Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Навчально-науковий інститут нафти і газу
Кафедра нафтогазової інженерії та технологій
Спеціальність 185 Нафтогазова інженерія та технології

До захисту
завідувач кафедри
В.о. зав. каф. НІГІН
С. Гаврик

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему: «Дослідження ефективності очищення природного газу сепараторами комбінованого типу»

Пояснювальна записка

Керівник
Доцент, к.т.н. Нестеренко Т.М.
посада, наук. ступінь, ПІБ
підпис, дата,

Виконавець роботи
Петрик В.В.
студент, ПІБ
група 602МН
підпис, дата

Консультант за 1 розділом
к.т.н., доц. Гарькава І.І.
посада, наук.ступінь, ПІБ, підпис

Консультант за 2 розділом
к.т.н., доц. Федчина М.М.
посада, наук.ступінь, ПІБ, підпис

Консультант за 3 розділом
ст. викладач Лещенко В.В.
посада, наук.ступінь, ПІБ, підпис

Консультант за 4 розділом
к.т.н. доц. Гарькава І.І.
посада, наук.ступінь, ПІБ, підпис

Консультант за 5 розділом
к.т.н., доц. Нестеренко Т.М.
посада, наук.ступінь, ПІБ, підпис

Дата захисту 21.01.2025р.

Полтава, 2024

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Навчально-науковий інститут нафти і газу
Кафедра нафтогазової інженерії та технологій
Освітньо-кваліфікаційний рівень: *Магістр*
Спеціальність *185 Нафтогазова інженерія та технології*
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри НГІТ
В.о. С. Гаврик
"__" _____ 20___ року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Петрику Владиславу Віталійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: *Дослідження ефективності очищення природного газу сепараторами комбінованого типу*
Керівник роботи Нестеренко Тетяна Миколаївна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом закладу вищої освіти від "09" 08 2024 року №818-с
2. Строк подання студентом роботи 27.12.24 2024 року
3. Вихідні дані до роботи *1. Науково-технічна література, періодичні видання, патенти на винаходи. 2. Геологічні звіти за профілем роботи (за необхідності). 3. Проекти розробки родовищ, технологічні схеми облаштування родовищ або інші технологічне схеми за профілем роботи. 4. Паспорти свердловин та обладнання, що експлуатується.*
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ.
1 Вибір та опис технологічного обладнання.
2 Опис технічної пропозиції.
3 Дослідно-конструкторська робота.
4 Розрахунки працездатності.
5 Монтаж і експлуатація обладнання.
Висновки. Список використаної літератури..
5. Перелік графічного матеріалу
Презентація із демонстрацією результатів наукової роботи, вказати мету роботи, задачі, наукову новизну та/або практичну цінність, методи (технології) дослідження, опис основного технологічного обладнання, загальні вигляди обладнання, графічні результати моделювання, загальні висновки по роботі.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	к.т.н., доц. Лаврєєва К.		
2	к.т.н., доц. Подченко М.М.		
3	ст. викладач Лапшенко А.Б.		
4	к.т.н., доц. Лаврєєва К.		
5	к.т.н., доц. Нестеренко Т.М.		

7. Дата видачі завдання 14.10.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Етапи підготовки	Термін виконання
1	Інформаційно-оглядова частина	14.10-20.10
2	Теоретична частина	21.10-03.11
3	Моделювання. Експериментальна частина.	04.11-17.11
4	Впровадження результатів досліджень	18.11-15.12
5	Оформлення та узгодження роботи	16.12-29.12
6	Попередні захисти робіт	06.01-19.01
7	Захист магістерської роботи	20.01-24.01

Студент _____ **Петрик В.В.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ **Нестеренко Т.М.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота на тему: «Дослідження ефективності очищення природного газу сепараторами комбінованого типу».

Магістерська робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» за спеціальністю 185 «Нафтогазова інженерія та технології». – Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2024.

У першому розділі проведено аналіз сучасних конструкцій сепараторів і тенденцій їх розвитку. Підібрано основне обладнання та параметри його роботи.

У другому розділі представлено технічні пропозиції щодо модернізації сепараторів, зокрема впровадження інерційно-фільтруючих. Розглянуто економічну ефективність запропонованих змін.

Третій розділ містить дослідно-конструкторські розрахунки параметрів жалюзійних пакетів, оптимізацію їх геометричних розмірів і визначення площі перерізу для забезпечення заданих показників продуктивності. Проведено аналіз розподілу потоків у гофрованих каналах елементів.

У четвертому розділі виконано розрахунок працездатності модернізованих конструкцій, включаючи визначення товщини стінок, розміри фланців, штуцерів і кріпильних елементів.

У п'ятому розділі розглянуто організаційно-технічні заходи з монтажу обладнання, експлуатація та ремонт сепараторів, охорона праці при монтажі та експлуатації сепараторів

Ключові слова: нафтогазовий сепаратор, комбіновані сепаратори, інерційно-фільтруючі елементи, жалюзійні краплевловлювачі, моделювання.

Зміст

Вступ.....5

1 Вибір та опис технологічного обладнання 8

1.1 Конструкції комбінованих сепараторів 8

1.2 Розрахунок та вибір основного технологічного обладнання.....20

1.2.1 Розрахунок матеріального балансу сепаратора.....21

1.2.2 Тепловий розрахунок 21

1.2.3 Технологічний розрахунок 22

1.2.4 Гідравлічний розрахунок 28

1.3 Опис вибраного технологічного обладнання 30

2 Опис технічної пропозиції.....37

2.1 Опис модернізованої конструкції .:.....37

2.2 Оцінка економічної ефективності 40

3. Дослідно-конструкторська робота 42

3.1 Розрахунок жалюзійних пакетів.....42

3.2 Моделювання процесів в нафтогазовому сепараторі.....48

4 Розрахунок працездатності.....50

5 Монтаж і експлуатація обладнання 57

5.1 Організаційно-технічні заходи з монтажу обладнання.....57

5.2 Експлуатація та ремонт сепараторів 59

5.3 Охорона праці при монтажі та експлуатації сепараторів 61

Загальні висновки 64

Перелік використаної літератури.....65

Вступ

Актуальність теми досліджень.

Сучасна промисловість стикається з численними викликами щодо ефективності процесів підготовки та транспортування природного газу. Основним завданням є забезпечення високої якості газу за мінімальних витрат енергії та матеріальних ресурсів.

Комбіновані сепаратори є одними з найбільш перспективних рішень для очищення газу завдяки своїй здатності поєднувати кілька механізмів розділення в одному апараті. Їх застосування дозволяє підвищити ефективність процесів сепарації, зменшити втрати вуглеводнів і скоротити експлуатаційні витрати. Зокрема, використання інерційно-фільтруючих жалюзійних пакетів забезпечує високу ступінь очищення за рахунок комбінації інерційного осадження, фільтрації та коагуляції дрібнодисперсних часток.

Крім того, наявність ускладнених умов експлуатації, таких як високий вміст домішок і змінні режими роботи, вимагає створення апаратів, здатних стабільно працювати в широкому діапазоні параметрів. Модернізовані комбіновані сепаратори дозволяють досягти цього завдяки інтеграції сучасних технологій управління потоками та використанню високоефективних фільтруючих матеріалів.

Таким чином, дослідження ефективності очищення газу за допомогою комбінованих сепараторів з використанням інерційно-фільтруючих елементів є актуальним і необхідним для подальшого розвитку енергетичної галузі.

Мета дослідження.

Метою роботи є підвищення ефективності очищення газу шляхом оптимізації конструкції комбінованих сепараторів, що включають інерційно-фільтруючі жалюзійні пакети.

Методи дослідження:

- аналіз літературних джерел для визначення сучасних тенденцій у технологіях очищення газу;

-імітаційне моделювання процесів сепарації для оцінки ефективності різних конструкцій сепараторів.

- інженерні розрахунки для оптимізації параметрів роботи обладнання.

Основні завдання дослідження:

- провести аналіз конструкцій комбінованих сепараторів і вибір оптимальних рішень для дослідження;

- вивчити можливості застосування інерційно-фільтруючих для підвищення ефективності сепарації.

- провести імітаційне моделювання процесів сепарації за допомогою спеціалізованих програмних комплексів.

Об'єкт досліджень – процес розділення вуглеводневої суміші з використанням комбінованого нафтогазового сепаратора.

Предмет досліджень – конденсація рідкої фази вуглеводнів у потоці нафтового газу комбінованого нафтогазового сепаратора.

Наукова новизна:

- шляхом моделювання отримано нові дослідні дані щодо сепарації нафтового газу у комбінованому сепараторі з використанням жалюзійно-інерційних пакетів.

Практичне значення:

– запропонована модернізація сепаратора з використанням жалюзійно-інерційних пакетів.

Особистий внесок автора.

Проведення імітаційного моделювання процесів розділення газорідинних сумішей.

Інженерні розрахунки для визначення конструктивних параметрів інерційно-фільтруючих пакетів.

Аналіз економічної ефективності модернізованих конструкцій і визначення термінів їх окупності.

Структура та об'єм роботи. Магістерська робота складається з вступу, 5 розділів, загальних висновків, переліку літературних джерел.

Магістерська робота виконана на кафедрі нафтогазової інженерії та технологій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

1 Вибір та опис технологічного обладнання

1.1 Конструкції комбінованих сепараторів

Існують такі види сепараторів (рис.1.1)

