частини завихрювача (який складається з 4 елементів, розташованих під кутом 30 градусів до горизонтальної площини) швидкість газу зростає приблизно до 18 м/с в результаті зменшення прохідного перетину; в) подальше зменшення прохідного перетину і, як результат, збільшення швидкості до 28-35 м/с; г) у місцях, де відбувається зміна напрямку руху потоку газу (мінімальний прохідний перетин), швидкість зростає до максимального значення - 45 м/с, відбувається завихрювання частини газового потоку;

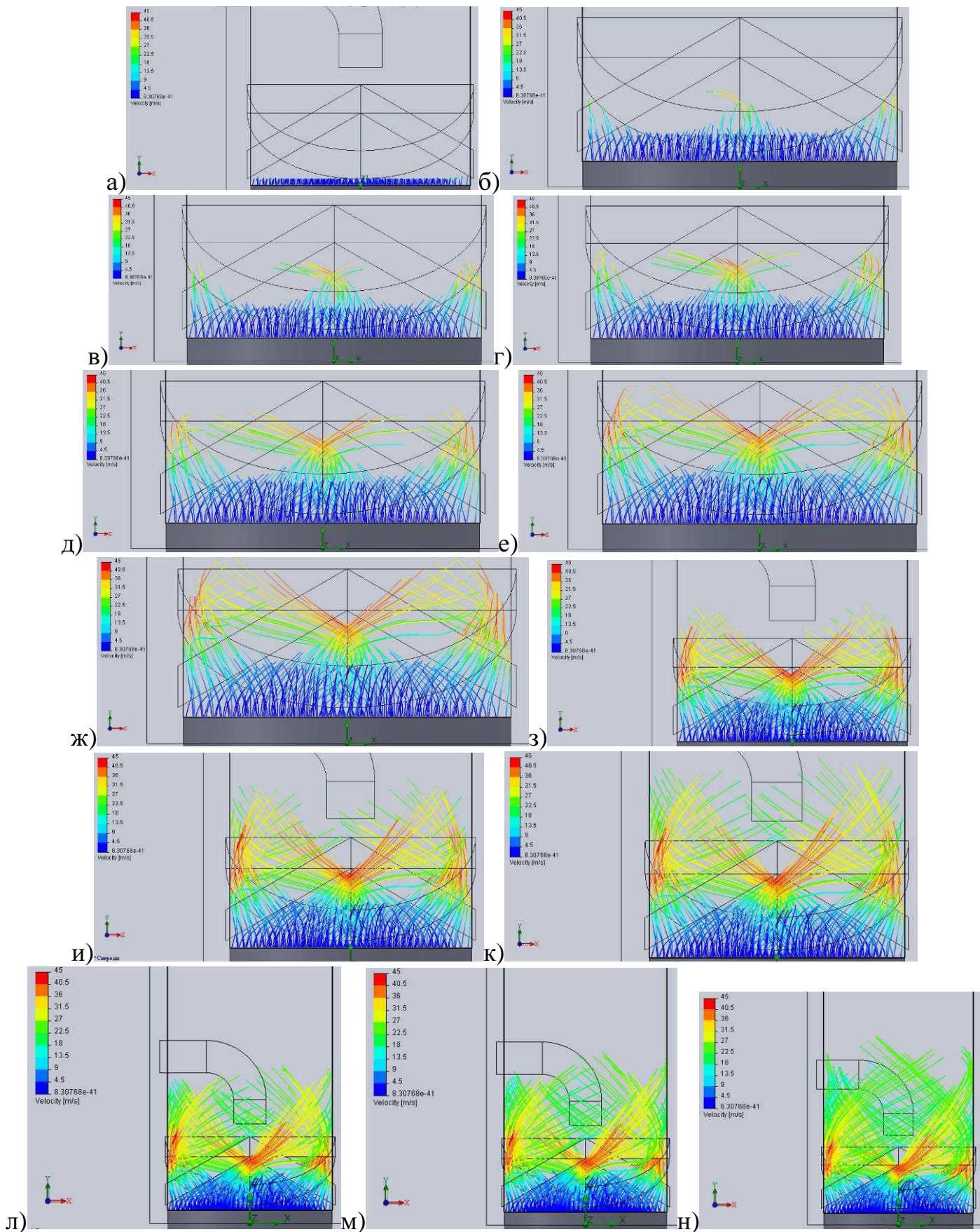


Рисунок 2.4 – Візуалізація зміни швидкості в контактному патрубку масообмінно-сепараційного елемента прямоточно-відцентрового типу

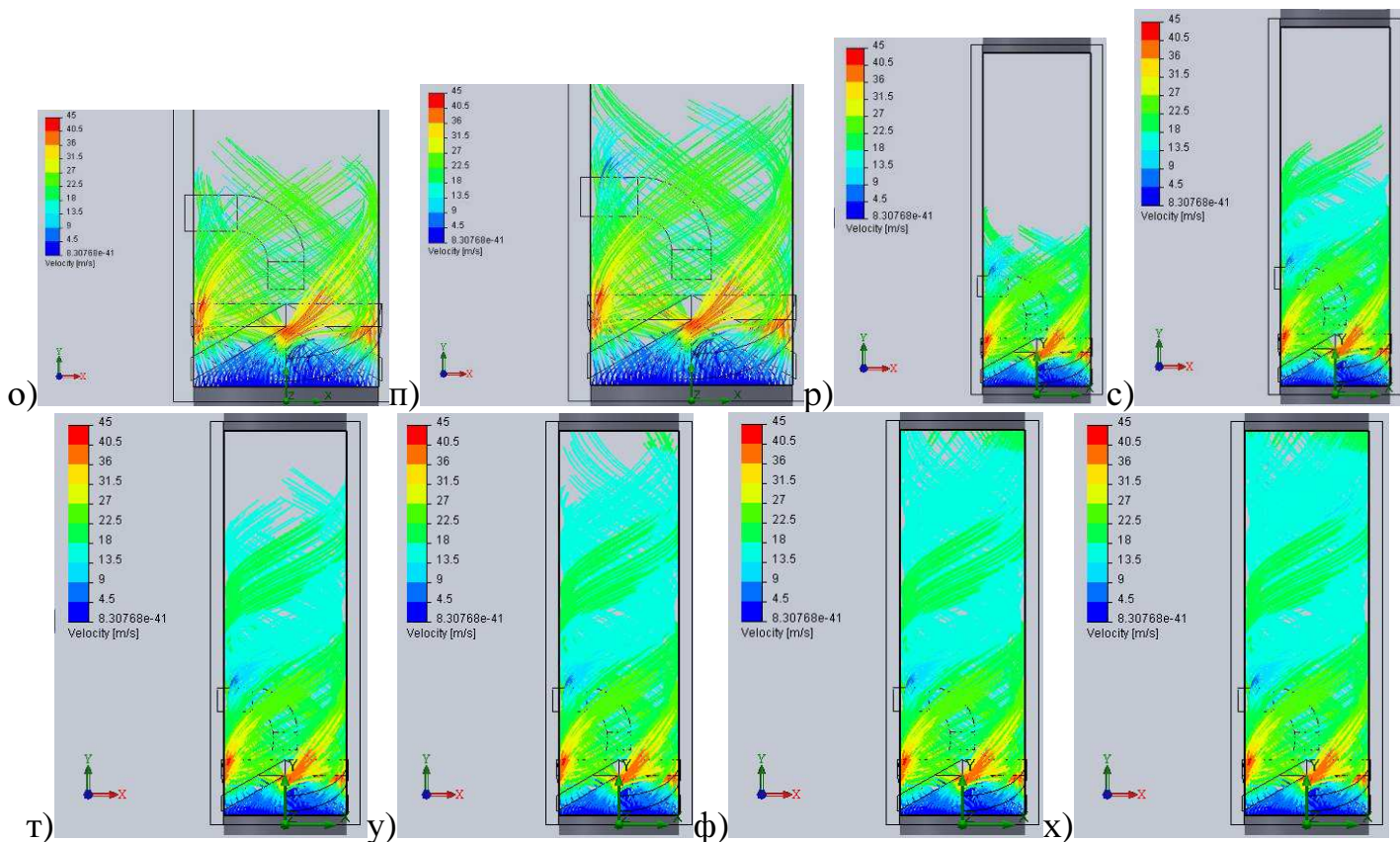


Рисунок 2.4 – Візуалізація зміни швидкості в контактному патрубку масообмінно-сепараційного елемента прямоточно-відцентрового типу (продовження)