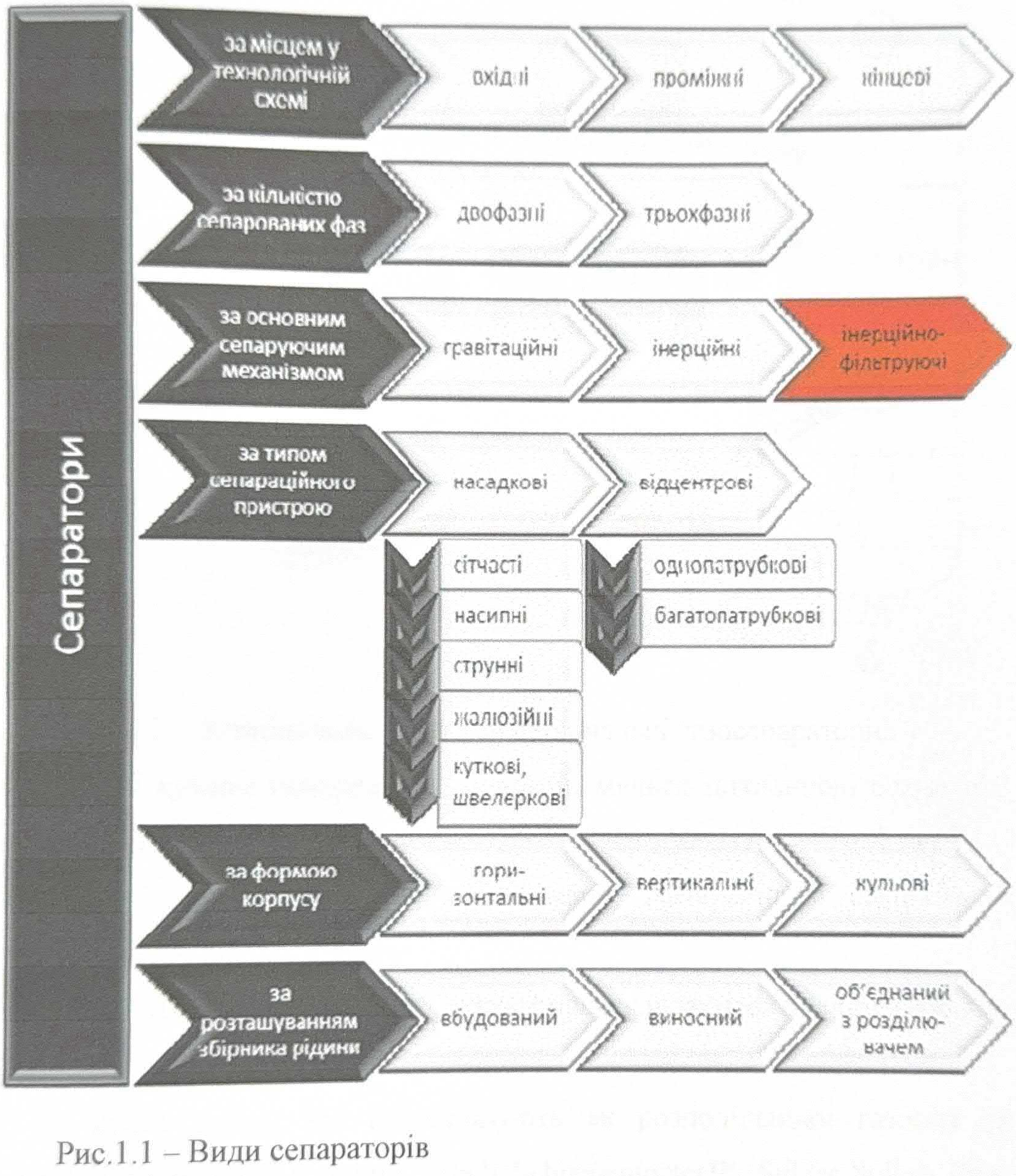
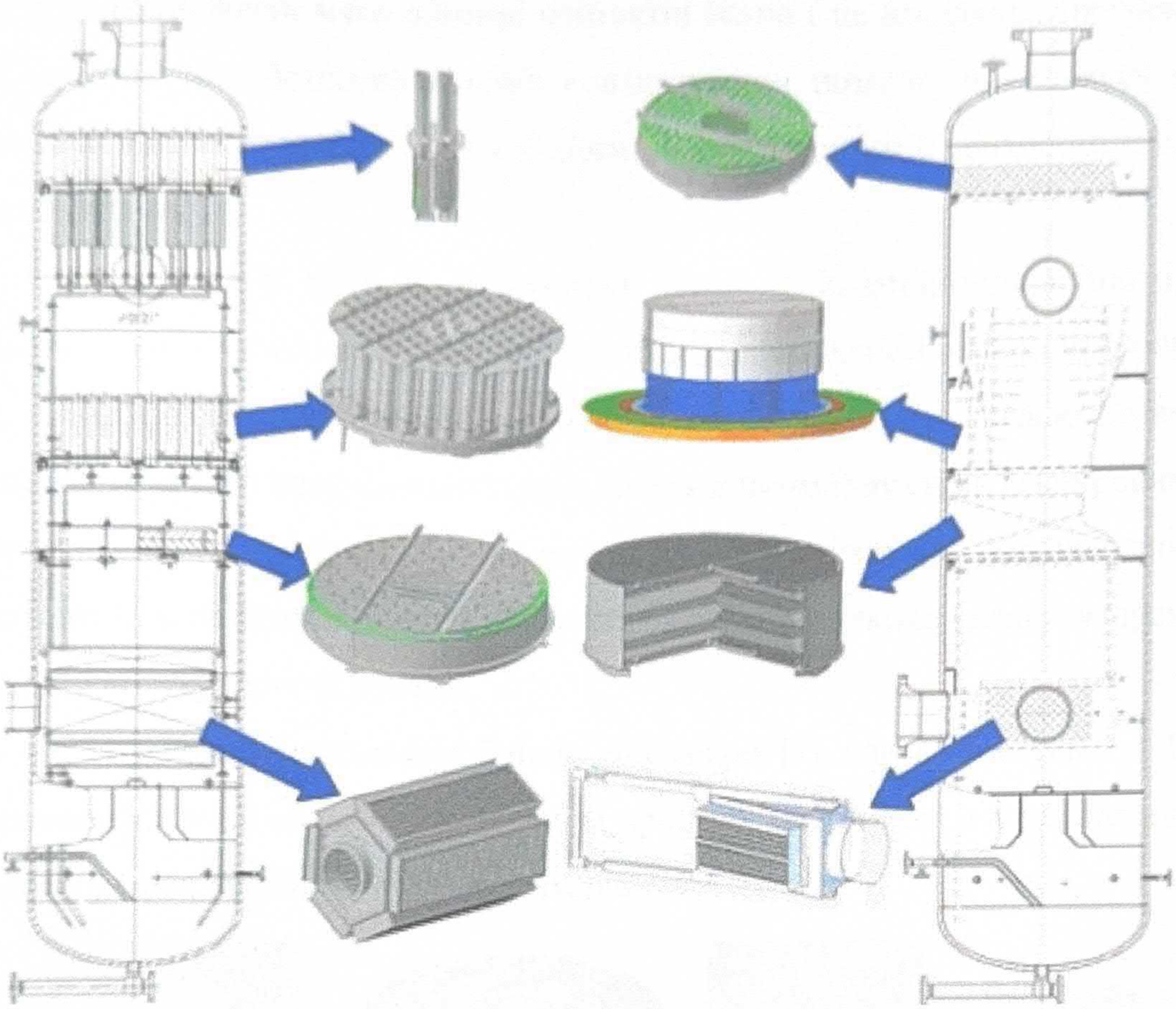


Рис.1.1 – Види сепараторів

Наразі спостерігаються світові тенденції по створенню багато функціональних енергетично ефективних апаратів [1-7]. Наведено на рис. 1.2.



а б

Рис. 1.2 – Комбіновані багато функціональні газосепаратори:

а – зі вузлом попередньої сепарації, мульти циклонною секцією й патронними фільтркоалєсцерами;

б – із вузлом попередньої сепарації, жалюзійними секціями й сітчастим крапле-вловлювачем.

Конструкції комбінованих сепараторів складаються з секцій (рис.1.3-1.4):

- вузли вхідні, які функціонують як розподільники газових та газорідинних потоків й рідини (Shell Schoepentoeter™, Sulzer Splash Plate Inlet GDP та інші);

- сепараційні секції вхідні гравітаційно-інерційного й відцентрового типів, які призначені для сепарації рідини (попередня) й вловлювання домішок механічних;

- встановлені масо обмінні контактні секції (це насадкові, тарілчасті й вихрові) при безпосередньому контактуванні потоків, що можуть ще додатково оснащуватись встановленими сепараційними й теплообмінними елементами;

- основні й вихідні сепараційні секції гравітаційно-інерційного й фільтруючого типу, які обладнані ефективними сепараційними пристроями із насадковими кутоподібними й швелерковоподібними жалюзійними пакетами, багато патрубковими (мульти циклонними) вузлами із вихровими прямотічними циклонними елементами, сітчастими й волокнистими пакетами та патронними фільтркоалєсцерами, які являються коагуляторами дрібно дисперсного аерозолю.

За рекомендаціями виробників-ліцензіарів [7], наведені на рис.1.3-1.5 високоефективні сепараційні вузли та пристрої можуть бути встановлені в конструкціях комбінованих сепараторів.

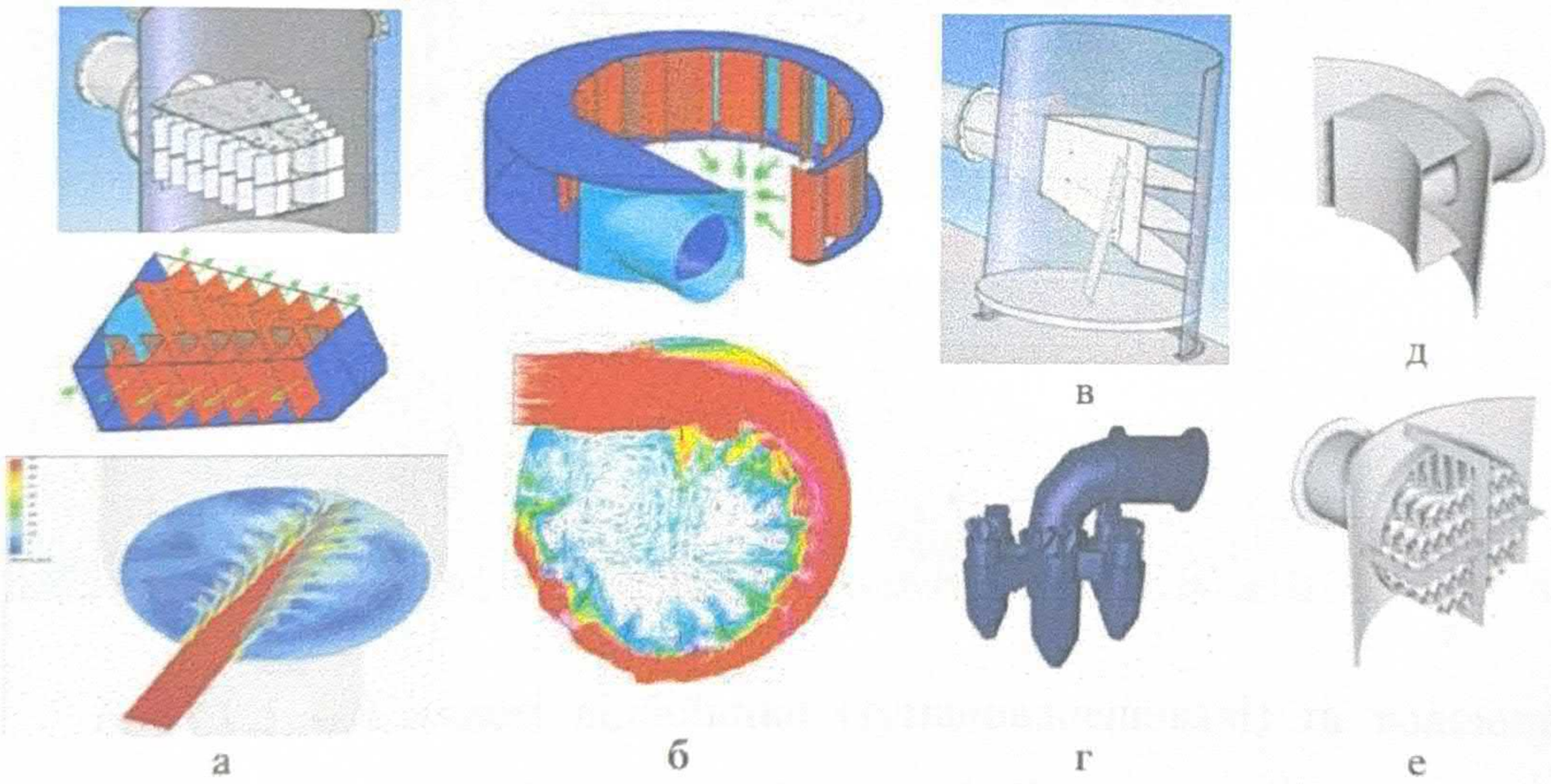
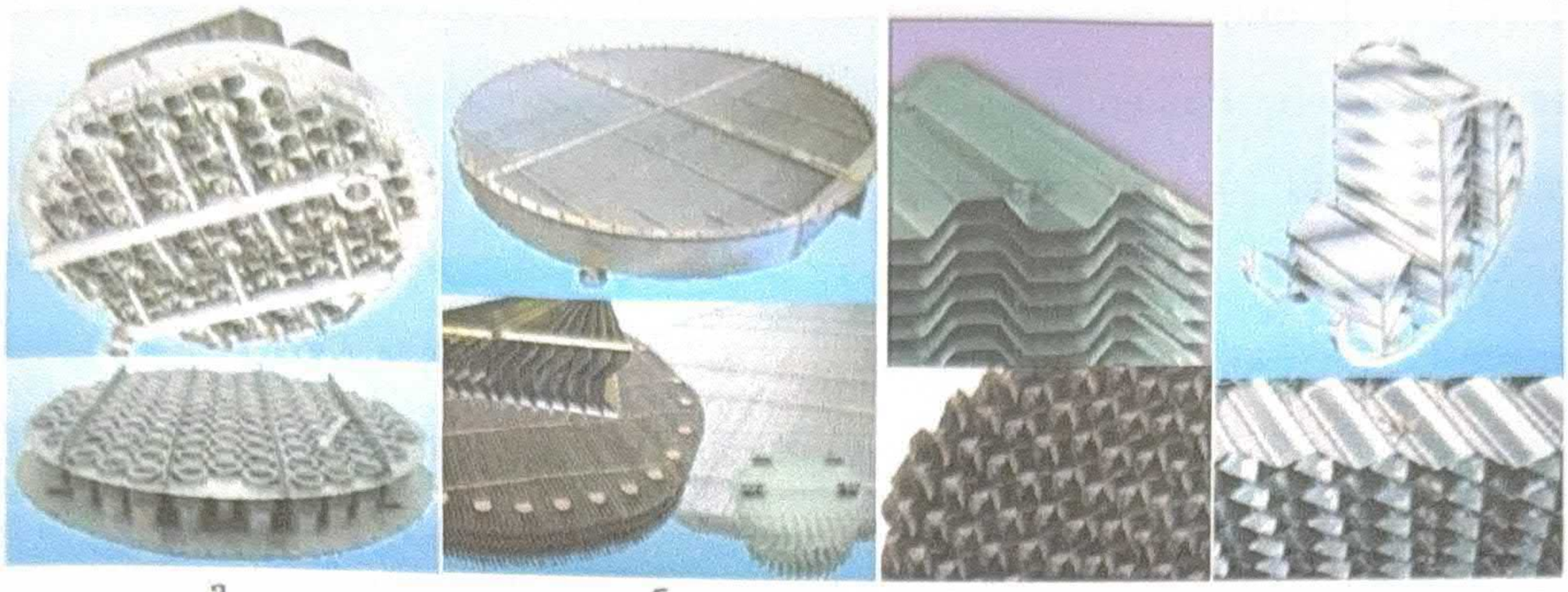


Рис. 1.3 – Конструкція вхідних розподільних й сепараційних вузлів

а – розподільник-сепаратор жалюзійний Shell Schoepentoeter, б – тангенціально вихровий жалюзійний розподільник сепаратор Sulzer GITV, в – тангенціальний пластинчатий розподільник Sulzer Vanta GITD, г – батарейно- циклонний розподільник сепаратор Sulzer GIRZ, д – відбійник пластинчатий Sulzer GDP, е –розподільник насадковий Sulzer “GIX”.

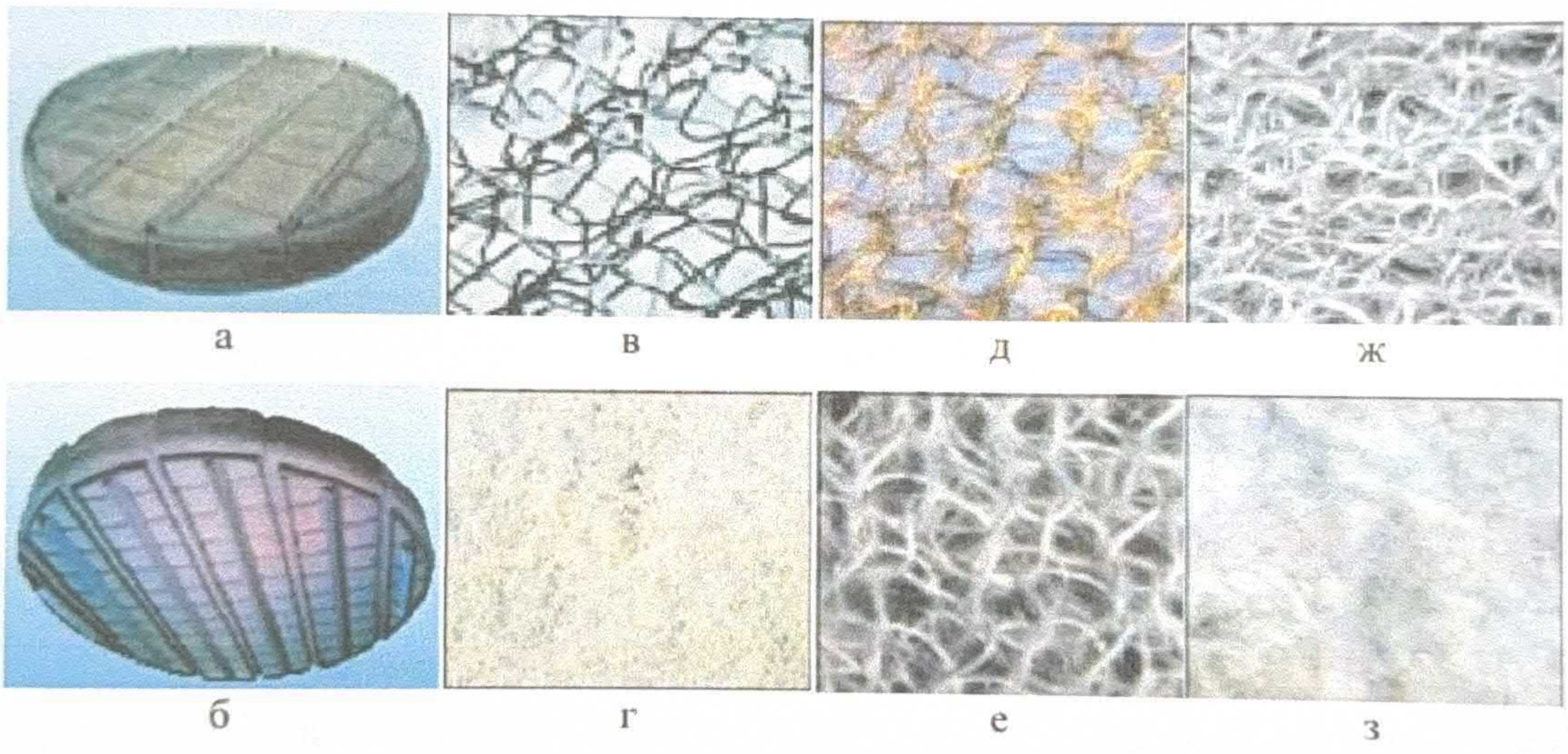


а б в г

Рис. 1.4 – Сепараційні секції (крапле вловлювачі):

а – мультициклонні Shell Swirltube й Swirltube Light;

б, в, г –і жалюзійні насадков Sulzer Mellachevro, Plate-Pak, Stokes-Pak, Sulzer Mellaplate й Mellagrid.



а в д ж

б г е з

Рис. 1.5 – Сітчасті відбійники (тумановловлювачі) та волокнисті матеріали для коалєсцерів: а, б – сітчасті відбійники Sulzer KnitMesh™, KnitMesh V-MISTER™, Monsanto TowerGARD™ та HI-FLO™ Brink® Mesh Pad; б, в – металева сітка Wire Mesh Interceptor-Pak ™ та стружка Wire Wool Interceptor-Pak™; г, д, е, ж – тефлонове, поліестерне та скловолокно (полотно) Teflon Fiber Interceptor-Pak ™, Polyester Fiber Interceptor-Pak™, Fiberglass Interceptor-Pak ™, Fiberglass Mat Interceptor-Pak™ відповідно

Високопродуктивні жалюзійні сепаратори (див. рис. 1.6, 1.7, 1.9) широко використовуються для ефективної сепарації полідисперсних газорідинних потоків з високодисперсною складовою. Для досягнення оптимальних результатів перед блоками Sulzer Mellachevron™ встановлюються сітчасті коагулятори SulzerKnitMesh™ (див. рис. 1.6 а), які забезпечують додатковий рівень ефективності сепарації. Також може бути впроваджений високопродуктивний вхідний жалюзійний розподільник-краплевловлювач ShellSchoepentoeter™ (див. рис. 1.6 б). Цей додатковий елемент дозволяє попередньо відділити порівняно крупні краплі, забезпечуючи ефективність сепарації до 80%.

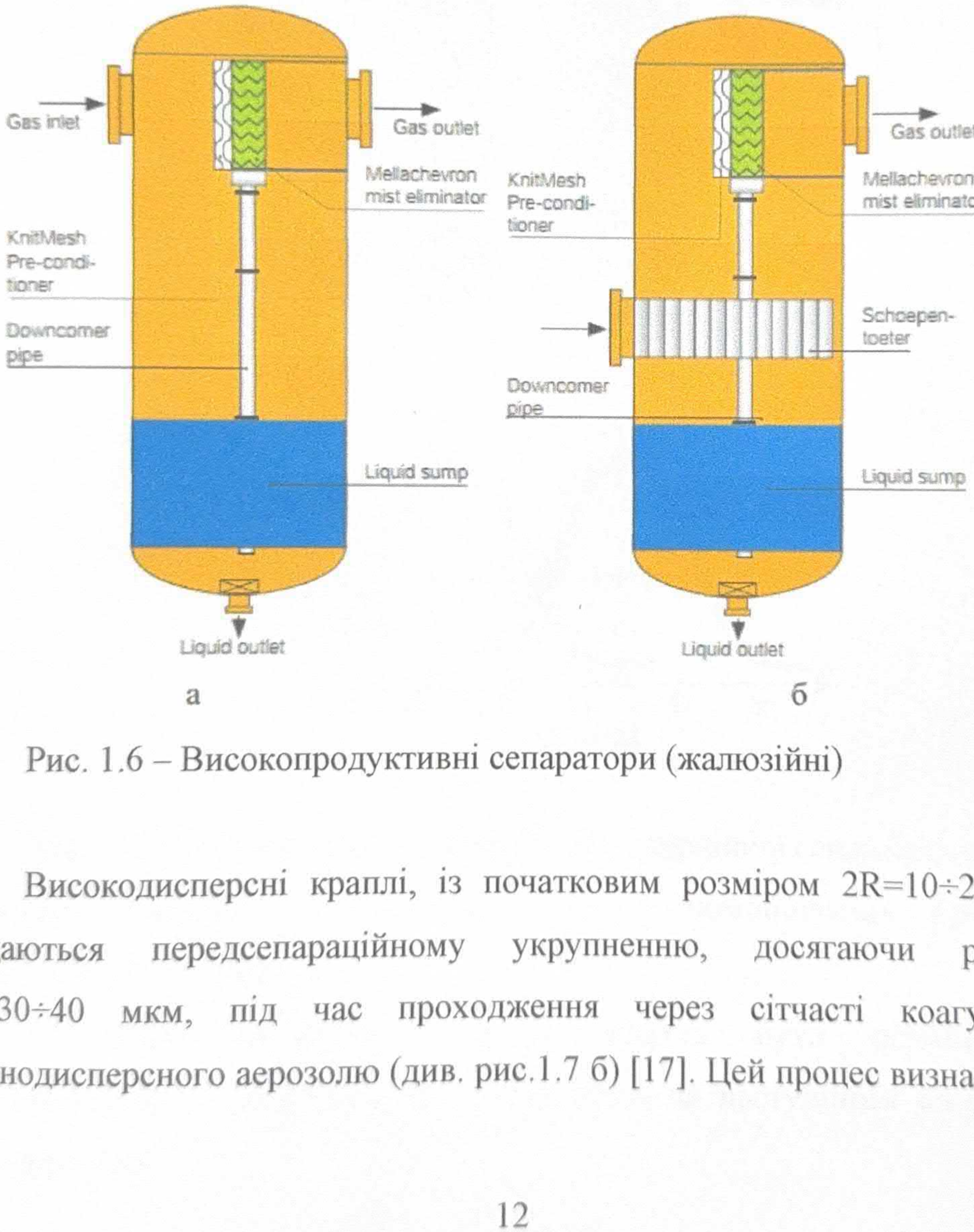


Рис. 1.6 – Високопродуктивні сепаратори (жалюзійні)

Високодисперсні краплі, із початковим розміром 2R=10÷20 мкм, піддаються передсепараційному укрупненню, досягаючи розмірів 2R=30÷40 мкм, під час проходження через сітчасті коагулятори дрібнодисперсного аерозолю (див. рис.1.7 б) [17]. Цей процес визначається

ефективністю інерційного вловлювання, де утворюється плівка рідини, що стікає по стінках жалюзійних блоків (див. рис.1.7 а) [17].