д) потік газу набуває обертальний рух, швидкість зменшується до 36 м/с в результаті збільшення прохідного перетину; е) подальше зменшення швидкості до 30 м/с; ж) потік газу проходить завихрювач і, зберігаючи обертальний рух, рухається зі швидкістю 30 м/с; з) – к) подальше зниження швидкості до 23-27 м/с; л) – н) частина потоку, яка проходить біля трубки, через яку в масообмінно-сепараційний елемент подається рідина, рухається зі швидкістю 13 м/с, решта частини потоку зберігає швидкість 23-27 м/с; о) частина потоку, що пройшла поблизу трубки для подачі рідини в масообмінно-сепараційний елемент, рухається зі швидкістю близько 5 м/с, основна частина потоку рухається зі швидкістю 15-18 м/с; п) швидкість всього потоку вирівнюється і складає 12-18 м/с; р) – х) потік рівномірно обертається і рухається з однаковою по висоті циліндричного патрубка швидкістю 12-18 м/с.

Комп'ютерне моделювання гідродинаміки тарілок з масообмінно-сепараційними елементами прямоточно-відцентрового типу

Максимальна швидкість газового потоку (30 м/с) спостерігається при проходженні газом завихрювачів контактних елементів, у разі реального газорідинного потоку в області над завихрювачем проходить інтенсивний

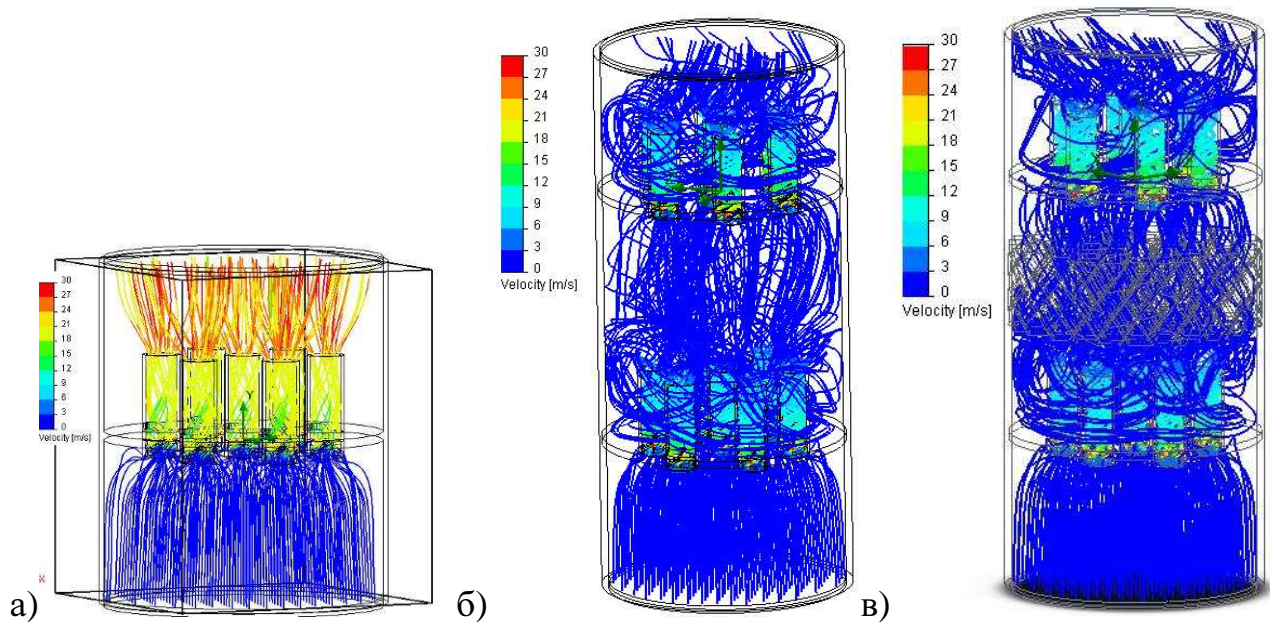


Рисунок 2.5 – Візуалізація зміни швидкості

а) на тарілці з прямоточно-відцентровими елементами; б) між тарілками з прямоточно-відцентровими елементами; у) між тарілками з прямоточно-відцентровими елементами у разі розміщення між тарілками шару структурованої насадки

масообмін, далі в патрубках контактних елементів швидкість знижується до 10-15 м/с, де в реальних умовах відбувається сепарація газорідного потоку: плівка рідини відкидається до внутрішньої стінки патрубку, а газ виходить через центральний отвір патрубку. На виході з контактного елемента швидкість потоку знижується до 2-5 м/с, розподіл газового потоку по перетину колони нерівномірний (цей ефект усувається у разі розміщення між тарілками шару структурованої насадки, в реальних умовах структурована насадка є додатковою поверхнею масообміну і її розміщення між тарілками значно зменшує бризкоунесення). Вхід газового потоку в контактні елементи вищерозташованої тарілки відбувається нерівномірно на рис. 2.5 б) і більш рівномірно на рис. 2.5 в).

1.2 Експеримент на фізичній моделі

Для проведення експерименту була створена експериментальна установка, фотографія (а) та 3D модель (б) якої представлені на рис. 2.6. Головна частина установки – масообмінна тарілка з прямоточно-відцентровими елементами, фотографія якої представлена на рис. 2.7.



Рисунок 2.6 – Фотографія та 3D модель експериментального стану



Рисунок 2.7 – Фотографія тарілки з прямотно-відцентровими елементами

В ході проведення експерименту спостерігалось 4 гідродинамічних режими протікання процесу масообміну:

1. Режим 1 (рис. 2.8), при якому об'єм рідини, яка поступає в центральну частину масообмінного елемента з полотна тарілки через трубку, частково (у малому ступені) диспергується потоком газу (оскільки витрата газу незначна), а основний об'єм рідини зливається по внутрішній стінці контактної трубки масообмінного елемента. Потік газу, у свою чергу, проходить через центральну частину контактної трубки масообмінного елемента. Для даного режиму характерне

утворення поодиноких бульбашок газу великого розміру в шарі рідини. Таким чином, площа зіткнення фаз не розвинена, отже, масообмін проходить неінтенсивно.

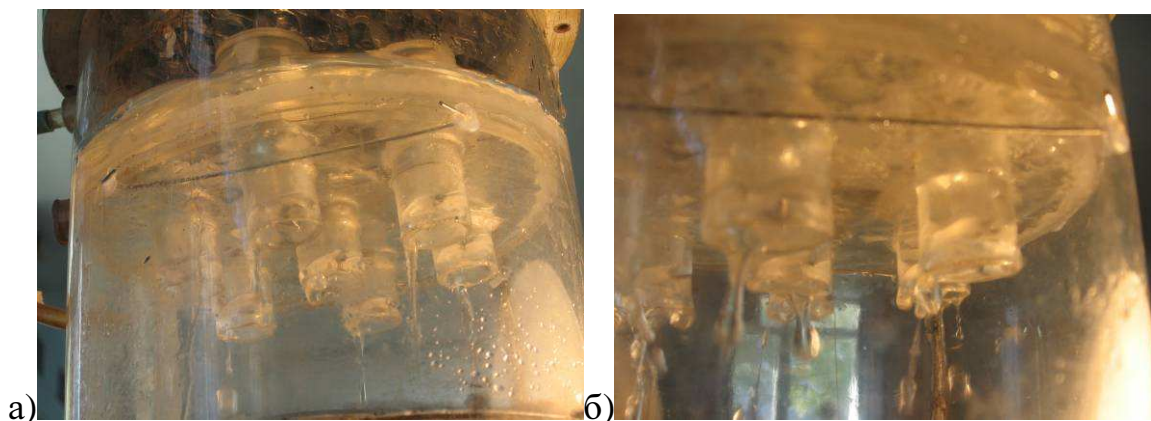


Рисунок 2.8 – Фотографії гідродинамічного режиму 1

Витрата рідини: $0,000005-0,000006 \text{ м}^3/\text{с}$; витрата газу: $0,0060-0,0063 \text{ м}^3/\text{с}$. Гідравлічний опір тарілки складає 20-40 Па. На графіку (рис. 3.1) цей режим характеризує пряма 1-2.