В умовах зниження робочої продуктивності сепараторів може виникнути ситуація, коли високопродуктивні інерційні сепараційні жалюзійні блоки стають менш ефективними через зменшення швидкості руху газорідинного потоку. В такому випадку, сумарна ефективність сепарації в цих апаратах залишається на високому рівні, оскільки сітчасті коагулятори починають працювати подібно до звичайних краплевловлювачів.

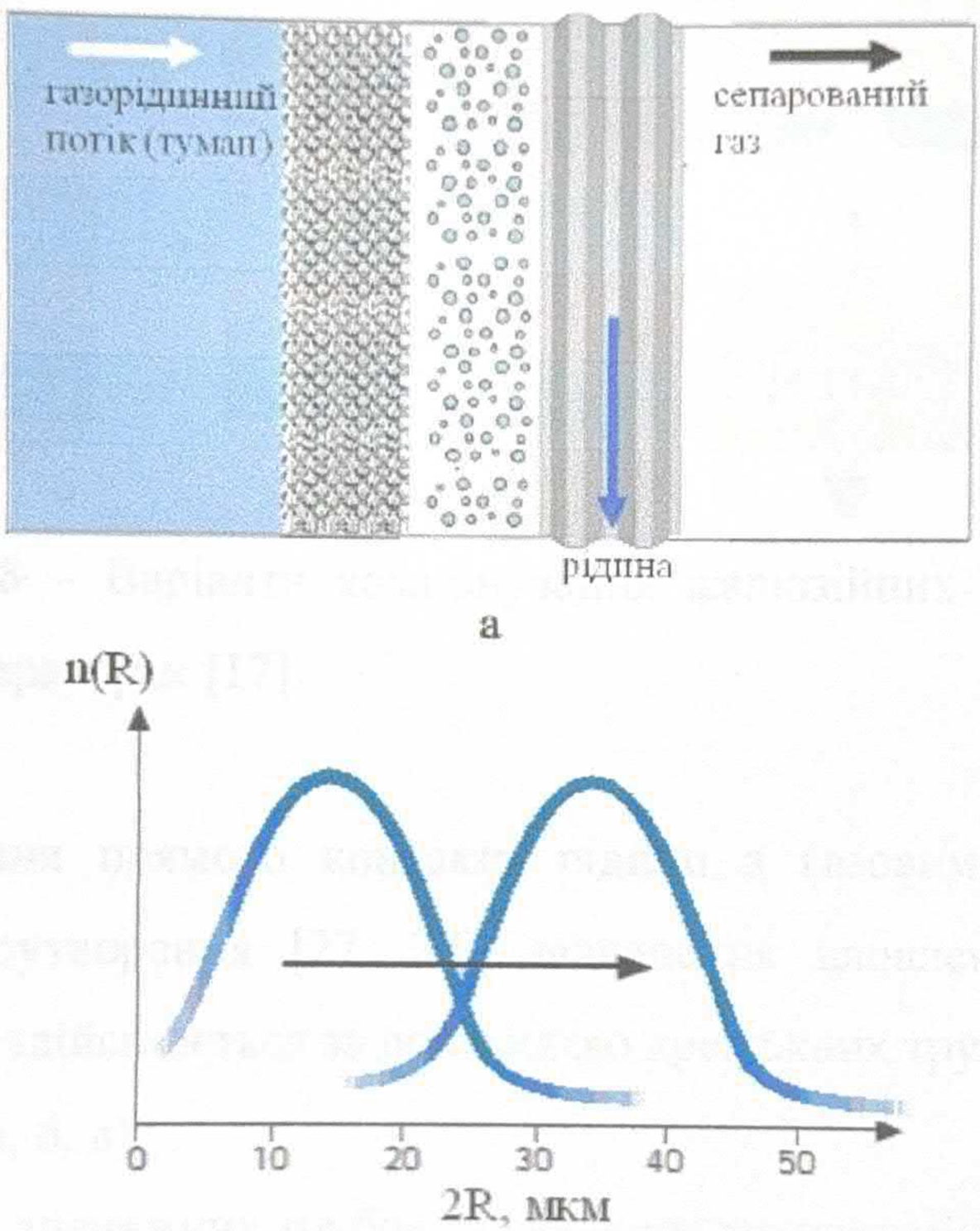


Рис. 1.7 – Модель процесів коагуляції й інерційної сепарації з оцінкою розподілу краплин за розмірами n(R) в комбінованих пристроях SulzerKnitMesh та Mellachevron

Жалюзійні сепараційні блоки можуть бути розміщені у горизонтальних та вертикальних сепараторах за наступними сценаріями (див. рис. 1.8)

Горизонтальний рух газорідинного потоку через вертикальний жалюзійний блок. Газорідинний потік перетинає вертикальний жалюзійний блок, рухаючись поперек плівки рідини, що стікає по стінках жалюзей (див. рис. 1.8 а, б).

Рух газорідинного потоку знизу вгору через горизонтальний жалюзійний блок. Газорідинний потік направлений вгору через горизонтальний жалюзійний блок, протистоячи плівці рідини, що стікає по стінках жалюзей (див. рис. 1.8 в).

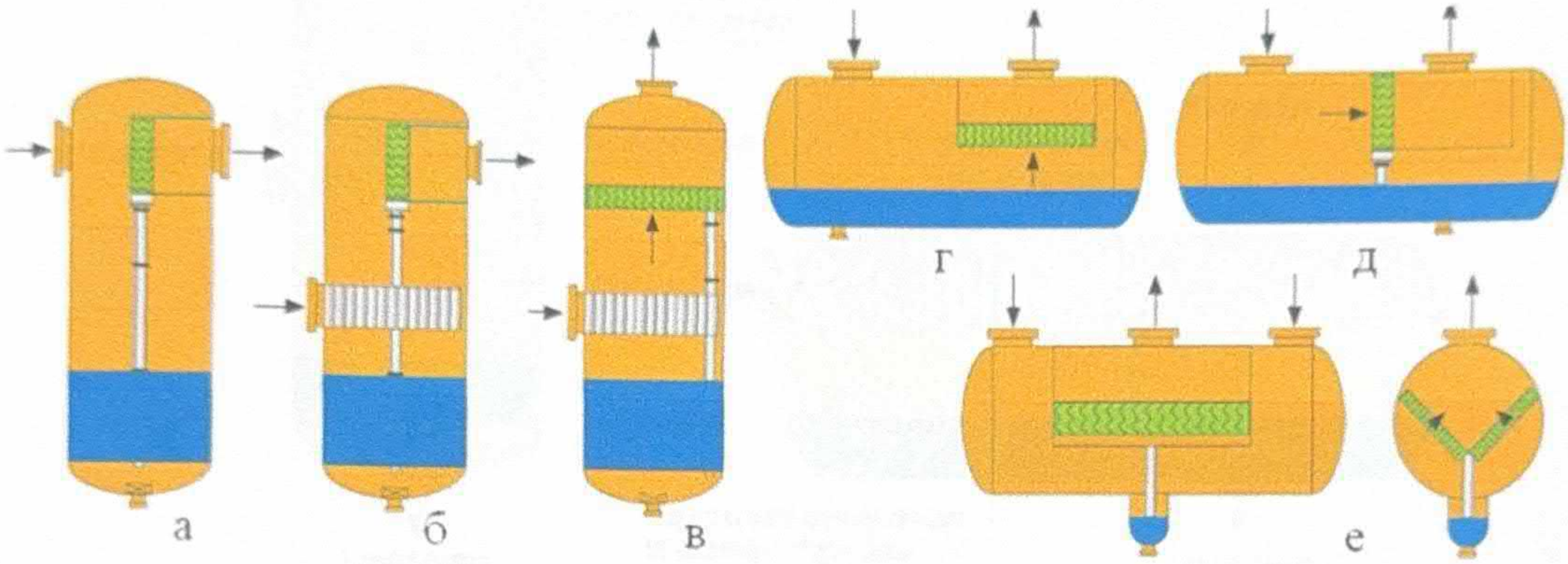


Рис. 1.8 – Варіанти компонування жалюзійних сепараційних блоків у сепараторах [17]

Для уникнення прямого контакту рідини з газовим потоком та вторинного бризкоутворення [27, 37], відведення вловленої рідини з жалюзійних блоків здійснюється за допомогою дренажних трубок (див. рис. 1.10 а, б, рис. 1.12 а, б, в).

Застосування дренажних трубок та сучасних технологій у конструкції сітчастих тумановловлювачів покращує не тільки безпеку та ефективність, але й забезпечує економічну вигоду завдяки зниженню витрат та оптимізації виробничих процесів.

Жалюзійносітчасті сепаратори (див. рис. 1.9) обладнані високоефективним вхідним жалюзійним розподільником-краплевловлювачем ShellSchoepentoeter™ та вертикальними сітчастими

тумановловлювачами SulzerKnitMesh™. Їх унікальність полягає в застосуванні економічних неметалевих матеріалів в конструкції сітчастих відбійників, які робить їх довговічними, і, таким чином, забезпечує найнижчий рівень собівартості при високій ефективності.