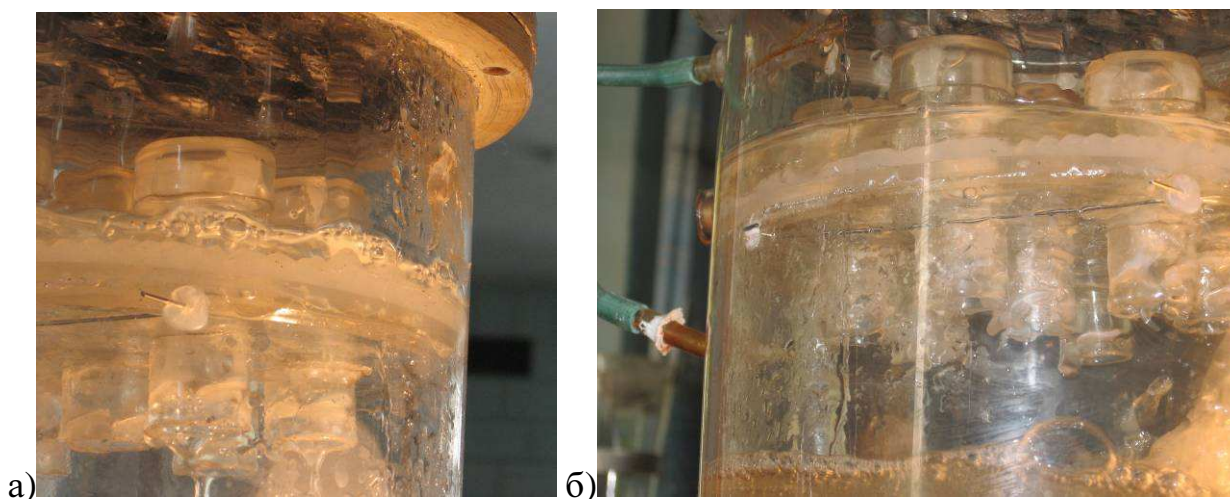


Рисунок 2.9 – Фотографії гідродинамічного режиму 2

2. Режим 2 (рис. 2.9), при якому об'єм рідини, яка поступає в центральну частину масообмінного елемента з полотна тарілки через трубку, в значній мірі (в порівнянні з попереднім режимом) диспергується потоком газу, але частково рідина ще зливається по внутрішній стінці контактної трубки масообмінного елемента у вигляді крапель. Потік газу, у свою чергу, проходить через шар рідини з інтенсивнішим (в порівнянні з попереднім режимом) вихроутворенням і утворенням бульбашок газу і піни. Таким чином, площа зіткнення фаз більш розвинена, отже, масообмін проходить інтенсивніше, ніж в попередньому режимі. Цей режим передреує оптимальному режиму масообміну в прямоточно-відцентровому елементі. Витрата

рідини: $0,000008-0,000009 \text{ м}^3/\text{с}$; витрата газу: $0,00615-0,00695 \text{ м}^3/\text{с}$. Гідравлічний опір тарілки складає $40-280 \text{ Па}$. На графіку (рис. 3.1) цей режим характеризує пряма 2-3.

3. Оптимальний режим (рис. 2.10), при якому об'єм рідини, яка поступає в центральну частину масообмінного елементу з полотна тарілки через трубку повністю диспергується потоком газу, злив рідини по внутрішній стінці контактної трубки масообмінного елементу відсутній. Потік газу проходить через шар рідини з максимально інтенсивним вихроутворенням і утворенням дрібнодисперсних бульбашок газу і піни. Таким чином, площа зіткнення фаз найбільш розвинена, отже, масообмін проходить з максимальною інтенсивністю. Витрата рідини: $0,0000020-0,0000029 \text{ м}^3/\text{с}$; витрата газу: $0,0076-0,0077 \text{ м}^3/\text{с}$. Гідравлічний опір тарілки складає $300-450 \text{ Па}$. На графіку (рис. 3.1) цей режим характеризує пряма 3-4.

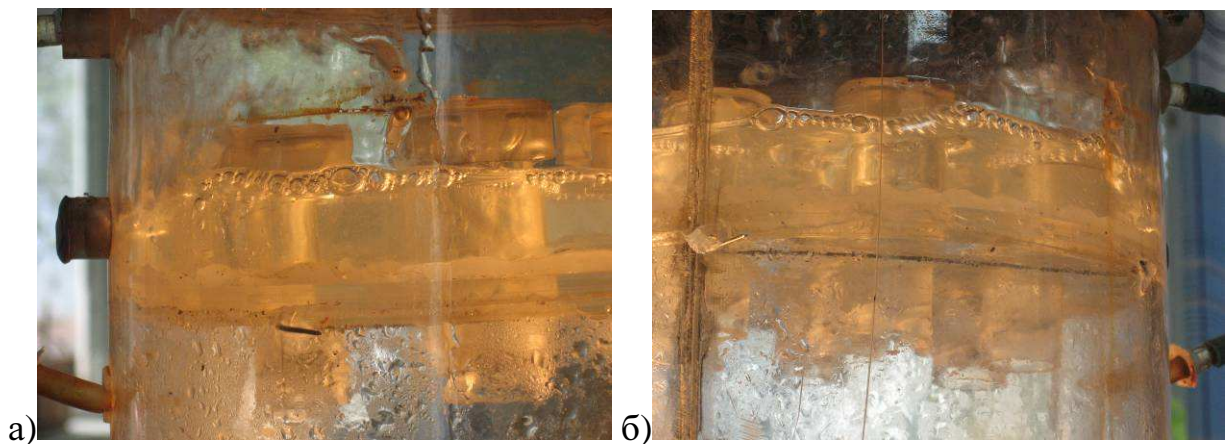


Рисунок 2.10 – Фотографії оптимального гідродинамічного режиму

4. Режим унесення (рис. 2.11), при якому об'єм рідини, яка поступає в центральну частину масообмінного елементу з полотна тарілки через трубку диспергується у меншій мірі, ніж при оптимальному режимі, оскільки газ проходить через шар рідини у вигляді цівок. Плівка рідини, яка відкидається відцентровими силами до внутрішньої стінки контактної трубки масообмінного елементу в результаті завихрювань потоку, захоплюється потоком газу і частково потрапляє в плівкоз'ємник разом з газовим потоком, але більша частина плівки рухається з потоком газу на вищерозташовану тарілку через центральний верхній отвір контактної трубки масообмінного елементу, не потрапляючи в плівкоз'ємник, тобто для даного режиму характерне підвищене бризкоунесення. Таким чином, площа зіткнення фаз менш розвинена, отже, масообмін проходить не з максимальною інтенсивністю. Витрата рідини: $0,0000039-0,0000049 \text{ м}^3/\text{с}$; витрата газу: $0,0075-$

0,0078 м³/с. Гідравлічний опір тарілки складає 480-510 Па. На графіку (рис. 3.1) цей режим характеризує пряма 4-5.

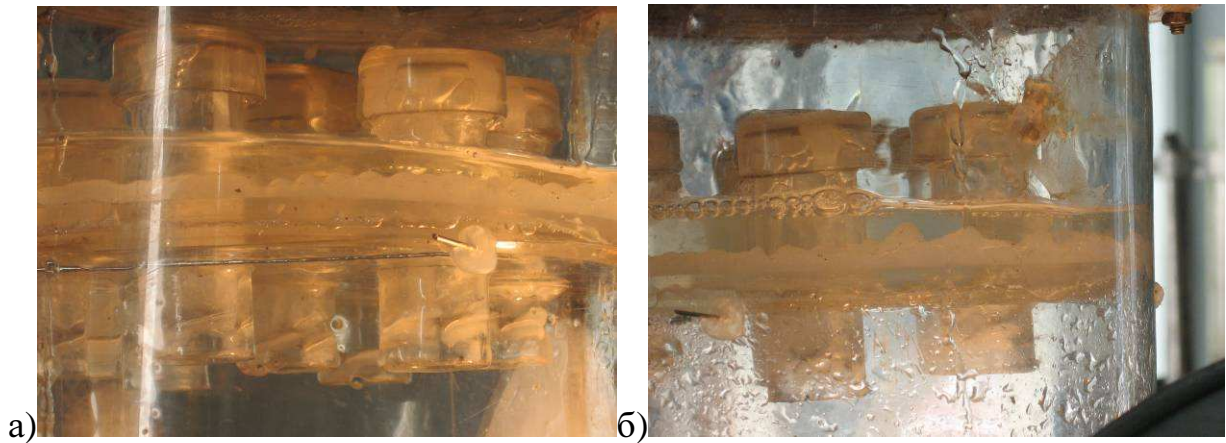


Рисунок 2.11 – Фотографії гідродинамічного режиму унесення

2.4 Висновки до другого розділу

Проведено комп'ютерне і фізичне моделювання гідродинаміки вихрових і високотурбулізованих потоків. В результаті комп'ютерного моделювання отримана візуалізація розподілу швидкостей газового потоку в контактному масообмінно-сепараційному елементі в залежності від конструктивних особливостей, на тарілці з контактними елементами прямоточно-відцентрового типу, між масообмінними тарілками з прямоточно-відцентровими елементами і між масообмінними тарілками у випадку розташування між ними шару структурованої насадки. В результаті експерименту отримані співвідношення витрат рідини і газу, відповідні чотирьом виділеним гідродинамічним режимам процесу масообміну і сепарації.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ ДАНИХ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ І РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ

По результатам проведеного комп'ютерного моделювання можна зробити наступні висновки:

1. Форма контактної патрубк прямоточно-відцентрового елемента (конічна/циліндрична) не значно впливає на розподіл швидкостей газового потоку по висоті патрубк, а кількість елементів, що завихрюють газовий потік, з яких складається завихрювач, значно впливає як на величину швидкості, так і на ступінь завихрювання потоку. З отриманих даних можна зробити висновок, що максимального ступеню завихрювань і максимальної швидкості руху потоку можна досягти, використовуючи циліндричний патрубк, в нижній частині якого розташований завихрювач, що складається з 4 елементів.

Оскільки в реальних умовах в контактному елементі буде присутня двофазна газорідина система і швидкість газового потоку (отримана при моделюванні) відповідатиме швидкості потоку рідини (з незначним відхиленням), можна зробити висновок, що масообмін в зоні диспергування рідини (у зоні над завихрювачем) буде проходити інтенсивно, як і подальше розділення газорідинної суміші (сепарація), коли плівка рідини під дією відцентрових сил відкидатиметься до внутрішньої стінки патрубк, а газ виходити через центральний отвір.

2. Розміщення структурованої насадки між тарілками з контактними елементами призведе до:

- збільшення поверхні масообміну і, як наслідок, зменшення висоти колони;
- рівномірного розподілу газового потоку по перерізу колони, що обумовлює роботу кожного контактної елемента з приблизно однаковим навантаженням;
- зменшення бризкоунесення.

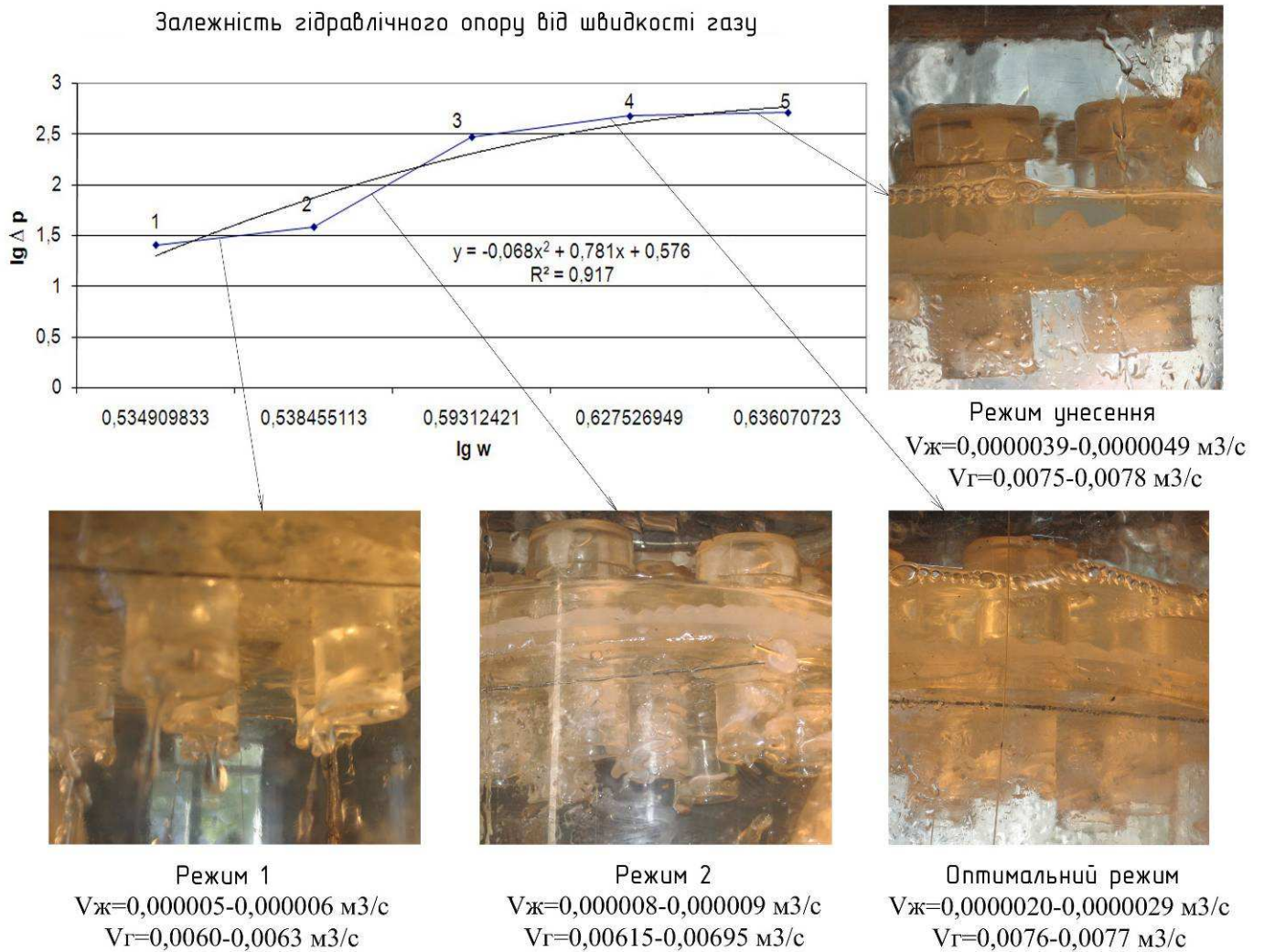


Рисунок 3.1 – Графік логарифмічної залежності гідравлічного опору від швидкості газу і фотографії гідродинамічних режимів

За результатами експерименту виділені гідродинамічні режими процесу масообміну в апараті з вихровими контактними ступенями і характерні для цих режимів витрати рідини і газу. На рис. 3.1 представлений графік логарифмічної залежності гідравлічного опору тарілки з вихровими