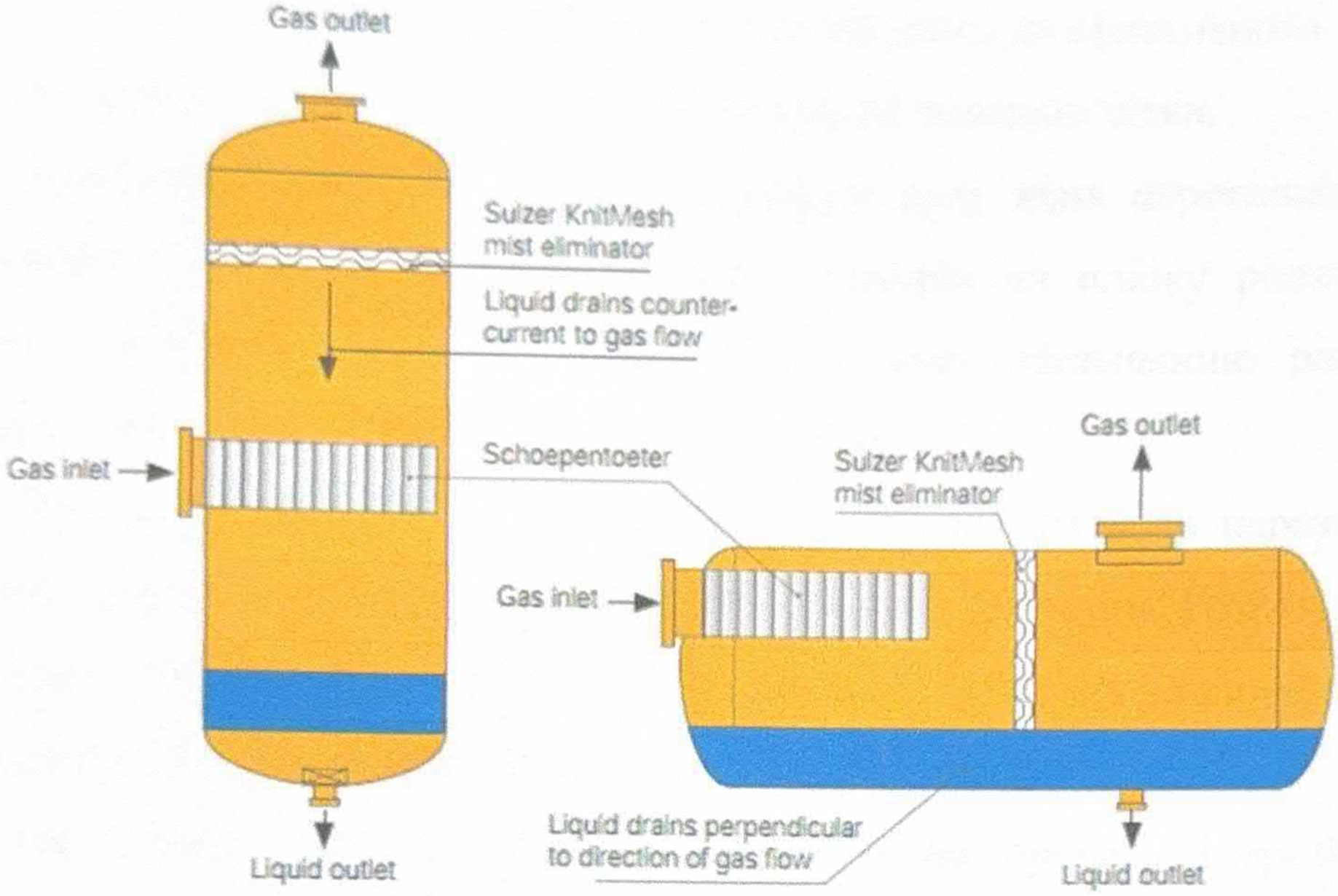


Рис. 1.9 – Високоефективні жалюзійно-сітчасті сепаратори [67]

Ці сучасні сепаратори не лише забезпечують ефективний розподіл газорідинного потоку та відбивання крапель рідини, але і мають високий рівень збору високодисперсних крапель рідини, навіть при їхньому розмірі від $2R \geq 2$ мкм [17].

Модель інерційного зіткнення краплин та їх осадження на дроті металевої сітки чи волокнах полімерних матеріалів, а також співсадження одна на одну зі злиттям в більш крупні, наведена на рис. 1.10 г [17], включає наступні важливі аспекти.

Краплі розміром 2R1, траєкторії руху яких проходять на відстані від волокон або сітки, що перевищує значення R1, уникають захоплення та потрапляють в наступний шар сітки. Це має суттєве значення для

ефективного розділення рідини та газу, забезпечуючи процес сепарації на більш високому рівні ефективності.

Краплі розміром 2R2, які рухаються на відстані від волокон або сітки, що дорівнює радіусу R2, торкаються перепон та осаджуються (захоплюються) на волокнах. Цей процес призводить до ефективного збору більших крапель рідини та їхнього утримання на поверхні сітки.

Краплі розміром 2R3 та 2R4, траєкторії руху яких перетинаються, коагулюють, утворюючи краплі більших розмірів чи плівку рідини на поверхні волокон. Цей етап сприяє подальшому збільшенню розміру зібраних крапель та оптимізації процесу осадження.

Захоплені волокнами краплі розміром 2R5 стікають до перехрестя волокон, утворюючи плівку рідини, яка стікає з шару сітки. Розглядаючи цей етап, можна вдосконалити конструкцію сітки та волокон для оптимального збору та відведення рідини з сепаратора.

Ця модель створює основу для розуміння процесу інерційного зіткнення крапель та їхнього осадження на поверхні сітки, допомагаючи оптимізувати конструкцію сепаратора для досягнення максимальної ефективності сепарації.

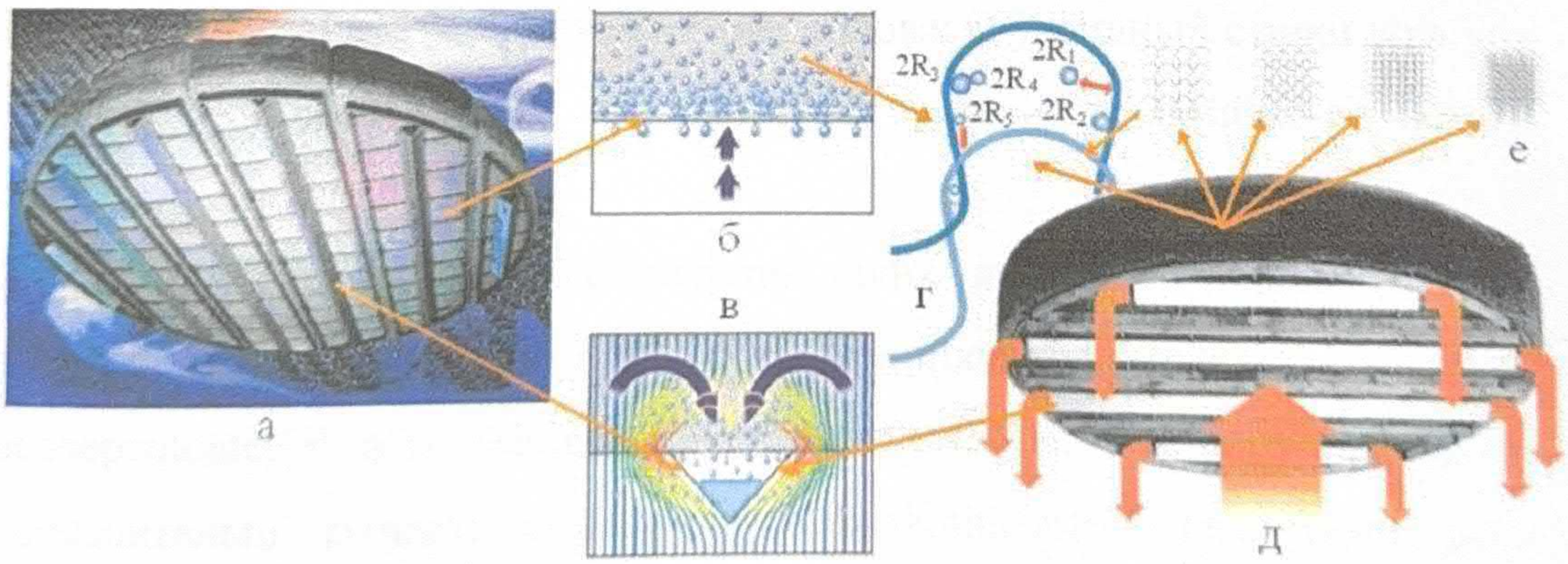


Рис. 1.10 – Модель сепарації газорідинного потоку в сітчастих відбійниках типу Sulzer KnitMesh™, KnitMesh V-MISTER™, Monsanto TowerGARD™ та HI-FL Brink® MeshPad [17]

У апараті, де схема руху потоків організована вертикальною протитечією (рис. 1.9), важливо уникати вторинного бризкоунесення. Замість використання секцій Sulzer KnitMesh™ (рис. 1.5 а) з традиційним протитечійним відведенням рідини (рис. 1.10 б), рекомендовано використовувати сітчасті тумановловлювачі, такі як KnitMesh V-MISTER™, Monsanto TowerGARD™ або HI-FLO™ Brink® Mesh Pad (рис. 1.5 б, 1.10 а) з кутиковими колекторами (дренажними жолобами). Ці тумановловлювачі використовують Von Karman Roll-Vortex ефект (рис. 1.10 в) [17], що базується на використанні зони пониженого динамічного тиску за кутиковими елементами для ефективного збору та відведення вловленої рідини з шару сітки чи волокнистих матеріалів (з плетінням в один, два, три або чотири шари, рис. 1.10е). Ця система направляє рідину через дренажні канали і систему колекторів до стінок корпусу апарату (рис. 1.10д), що дозволяє ефективно виводити її та уникнути негативного впливу вторинного бризкоунесення. Такий підхід підвищує ефективність сепараційного процесу.

Згідно із [17], відомо, що швидкості руху газового потоку в околичних шарах суттєво нижчі, ніж середня швидкість газу в основному потоку. У зв'язку з цим утворюється плівка сепарованої рідини на сітчастих відбійниках, яка без руйнування стікає вздовж внутрішньої стінки корпусу апарату і спрямовується до збірника рідини жалюзійно-сітчастого сепаратора (рис. 1.9).

Характеристичною особливістю таких пристроїв є використання високопродуктивних жалюзійних розподільників-краплевловлювачів Shell Schoepentoeter™ або Schoepentoeter Plus™ (S) як вхідного пристрою. Горизонтальні сітчасті відбійники SulzerKnitMesh™ виконують роль коагулятора або сепаратора в залежності від об'єму та швидкості газового потоку (М). Сітчасті відбійники SulzerKnitMesh™ можуть об'єднуватися в апаратах у кілька ступенів (ММ), включаючи використання різних

волокнистих наповнювачів та шарів із різним діаметром волокон. Це сприяє підвищенню ефективності сепарації та надає можливість відокремлення складних двофазних багатокомпонентних сумішей (таких, як газ/рідина/рідина). Це дозволяє відокремлювати краплі рідини з різними фізико-хімічними властивостями та направляти їх до окремих збірників в апараті, наприклад, природний газ / пластова вода / вуглеводневий конденсат або природний газ / вода / гліколь.

Більшість вищевказаних високоефективних апаратів широко використовуються як двофазні сепаратори для відокремлення газово-рідких потоків (системи газ/рідина або газ/тверде) та трьохфазні сепаратори для розділення систем (тверде/рідина/газ або рідина/рідина/газ) [17]. Зрозуміло, що висока продуктивність та ефективність сепараторів досягається раціональним поєднанням відповідних сепараційних вузлів, принципи дії яких ґрунтуються на різних механізмах розділення гетерогенних багатокомпонентних систем (відстоювання, інерційне вловлювання, фільтрування та інші). Зазвичай, це поєднання має послідовну структуру (рис. 1.2, 1.4, 1.5, 1.7, 1.9). Перший етап виконує функцію грубого попереднього очищення або коагуляції високодисперсних часток. На подальших етапах відбувається основний процес розділення, а на останніх етапах сепарації проводиться тонке очищення або вловлення високодисперсних часток, які утворюються внаслідок вторинних процесів (руйнування структури вловленої рідини, розпилення та утворення туману) поруч із основним процесом сепарації. Іншими словами, для досягнення високої ефективності сепарації використовується стратегія протидії наслідкам вторинних процесів, а не їхній причині, непосредственно поруч із проведенням основного процесу сепарації фаз.

Вчені з Сумського державного університету протягом періоду з 2003 по 2016 роки розробили новий самостійний клас інерційно-фільтруючих сепараційних пристроїв. Ці пристрої об'єднують переваги та уникають

основних недоліків, які притаманні окремим типам існуючих сепараційних пристроїв (відцентрових, насадкових, сітчастих, фільтрів), використовуючи новаторські рішення для організації руху та взаємодії двофазних потоків [17]. При цьому застосовано альтернативний метод розташування сепараційних пристроїв, відмінний від традиційного послідовного розміщення різних типів пристроїв для підвищення загальної ефективності сепарації.

Помістивши фільтруючі елементи на стінках жалюзей у зонах потенційного руйнування структури плівки вловленої рідини та уникнувши вторинного унесення бризок газовим потоком з інерційних сепараційних каналів, а також використавши окремі дренажні канали у подвійних жалюзях, досягнуте одночасне зниження гідравлічного опору та підвищення ефективності сепарації в широкому діапазоні навантажень та співвідношення фаз [17] рис. 1.15 в.