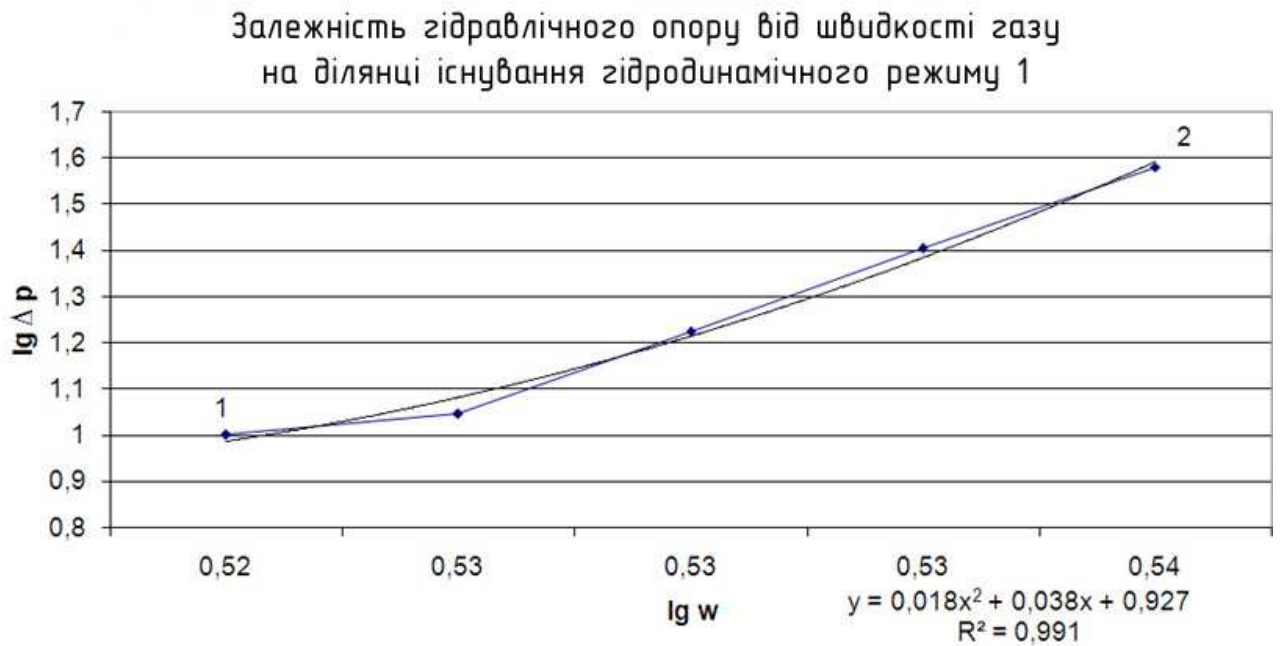


Рисунок 3.2 – Деталізований графік логарифмічної залежності гідравлічного опору від швидкості газу на ділянці існування гідродинамічного режиму 1

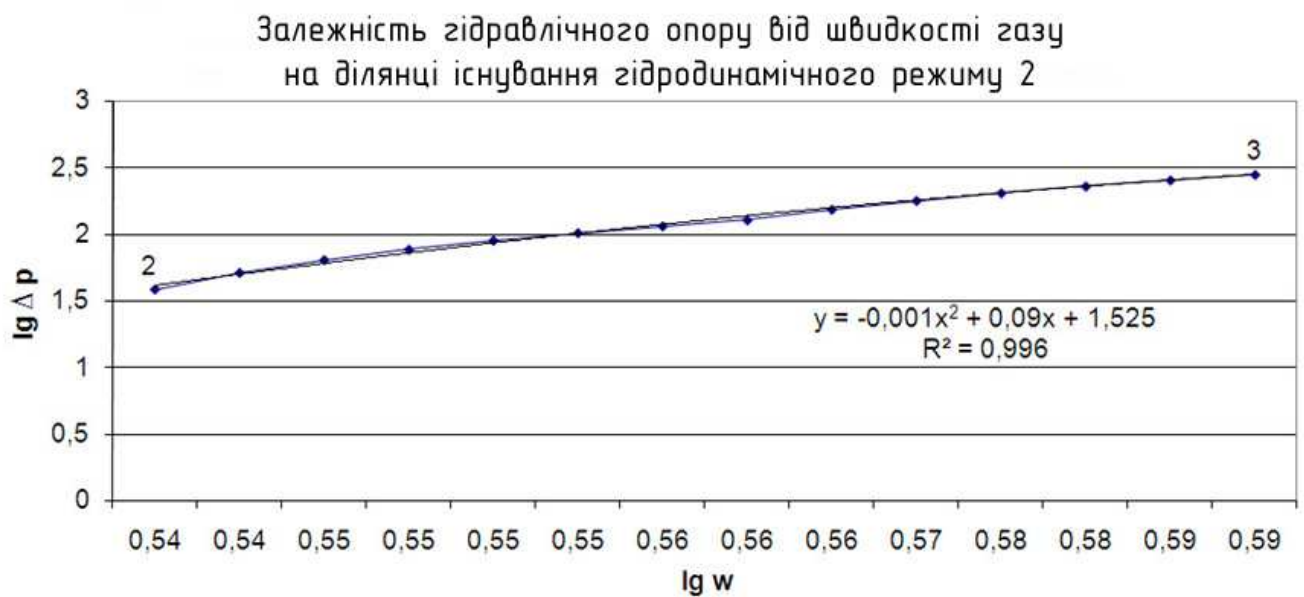


Рисунок 3.3 – Деталізований графік логарифмічної залежності гідравлічного опору від швидкості газу на ділянці існування гідродинамічного режиму 2

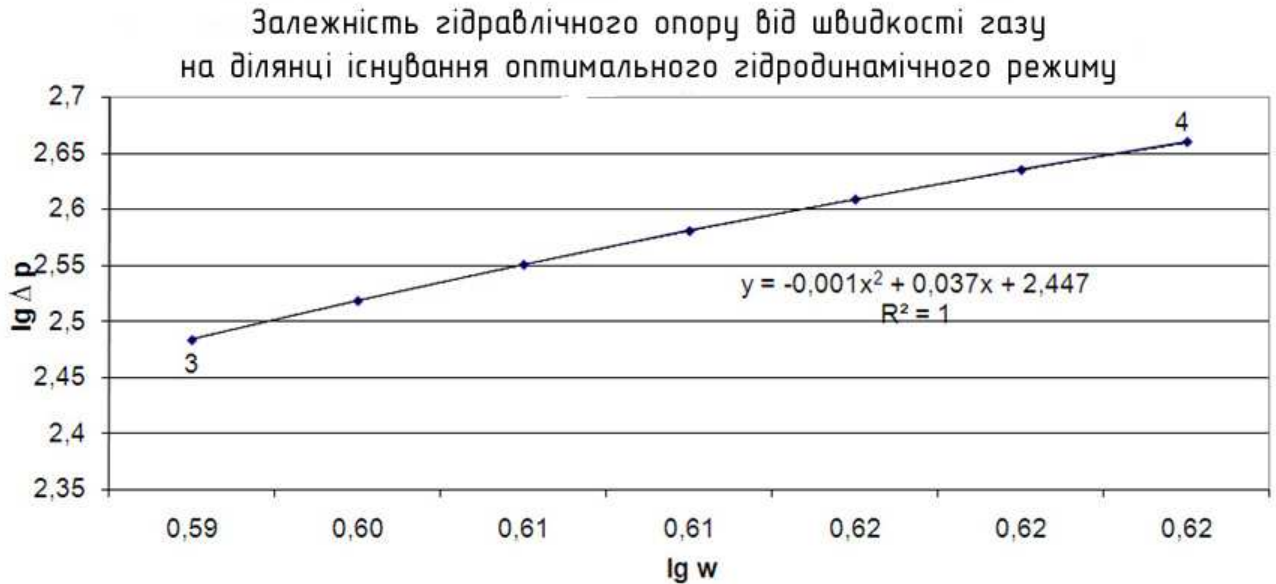


Рисунок 3.4 – Деталізований графік логарифмічної залежності гідравлічного опору від швидкості газу на ділянці існування оптимального гідродинамічного режиму