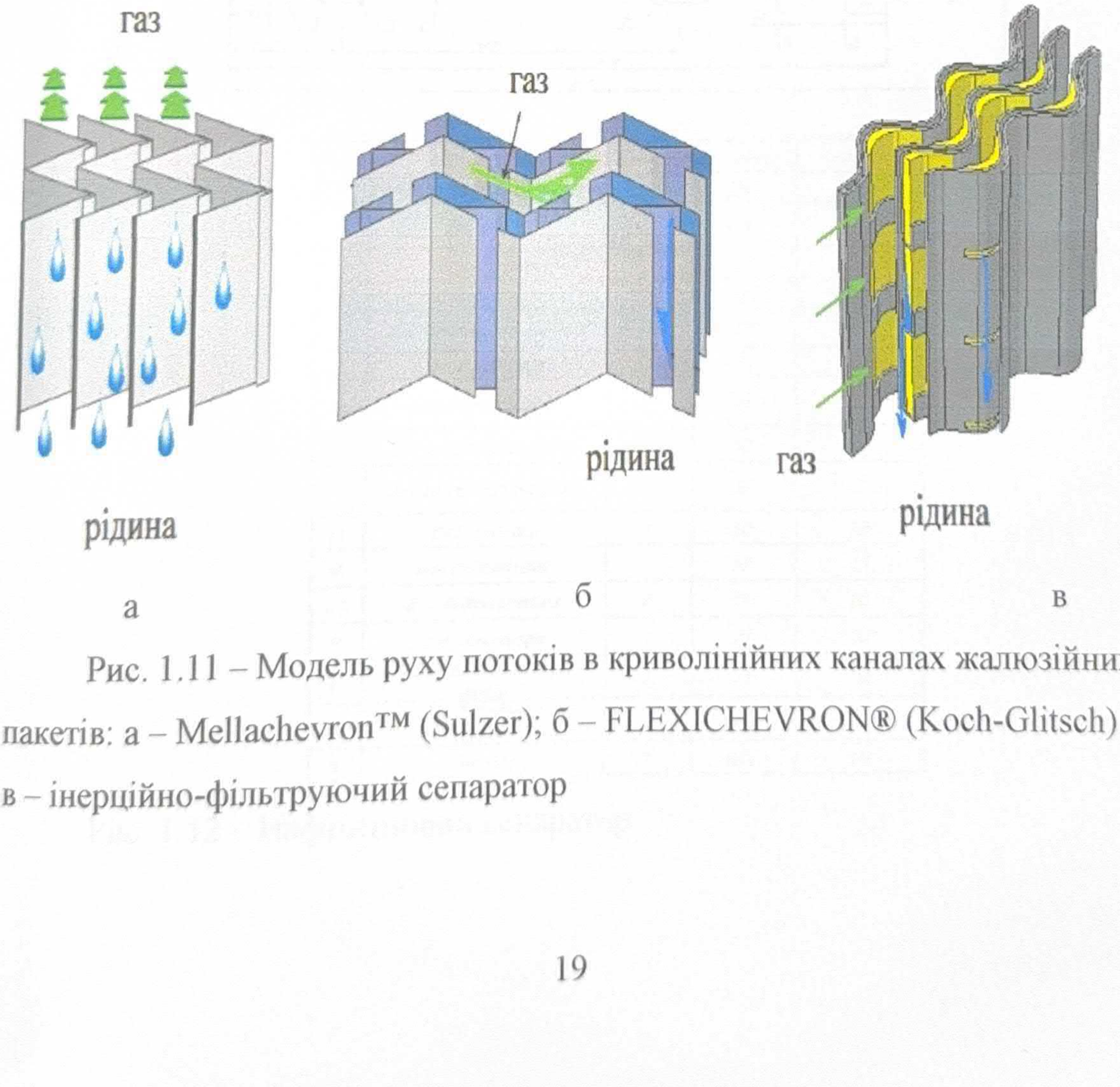
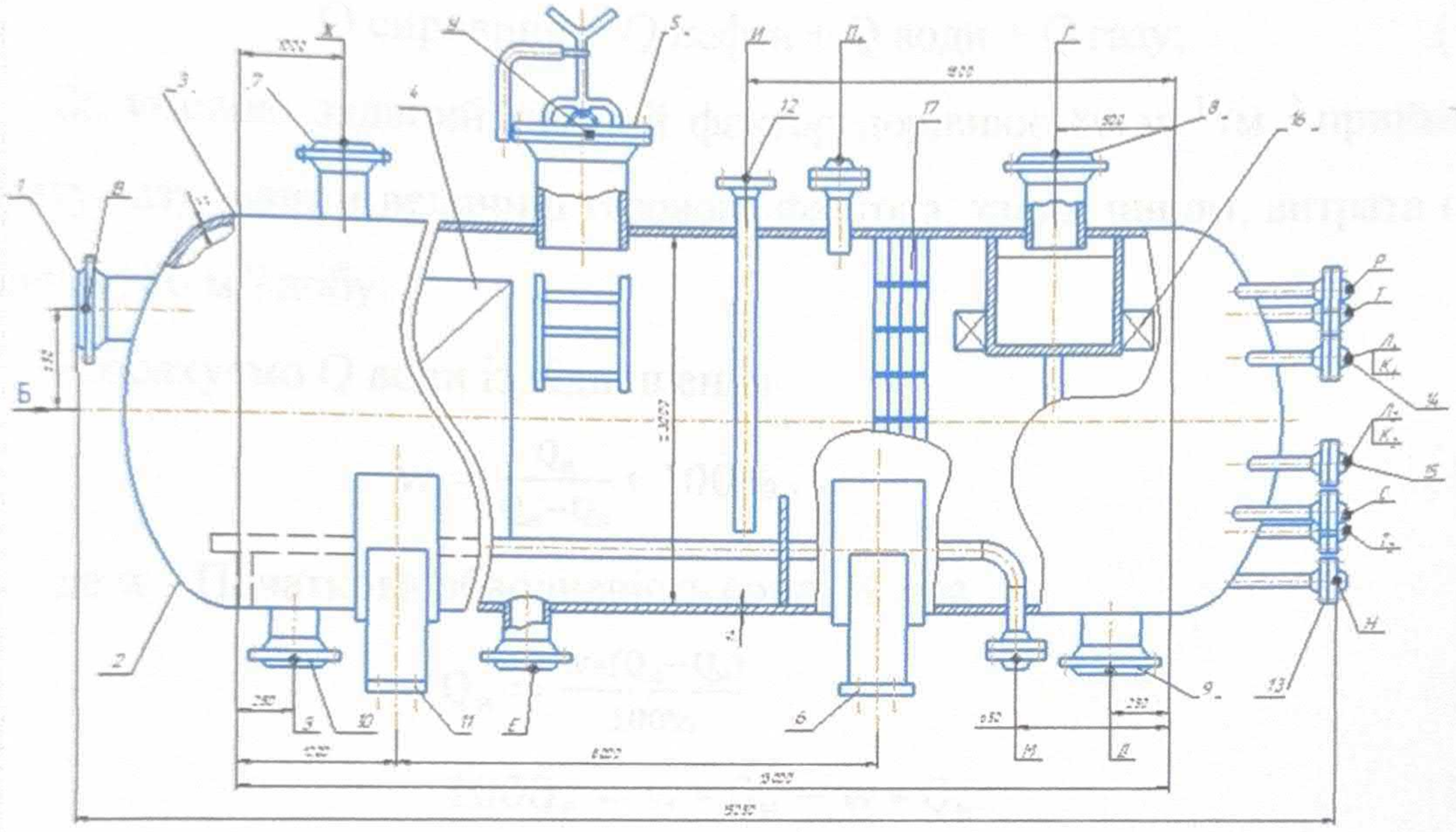


Рис. 1.11 – Модель руху потоків в криволінійних каналах жалюзійних пакетів: а – Mellachevron™ (Sulzer); б – FLEXICHEVRON® (Koch-Glitsch) ; в – інерційно-фільтруючий сепаратор

1.2 Розрахунок та вибір основного технологічного обладнання

Виходячи з аналізу, для подальшого дослідження ефективності очищення природного газу обираємо горизонтальний трифазний сепаратор комбінованого типу з інерційно-фільтруючими елементами жалюзійного типу для очищення попутного нафтового газу



Позн.	Найменування	Кількість	Діаметри, D,	Тиск, МПа
В	Вхід газоконденсатної суміші	1	600	0,6
Г	Вихід газу	1	400	0,6
Д	Вихід нафти	1	300	0,6
Е	Для очистки	1	300	0,6
Ж	Для запобіжного клапана	1	200	0,6
З	Вихід для води	1	150	0,6
И	Для датчика рівня	1	65	1,0
К1; К2	Для регулятора уровня	2	50	1,0
Л1; Л2	Для сигналізатора рівня	2	50	1,0
М	Для продувки	1	50	1,0
Н	Для термометра	1	50	1,0
П1	Для дифманометра	2	25	1,0
Р	Для манометра	1	25	1,0
С	Для термометра опору	1	25	1,0
Т1; Т2	Для вказівника рівня	2	25	1,0
У	Люк-лаз	1	600	1,0

Рис. 1.12 – Нафтогазовий сепаратор

1.2.1 Розрахунок матеріального балансу сепаратора

Сепарація за своєю фізичною сутністю є поєднанням фізичних та масообмінних процесів, що протікають між газовою та рідкою фазами, що містять велику кількість компонентів, тобто. є складним багатокомпонентним процесом.

$$Q \text{ сировини} = Q \text{ нафта} + Q \text{ води} + Q \text{ газу}; \quad (1.1)$$

За умовою заданий газовий фактор дорівнює 80 м ^{3} /м ^{3} приймемо витрату газу рівним величині газового фактора, таким чином, витрата газу дорівнює 80 м^3/ добу.

Розрахуємо Q води із відношення

$$w = \frac{Q_в}{Q_н - Q_в} * 100\%, \quad (1.2)$$

де w - Початкова обводненість еонд, % мас.

$$Q_в = \frac{w*(Q_н - Q_в)}{100\%} \quad (1.3)$$

$$100Q_в = w * Q_н - w * Q_в \quad (1.4)$$

Вирішуємо дане рівняння, знаючи з умови, що початкова обводненість дорівнює 21,1% мас., а витрата нафти дорівнює 3000 м ^{3} /добу.

Отримуємо, що

$$Q = 283,593 \text{ м}^3 \text{/добу}$$

Таким чином,

$$Q \text{ сировини} = 80 + 283,593 + 3000 = 3363,593 \text{ м}^3 \text{/добу}$$

1.2.2 Тепловий розрахунок

Метою теплового розрахунку є визначення товщини теплової ізоляції.

Товщину теплової ізоляції розраховуємо за формулою (1.5)

$$\delta_{iз} = \frac{\lambda_{iз}}{\alpha_{н}} \cdot \frac{(t_{ст} - t_{iз})}{(t_{iз} - t_{окр})}, \qquad (1.5)$$

де $\delta_{iз}$ – товщина теплової ізоляції;

$\lambda_{iз}$ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу ізоляції;

$\alpha_{н}$ – коефіцієнт тепловіддачі у навколишнє середовище (повітря);

$t_{ст}$, $t_{iз}$, $t_{окр}$ – відповідно температури зовнішньої стінки апарату, навколишнього середовища та зовнішньої поверхні теплоізоляційного шару.

Приймаємо:

$t_{ст} = 49^0$ C;

$t_{нав} = 20^0$ C;

$t = 40^0$ C.

Коефіцієнт тепловіддачі можна розрахувати за наближеним рівнянням:

$$\alpha_{н} = 9,74 + 0,07 \cdot \Delta t = 9,74 + 0,07 \cdot 10 = 11,14 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}, \qquad (1.6)$$

де $\Delta t = t_{з} - t_{нав} = 40\text{-}20 = 20^0 C$.