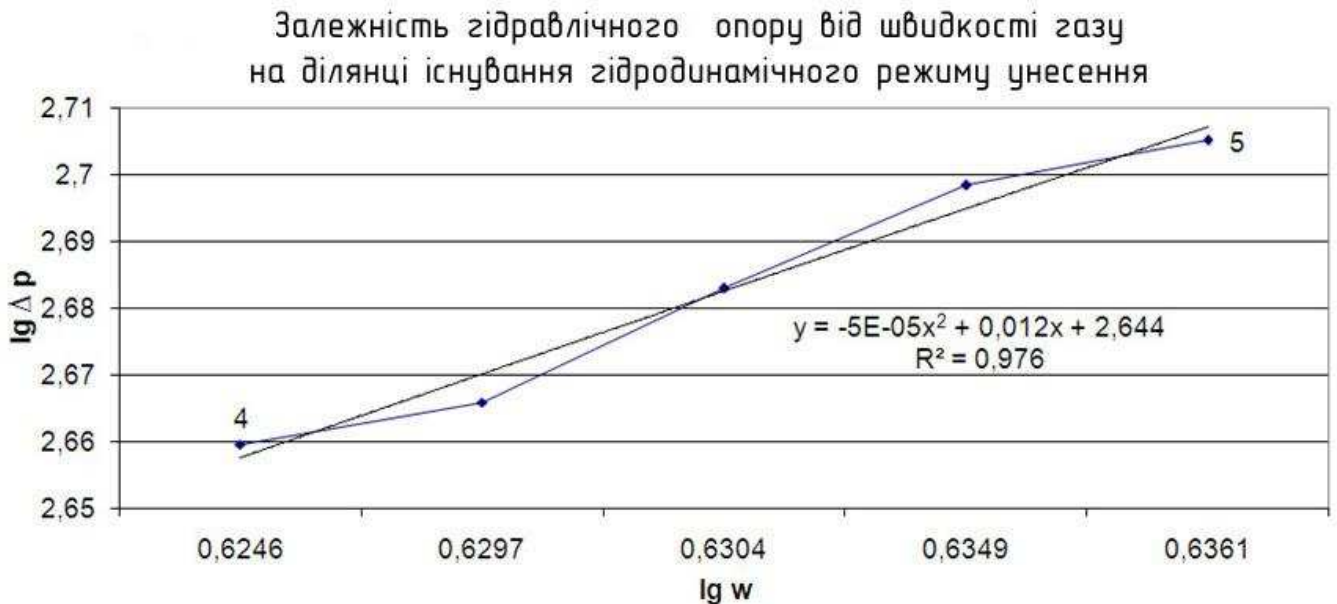


Рисунок 3.5 – Деталізований графік логарифмічної залежності гідравлічного опору від швидкості газу на ділянці існування гідродинамічного режиму унесення

контактними елементами від швидкості газу і приведені у відповідному порядку фотографії всіх гідродинамічних режимів і вказані характерні діапазони витрат рідини і газу.

На рис. 3.2–3.5 представлені деталізовані графіки логарифмічної залежності гідравлічного опору від швидкості газу для режиму 1 (рис. 3.2), режиму 2 (рис. 3.3), оптимального гідродинамічного режиму (рис. 3.4) і режиму унесення (рис. 3.5).

Графік логарифмічної залежності гідравлічного опору тарілки з масообмінно-сепараційного елементу прямоточно-відцентрового типу від швидкості газу носить зростаючий характер. При оптимальному режимі витрата рідини складає 0,0000020-0,0000029 м³/с; витрата газу - 0,0076-0,0077 м³/с. Гідравлічний опір максимального значення досягає в режимі унесення і складає 480-510 Па, при оптимальному режимі гідравлічний опір тарілки складає 300-450 Па. Для порівняння, гідравлічний опір ковпачкових тарілок $\Delta p = 700-1000$ Па [3]. Незважаючи на великі швидкості газового потоку, зменшення гідравлічного опору тарілки з прямоточно-відцентровими елементами в порівнянні з ковпачковими тарілками обумовлене тим, що шар рідини, який безпосередньо бере участь в процесі масообміну (у контактному патрубку прямоточно-відцентрового елементу в області над завихрювачем) значно менший, ніж шар рідини на ковпачковій тарілці. До того ж, застосування тарілок з прямоточно-відцентровими елементами підвищує ефективність протікання процесів масообміну і подальшої сепарації газорідинного потоку за рахунок зменшення бризкоунесення: у контактному патрубку прямоточно-відцентрового елементу у вихровому потоці газорідинної суміші під дією відцентрових сил відбувається сепарація крапель рідини, які відкидаються до периферії і на внутрішній поверхні контактної трубки створюють плівку рідини, яка підхоплюється потоком газу, рухається вгору по патрубку і відводиться на полотно тарілки через плівкоз'ємник.

На рис. 3.6 представлений графік залежності гідравлічного опору від співвідношення витрат рідини і газу. Ділянка 1-2 характеризує залежність гідравлічного опору від співвідношення витрат рідини і газу для гідродинамічного режиму 1, ділянка 2-3 характеризує режим 2, ділянка 3-4 відповідає оптимальному режиму і ділянка 4-5 характеризує режим унесення.

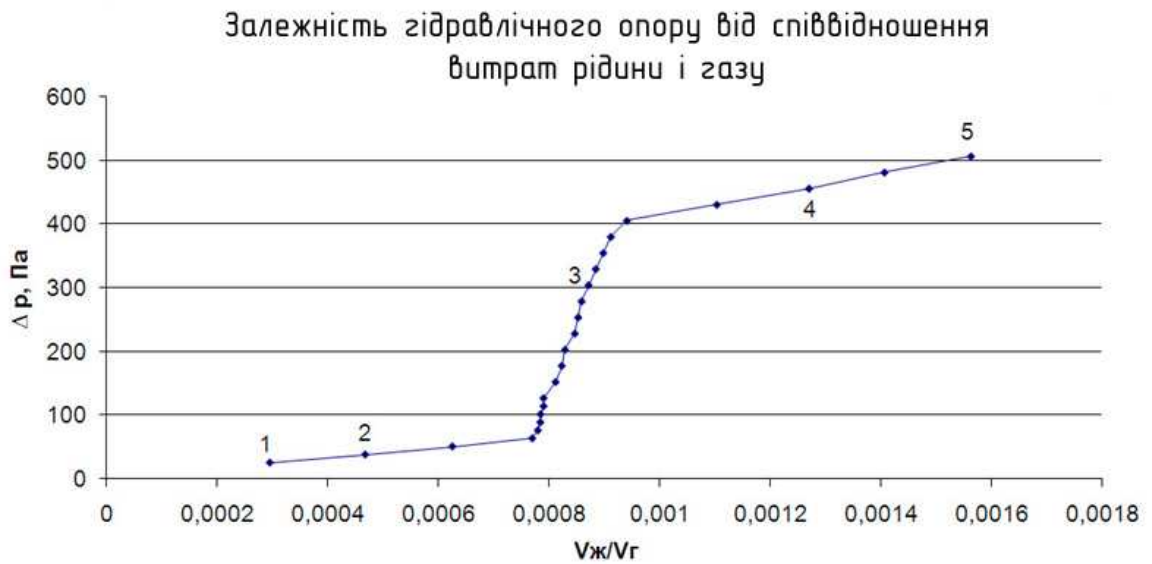


Рисунок 3.6 – Графік залежності гідравлічного опору від співвідношення витрат рідини і газу

3.1 Практичні рекомендації щодо вибору конструкцій масообмінно-сепараційних елементів секцій абсорбера

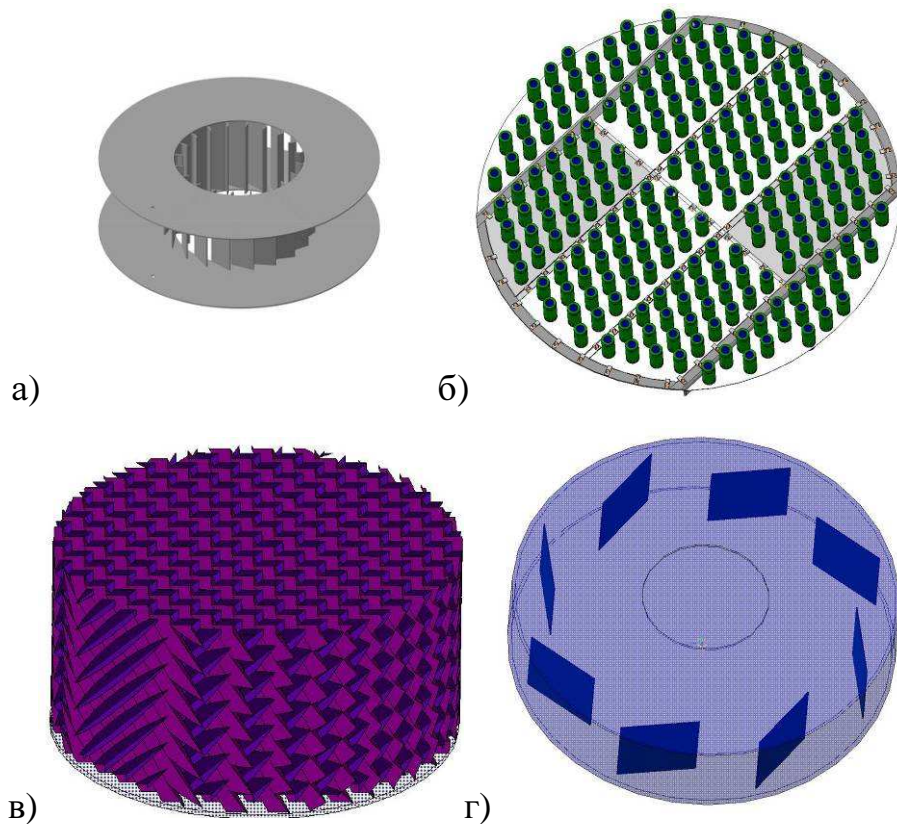


Рисунок 3.7 – Рекомендовані конструкції масообмінно-сепараційних елементів для секцій абсорбера