Як ізоляційний матеріал вибираємо солевіт $\lambda_{из} = 0,098 Вт/м \cdot К$, тоді

$$\delta_{iз} = \frac{0,098}{11,14} \cdot \frac{(49-40)}{(40-20)} = 0,0395865 м = 39,5865 мм.$$

1.2.3 Технологічний розрахунок

Основною метою технологічного розрахунку є визначення діаметра та висоти сепаратора. Тип сепаратора, був заданий спочатку, таким чином необхідно визначте розміри трифазного сепаратора для розділення суміші нафти, газу і води.

Для проведення розрахунків необхідно перевести всі величини стандартну систему вимірювань (СІ).

$$Q_{\text{наф}} = 3000\,\frac{\text{м}^3}{\text{доба}} * \frac{\text{доба}}{24*60*60\text{с}} = 0{,}03472\ \text{м}^3/\text{доб} \qquad (1.7)$$

$$Q_{\text{вода}} = 283{,}593\,\frac{\text{м}^3}{\text{доба}} * \frac{\text{доба}}{24*60*60\text{с}} = 0{,}00382\ \text{м}^3/\text{с} \qquad (1.8)$$

Для того, щоб розрахувати витрати газу в умовах сепарації, необхідно врахувати стисливість газу. За допомогою рівняння стану ідеального газу розрахуємо щільність газу за стандартних умов та в умовах сепарації.

$$PV = z * \frac{m}{Mr} * RT\ , \qquad (1.9)$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{P*Mr}{z*R*T}, \qquad (1.10)$$

де ρ - щільність, кг/м ^{3};

P - Тиск у сепараторі, Па;

Mr – молекулярна маса, г/моль;

R - універсальна газова постійна, Дж / моль К ;

T - температура в сепараторі, К ;

z - Коефіцієнт (фактор) стисливості газу.

Для того, щоб розрахувати щільність газу, необхідно знати його молекулярну масу і коефіцієнт стисливості газу, для цього необхідний склад газу.

Задаємо склад газу Таблиця 1 та розраховуємо молекулярну масу суміші газів за формулою (1.1)

Таблиця 1.1. Компонентний склад газу.

Компонент	Мас.%	М, г/моль
C_4H_{10}	25	58
i - C_4H_{10}	5	58
C_2H_{16}	30	30
C_3H_{18}	25	44
CH_4	15	16

$$\text{Mr}_{\text{см}} = \sum x_i * Mr_i \qquad (1.11)$$

$$Mr_{\text{см}} = 33{,}081 \text{ г/моль}$$

Розрахуємо щільність газу за стандартних умов:

$$\rho_{\text{ст}} = \frac{1{,}015 * 10^5 * 33{,}081 * 10^{-3}}{1 * 8{,}31 * (273 + 20)} = 1{,}379 \text{ кг/м}^3$$

Отримана густина дорівнює заданій густині газу (1,4 кг/м ^{3}), отже, склад газу підібраний, правильно.

Для того, щоб обчислити щільність газу в умовах сепарації, розраховуємо z для кожного компонента суміші газу.

Чинник стисливості є функцією наведених параметрів:

$$z = 1 - (0.73\tau_{np} - 0.18)\pi_{np}, \quad (1.12)$$

де τ_{np}, π_{np} - наведені температура та тиск, відповідно.

Для сполук, нормальна температура яких не перевищує 235К, використовують вираз для розрахунку критичної температури:

$$T_{кр} = 1.7T_{кип} - 2 \quad (1.13)$$

Критичний тиск (Па) розраховується за рівнянням Льюїса:

$$\pi_{кр} = K\frac{T_{кр}10^5}{Mr} \quad (1.14)$$

де Mr – середня молекулярна маса;

K – константа, що дорівнює 6,3 – 6,4.

Розраховуємо густину кожного газу за рівнянням (1.15). Для розрахунку щільності суміші газів використовуємо принцип адитивності:

$$\rho_{см} = \sum y_i \cdot \rho_i \quad (1.15)$$

де $\rho_{див}$ - щільність суміші газів, кг/м ^{3} ;

ρ_i - щільність i -го компонента, кг/м ^{3} ;

y_i – об'ємна частка i компонента в суміші.

Таким чином, густина газу в умовах сепарації складе:

$$\rho_{\text{сеп}} = 10{,}463 \text{ кг/м}^3$$

Для того щоб обчислити витрату газу в умовах сепарації необхідно витрати газу за стандартних умов помножити на густину газу за стандартних умов і поділити на густину газу в умовах сепарації.

$$Q_{\text{газа}} = Q_{\text{ст-газ}} * \frac{\rho_{\text{ст-газ}}}{\rho_{\text{газ}}} = 80 \frac{\text{м}^3}{\text{доба}} * \frac{\text{доба}}{24 * 60 * 60\text{с}} * \frac{1{,}4}{10{,}463}$$

$$= 0{,}000124 \text{ м}^3/\text{с}$$

Продуктивність сепаратора газу, як і у випадку двофазного сепаратора, визначається максимальною швидкістю газу, при якій краплі нафти встигнуть осісти в газовому середовищі.

Цю швидкість можна обчислити на підставі рівняння Саудер -Брауна

$$U_{max} = K * \sqrt{\frac{(\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{газ}})}{\rho_{\text{газ}}}} \qquad (1.16)$$

Зазвичай значення коефіцієнта рівняння Саудер -Брауна при горизонтальній орієнтації сепаратора та наявності лопатевого краплевідбійника приймають рівним 0,12 м/с.

$$U_{max} = 0{,}12 * \sqrt{\frac{(780 - 10{,}463)}{10{,}463}} = 1{,}029 \text{ м/с}$$

Таким чином, знаючи швидкість та витрату газу, ми можемо порахувати мінімальну площу перерізу, необхідну для газової фази.

$$\text{A}_{\text{min}} = \frac{\text{Q}_{\text{газа}}}{\text{U}_{\text{max}}} = \frac{0{,}000124}{1{,}029} = 0{,}0001205 \text{ м}^2 \qquad (1.17)$$

Обчислимо швидкість осадження краплі води у шарі нафти. Задамо додаткову умову на розмір крапель води у шарі нафти, які мають бути більшими, ніж 500 нм (обводненість нафти після сепарації має бути не більше 10 %).

$$U_p = \frac{g * d_p^2 * (\rho_d - \rho_c)}{18 * \mu_c * \lambda} \qquad (1.18)$$

де d_p - Діаметр краплі води, м;

ρ_d – щільність дисперсної фази, кг/м ^{3};

ρ_c – щільність безперервної фази, кг/м ^{3} ;

μ_c - в'язкість нафти, Па * с;

λ – поправочний коефіцієнт;

$$\lambda = \frac{2*\mu_c+3*\mu_d}{3(\mu_c+\mu_d)} \quad (1.19)$$

Тоді швидкість осадження краплі води у шарі нафти дорівнює:

$$\lambda = \frac{(2 * \mu_{\text{нафт}} + 3 * \mu_{\text{вода}})}{3(\mu_{\text{нафта}} + \mu_{\text{вода}})} = \frac{2 * 10 + 3 * 1}{3(10 + 1)} = 0{,}74$$

$$U_p = \frac{9{,}81 * (500 * 10^{-6})^2 * (1070 - 7800)}{18 * 10 * 10^{-3} * 0{,}74} = 5{,}33 * 10^{-3} \text{ м/с}$$

Дане рівняння зазвичай використовується для розрахунку максимальної осьової швидкості потоку, при цьому зазвичай приймається, що дана швидкість дорівнює швидкості осадження/випливання краплі, помноженої на п'ятнадцять:

$$U_{ax} = 15 * U_p = 15 * 5{,}33 * 10^{-3} = 7{,}99 * 10^{-2} \text{ м/с} \quad (1.20)$$

Для того, щоб запобігти утворенню турбулентних завихрень між нафтової та водної фазами, аксіальні швидкості руху цих двох фаз мають бути постійними.

Розрахуємо мінімальну площу перерізу сепаратора, необхідну для поділу водної та нафтової фаз.

$$\text{A}_{\text{кон}} = \frac{\text{Q}_{\text{н}}}{\text{U}_{\text{ах}}} = \frac{0{,}03472}{7{,}99*10^{-2}} = 4{,}34 \text{ м}^2 \quad (1.21)$$

$$\text{A}_{\text{вода}} = \frac{Q_{\text{вода}}}{U_{ax}} = \frac{0{,}00382}{7{,}99*10^{-2}} = 0{,}478 \text{ м}^2 \quad (1.22)$$

Площа перерізу сепаратора для відділення газу зазвичай приймається рівною від загальної площі перерізу сепаратора:

$$\text{A}_{\text{газ}} = \frac{1}{4}*(\text{A}_{\text{газ}} + \text{A}_{\text{н}} + \text{A}_{\text{вода}}) \Rightarrow \quad (1.23)$$

$$\text{A}_{\text{газ}} = \frac{(\text{A}_{\text{н}} + \text{A}_{\text{вода}})}{3} = \frac{(4{,}34 + 0{,}478)}{3} = 1{,}606 \text{ м}^2$$

Таким чином, сумарна площа сепаратора дорівнює:

$$\text{A}_{\text{сеп}} = (\text{A}_{\text{газ}} + \text{A}_{\text{н}} + \text{A}_{\text{вода}}) = 4{,}34 + 0{,}478 + 1{,}606 = 6{,}424 \text{ м}^2 \quad (1.24)$$

Мінімальний діаметр сепаратора дорівнює:

$$D = \sqrt{\frac{4*A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4*6,424}{3,14}} = 2,86 \text{ м} \qquad (1.25)$$

Відношення довжини сепаратора до діаметра називається коефіцієнтом стрункості сепаратора (SR – Slenderness Ratio). Для стандартних сепараторів це співвідношення зазвичай залишається приблизно постійним і дорівнює s =4,5.

Таким чином, *мінімальна довжина сепаратора дорівнює:*

$$L = s * D = 4,5 * 2,86 = 12,87 \text{ м} \qquad (1.26)$$

Обсяг сепаратора дорівнює:

$$V = A * L = 6,424 * 12,87 = 82,67688 \text{ м}^3 \qquad (1.28)$$

Розрахуємо рівні розділу фаз, розташування рівнів розділу фаз. показано рисунку 1.13.

Знаходження висоти перерізу при відомій площі сегмента може бути вирішена в аналітичній формі, проте зручніше користуватися спеціальною діаграмою, яка дозволяє легко переходити від площі, зайнятої фазою, до висоти перерізу.