а - відцентрово-інерційний краплевідбійник; б - масообмінна тарілка з прямоточно-відцентровими елементами; в - регулярна насаддка; г - рідинно-кільцевий сепаратор

На підставі сумісного аналізу даних комп'ютерного моделювання і результатів експерименту можна запропонувати конструкцію абсорбера, який працює із застосуванням принципів вихрових високотурбулізованих потоків, що дозволяють здійснювати осушення і очищення природного газу в одному апараті, а це дозволить збільшити ефективність і продуктивність апарату при зменшенні габаритних розмірів і металоємності.

За результатами аналізу існуючих конструкцій для секції попередньої сепарації абсорбера доцільно застосувати відцентрово-інерційний краплевідбійник з тангенціальним вводом газу (рис. 3.7 а), який ефективно відокремлює від газу крупні краплі рідини і механічні домішки. Вибір даного елемента обумовлений рядом переваг: висока ефективність очищення від рідини у великому інтервалі зміни продуктивності і тиску; простота конструкції і експлуатації; ці елементи нескладно виготовляти і замінювати.

За результатами літературного огляду і аналізу конструкцій вихрових контактних пристроїв, які доцільно застосувати для секції масообміну в абсорбері, виявлені недоліки існуючих конструкцій: підвищений рівень бризкоунесення між тарілками з масообмінно-сепараційними елементами, нерівномірний розподіл рідини між контактними елементами, яка зливається з вищерозташованої тарілки, а також неможливість досягнення високої ефективності роботи контактного елемента за рахунок перехресного руху фаз, які контактують, що призводить до нерівномірності рушійної сили на полотні тарілки.

За результатами проведення експерименту та комп'ютерного моделювання стає можливим запропонувати удосконалення конструкції та створення нової організації руху потоків в межах контактного вихрового пристрою на основі існуючої конструкції (Патент РФ №2094073, БИ №30, 1997р.) шляхом організації направленою зливу рідини, яка пройшла масообмін і сепарацію, з контактного елемента через плівкоз'ємник на розташовану нижче тарілку (рис. 3.9), що виключає нерівномірність розподілу рушійної сили на полотні тарілки в результаті перехресного руху фаз, які контактують, також значно знижується рівень бризкоунесення між тарілками з масообмінно-сепараційними елементами за рахунок того, що краплі понесеної з газовим потоком рідини стикаються з краплями рідини,

які стікають з вищерозташованої тарілки, зливаються (коагулюють) в краплі більшого розміру і під дією сили тяжіння протитоком газовому потоку стікають на розташовану нижче тарілку, що, у свою чергу, забезпечує рівномірний розподіл рідини між контактними елементами на наступному розташованому нижче ступені контакту.

Конструктивно поставлене завдання вирішується таким чином: у відомому пристрої (Патент РФ №2094073, БИ №30, 1997р.), який складається з патрубка, завихрювача в нижній частині патрубка і плівкоз'ємника у верхній частині патрубка, патрубок оснащений трубкою для подачі рідини, яка розміщена над завихрювачем, плівкоз'ємник із зовнішнього боку патрубка подовжується до полотна тарілки, в якому в зазорі між патрубком і плівкоз'ємником виконані сегментні отвори для зливу рідини (рис. 3.8).

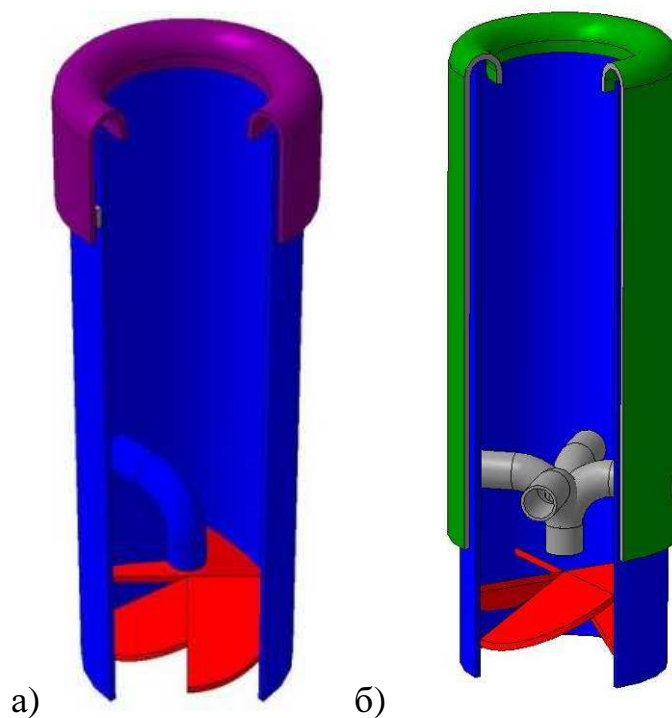


Рисунок 3.8 – Прямотно-відцентровий елемент
а – існуюча конструкція; б – вдосконалена конструкція

Таким чином, для секції абсорбції найбільш ефективними є масообмінні тарілки з прямоотно-відцентровими елементами (рис. 3.7 б), використання яких дозволяє зменшити кількість контактних елементів, а тим самим висоту апарату, що, у свою чергу, дозволяє знизити металоємність устаткування. Крім того, підвищується

ефективність і продуктивність масообміну за рахунок зниження вторинного бризкоунесення.

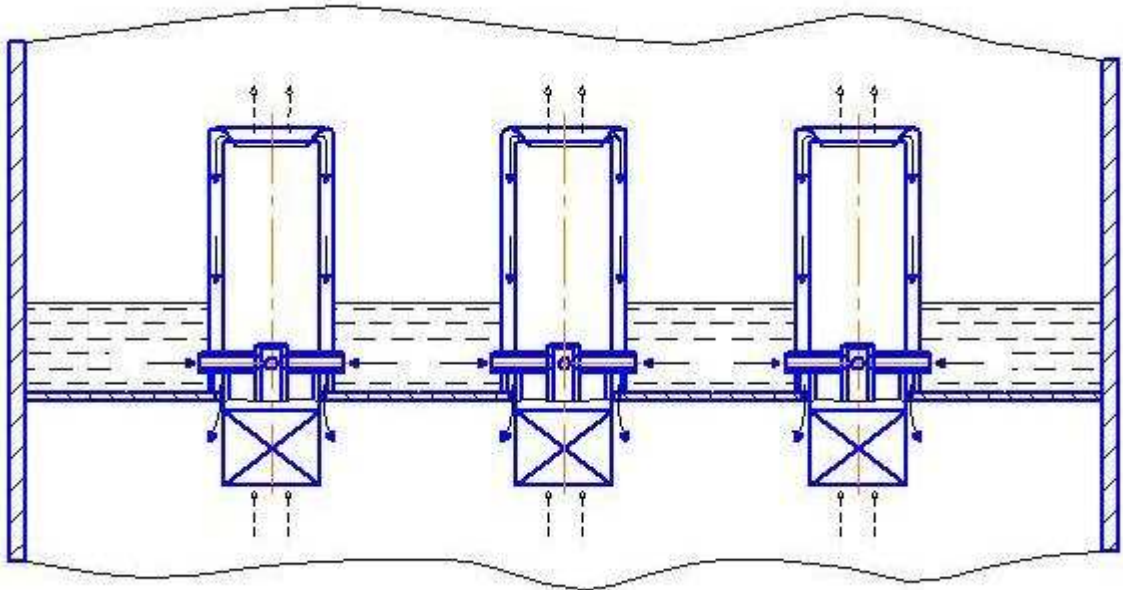


Рисунок 3.9 – Схема руху потоків на масообмінній тарілці з прямоточно-відцентровими елементами удосконаленої конструкції

Для створення додаткової поверхні контакту фаз (з метою зменшення висоти апарату), для запобігання бризкоунесення абсорбенту і рівномірного розподілу потоку газу між масообмінними тарілками потрібно встановити шари регулярної насадки (рис. 3.7 в) або замінити декілька тарілок на шари регулярної насадки. В результаті - загальна висота насадки буде меншою за загальну висоту тарілок, котрі були замінені. Одна теоретична тарілка замінюється насадкою, висота одиниці переносу якої еквівалентна одній теоретичній тарілці. Методом послідовних наближень визначається кількість тарілок, які необхідно замінити на шари насадки і рівномірно розподілити ці шари між тарілками з умовою, щоб при такій заміні не відбувалося зміщення оптимального режиму протікання процесу.

Для секції остаточного очищення газу від понесеного абсорбенту (наприклад, гліколя) можна застосувати рідинно-кільцевий сепаратор (рис. 3.7 г), процес розділення в якому відбуватиметься за рахунок енергії закрученого газового потоку. З масообмінної тарілки з вихровими контактними елементами газорідинний потік виходить вже закрученим, тому залишається тільки направити його в робочу зону рідинно-кільцевого сепаратора, де і відбуватиметься сепарація газового потоку і

дрібнодисперсних крапель понесеного з газовим потоком абсорбенту. Таким чином, значно зменшуються енерговитрати на остаточне очищення газу від дрібнодисперсних крапель абсорбенту за рахунок використання енергії закрученого газового потоку.

3.2 Основні етапи методики інженерного розрахунку процесу очищення природного газу і геометричних характеристик абсорбера

1. Задання початкових даних та вибір технологічних параметрів проведення процесу масообміну (співвідношення газової і рідкої фаз вибирається на підставі результатів експеримента).

2. Матеріальний баланс абсорбера.

3. Тепловий баланс абсорбера.

4. Конструктивний розрахунок абсорбера:

4.1 Розрахунок діаметра абсорбера.

4.2 Розрахунок висоти абсорбера (залежить від висоти масообмінної тарілки з прямоточно-відцентровими елементами та кількості і висоти шарів структурованої насадки, що визначені за результатами комп'ютерного моделювання).

4.3 Розрахунок діаметрів штуцерів.

5. Розрахунок гідравлічного опору апарату (однією із складових загального опору є опір тарілок з прямоточно-відцентровими елементами, визначений в результаті експерименту).

3.3 Висновки до третього розділу

Порівняльний аналіз комп'ютерних і експериментальних досліджень показав, що загальна картина руху газового потоку в контактному патрубку масообмінного елементу і між масообмінними тарілками з прямоточно-відцентровими елементами (без насадки і у разі розташування шару структурованої насадки між тарілками) відповідає полям розподілу швидкостей газового потоку, отриманих за допомогою програмного продукту COSMOS FlowWorks 2010, для контактного патрубка

масообмінного елемента і масообмінної тарілки з прямоточно-відцентровими елементами, які були досліджені експериментально.

Отримані результати підтверджують можливість застосування для секції масообміну абсорбера вихрових контактних елементів, що складаються з циліндричного контактного патрубку, завихрювача в нижній частині патрубку, що складається з чотирьох елементів, розташованих під кутом 30 градусів до горизонтальної площини, і плівкоз'ємника у верхній частині патрубку, який із зовнішнього боку патрубку подовжений до полотна тарілки, в якому в зазорі між патрубком і плівкоз'ємником виконані сегментні отвори для зливу рідини, також патрубок оснащений трубкою для подачі рідини, яка розміщена над завихрювачем (рис. 3.8). Форма контактного патрубку і конструкція завихрювача прямоточно-відцентрового елемента вибрані на підставі комп'ютерного моделювання, візуалізація результатів яких представлена на рис. 2.2 і 2.3.

Рішення замінити декілька масообмінних тарілок на шари регулярної насадки обґрунтовано результатами комп'ютерного моделювання, візуалізація результатів якого представлена на рис. 2.5.

Технологічні параметри роботи абсорбера (витрата рідини, витрата газу, швидкість газу в контактному патрубку масообмінного елемента), що відповідають виділеним чотирьом гідродинамічним режимам роботи апарата, прийняті на підставі сумісного аналізу результатів експерименту на фізичній моделі і комп'ютерного моделювання (розділ 2).

Таким чином, співставлення результатів комп'ютерного моделювання і експерименту дає задовільні результати. Як видно з ілюстрацій полів швидкостей газового потоку в масообмінних елементах, швидкість газового потоку досягає 30 м/с, що більше, ніж при проходженні газу через ковпачкові тарілки, наприклад. Але використання саме вихрових потоків дозволяє проводити ефективно процес масообміну і сепарації при значному зменшенні габаритних розмірів колонного апарату.

Також аналіз результатів експериментальних досліджень і комп'ютерного моделювання дозволяє корегувати технологію проведення процесу в апаратах з елементами прямоточно-відцентрового типу на підставі отриманих даних по

функціонуванню контактних елементів і апарату, обладнаного набором контактних ступенів, при зміні технологічних (режимних) і конструктивних параметрів здійснення процесів на стадії проектування.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На підставі літературного огляду і аналізу конструкцій вихрових контактних ступенів і апаратів з вихровими потоками виявлені недоліки існуючих конструкцій, визначені напрями оптимізації і обґрунтована можливість застосування вихрових контактних елементів з метою підвищення ефективності і продуктивності та зменшення габаритних розмірів абсорбера для осушення і очищення природного газу.

2. За допомогою комп'ютерного моделювання досліджено вплив конструктивних і технологічних параметрів вихрових контактних елементів на ефективність протікання в них процесів масообміну і сепарації.

3. Експериментальним шляхом виділені гідродинамічні режими процесу масообміну у вихрових контактних елементах і визначені їх характерні особливості з візуалізаціями даних у вигляді фото-, відеоматеріалів і графічних залежностей.

4. Проведений порівняльний аналіз комп'ютерних і експериментальних досліджень, на підставі якого запропонована оптимальна конструкція секцій абсорбера з масообмінно-сепараційними елементами прямоточно-відцентрового типу для осушення і очищення природного газу, визначені режимні параметри роботи апарату, що відповідають чотирьом виділеним гідродинамічним режимам проведення процесу масообміну, а також запропоновані основні етапи методики інженерного розрахунку процесу осушення і очищення природного газу і геометричних характеристик абсорбера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ

1. Войнов Н.А., Кустов А.В. Ректификация смеси этанол–вода под вакуумом // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: мат. Всерос. конф. Барнаул, 2007. Кн. 3. С. 163–166.
2. Зиберт Г.К., Седых А.Д., Кашицкий Ю.А., Михайлов Н.В., Демин В.М. Подготовка и переработка углеводородных газов и конденсата. Технологии и оборудование: Справочное пособ. - М.: ОАО "Недра-Бизнесцентр", 2001. - 316 с: ил.
3. Бекиров Т.М. Промысловая и заводская обработка природных и нефтяных газов. – М.: Недра, 1980. – 283 с.
4. Овчинников А.А. Динамика двухфазных закрученных турбулентных течений в вихревых сепараторах. Казань, 2005. 288 с.
5. Рамм В.М. Абсорбция газов. М., 1975. 665 с.
6. Александров И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. Методы расчета и основы конструирования. М., 1978. 278 с.
7. Сугак Е. В., Войнов Н. А., Николаев Н. А. Очистка газовых выбросов в аппаратах с интенсивными гидродинамическими режимами. – Казань, РИЦ «Школа», 1999, 224с.
8. Сафин Р. Ш., Лобанов В. М. К вопросу использования вихревого эффекта в скоростных прямоточных массообменных аппаратах. – Казань, Труды КХТИ, вып. 39, ч. 1, 1968, с.283-285.