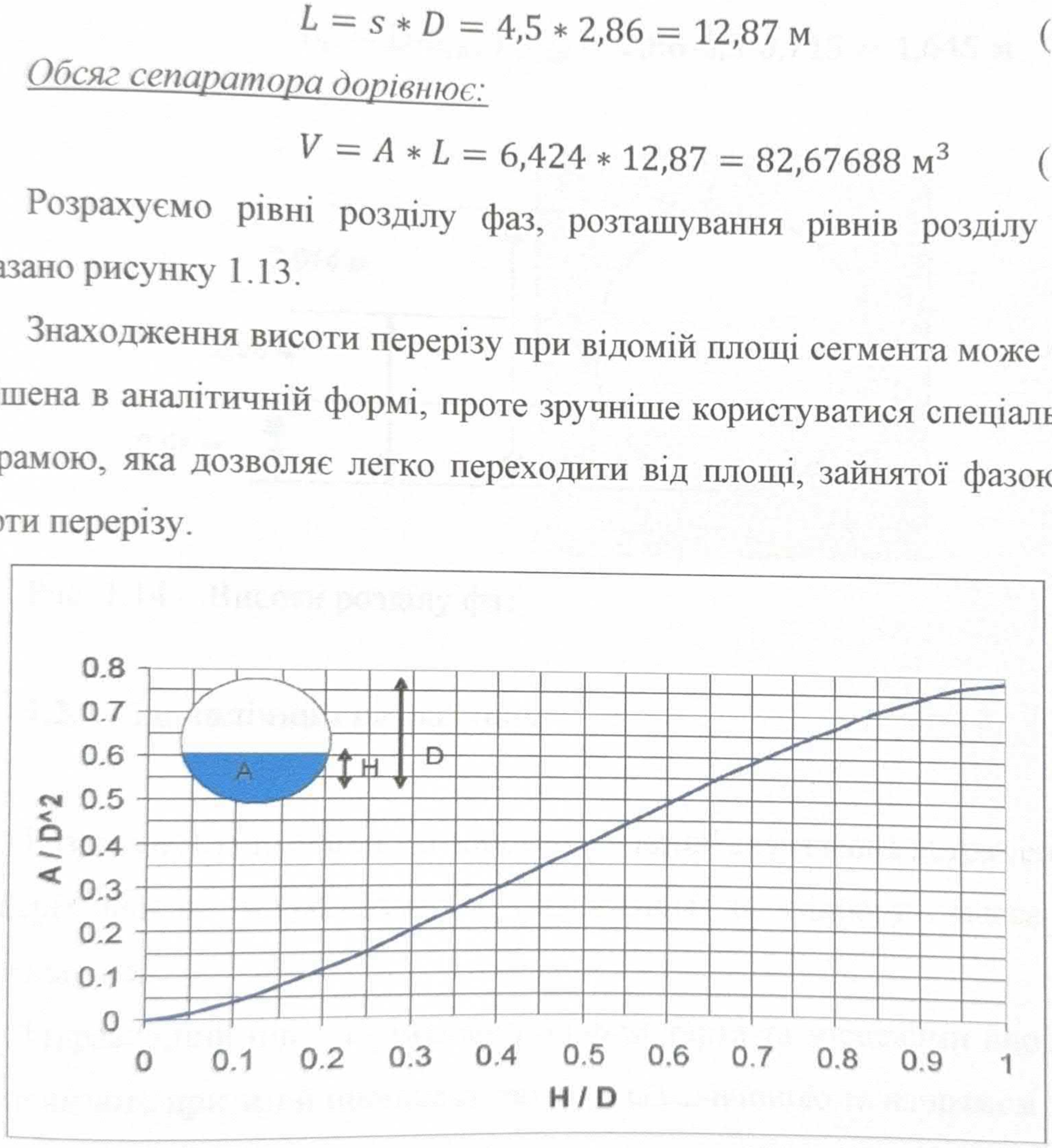


Рис. 1.13 – Залежність об'єму рідини від рівня поділу фаз у горизонтальному сепараторі

Відношення A / D ^{2} = 0,78 за графіком знаходимо H / D , що дорівнює 0,17. З відношення H / D знаходимо H. Таким чином, рівень поділу фаз вода/нафта дорівнює 0,5м.

Шар газу займає ¼ від загальної площі перерізу в її верхній частині, а отже, рівень поділу фаз дорівнює

$$h_{\text{газа}} = 0{,}25 * D = 0{,}25 * 2{,}86 = 0{,}715 \text{ м} \quad (1.29)$$

Висоту шару нафти можна розрахувати як різницю між діаметром сепаратора та товщинами шарів нафти та води:

$$h_{\text{н}} = D\text{-}h_{\text{газ}}\text{-}h_{\text{вода}} = 2{,}86\text{-}0{,}5\text{-}0{,}715 = 1{,}645 \text{ м} \quad (1.30)$$

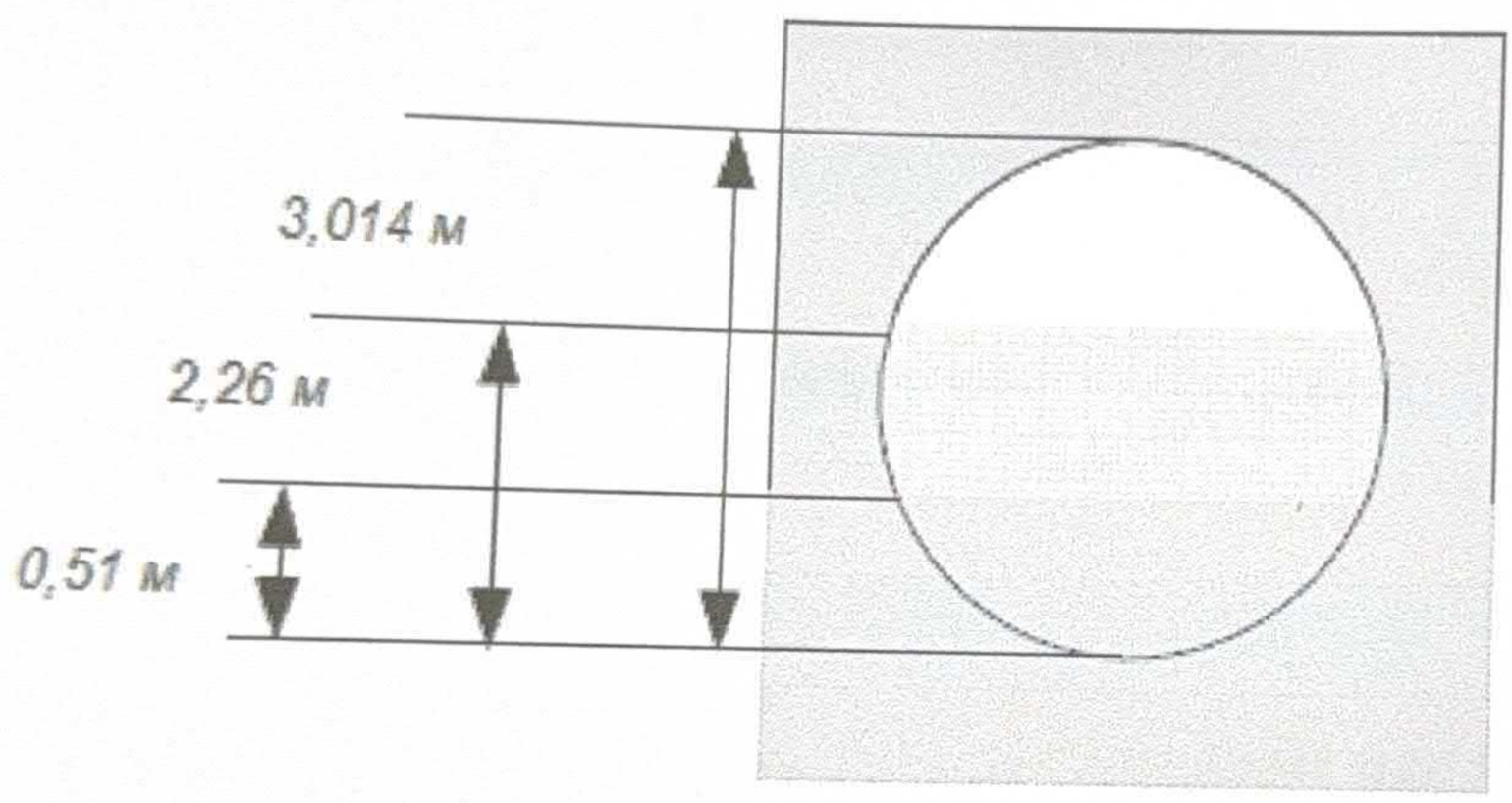


Рис. 1.14 – Висоти розділу фаз

1.2.4 Гідравлічний розрахунок

Розрахунок гідравлічного опору необхідний визначення витрат енергії переміщення технологічного середовища та підбору насоса для реміщення.

Гідравлічний опір обумовлено опором тертя та місцевими опорами, виникають при зміні швидкості потоку за величиною та напрямом.

Для визначення втрат на тертя та місцеві опори розраховують терій Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{wD\rho}{\mu} \quad (1.31),$$

де w - Швидкість вхідного потоку в апарат, м / с;

D - діаметр апарату, м;

ρ - густина газу, кг/м ^{3};

μ - в'язкість газу динамічна, Па · с .

Динамічну в'язкість газу порахували у програмі Hysys , $\mu=0,99*10^{-5}$ Па·с .Швидкість вхідного потоку апарат приймемо рівної 1,5 м/с.

$$\mathrm{Re} = \frac{1,5 \cdot 2,86 \cdot 10,463}{0,99 \cdot 10^{-5}} = 45339,6,$$

тобто. режим руху середовища турбулентний

Абсолютну шорсткість стін апарату приймаємо рівною $\Delta = 0,1 \cdot 10^{-3}$ *м* [22]. Тоді відносна шорсткість стін апарату дорівнює:

$$e = \frac{\Delta}{D} = \frac{0,1 \cdot 10^{-3}}{2,86} = 3,497 \cdot 10^{-4} \qquad (1.32)$$

Далі визначають такі величини: $\frac{1}{e} = 2859,6$; $10 \cdot \frac{1}{e} = 28596$;

$560 \cdot \frac{1}{e} = 1601376$.

Оскільки $10 \cdot \frac{1}{e} \le \mathrm{Re} \le 560 \cdot \frac{1}{e}$ приймаємо, що в апараті має місце змішане тертя. У цьому випадку коефіцієнт тертя визначається за формулою [22]:

$$\lambda = 0,11\left(e + \frac{68}{\mathrm{Re}}\right)^{0,25} = 0,11\left(3,32 \cdot 10^{-5} + \frac{68}{4776504}\right)^{0,25} = 02,96 * 10^{-3} \qquad (1.33)$$

Гідравлічний опір апарату розрахуємо за формулою [11]:

$$\Delta p = \lambda \frac{L}{D} \frac{w^2 \rho}{2} \qquad (1.34)$$

де L , D - Довжина і діаметр апарату, м;

w - швидкість газової фази, м/с;

ρ - густина рідкої фази, кг/м ^{3} .

$$\Delta p = 2,96 * 10^{-3} \cdot \frac{12,86}{2,86} \cdot \frac{1,029^2 \cdot 780}{2} = 5,5 \ Па .$$

1.3 Опис вибраного технологічного обладнання

Горизонтальний трьохфазний нафтогазовий сепаратор призначений для розділення газу, нафти та води, що містяться у видобутій продукції. Його робота ґрунтується на використанні різниці в густині компонентів і гравітаційних сил.

Потік вхідного флюїду надходить у сепаратор через вхідний патрубок, де починається попереднє відділення газової фази від рідин. Далі флюїд потрапляє в зону грубого сепарування, де напрямок потоку змінюється, що сприяє виділенню основної частини газу. Газ підіймається вгору і проходить через жалюзійні пакети, де відбувається остаточне відділення дрібних крапельок рідини, після чого він відводиться через вихідний патрубок.

Рідка фаза переміщається в нижню частину сепаратора, де відбувається поділ на нафту і воду завдяки різниці в їх густинах. Процес прискорюється за рахунок встановлених перегородок і демпферів, які сповільнюють рух рідини. Вода осідає в нижньому відсіку, а нафта збирається у верхньому. Для забезпечення точного відділення використовуються переливні перегородки і контрольні рівнеміри.

Вода виводиться з сепаратора через дренажний отвір, а нафта відкачується через окремий вихідний патрубок. Весь процес супроводжується постійним контролем рівнів фаз і тиску для підтримки стабільності роботи обладнання. Технічні характеристики сепаратора:

Тип	нафтогазовий
Продуктивність по нафті, м³/добу	3000
Розрахунковий робочий тиск, мПа	0,6
Максимальний робочий тиск, мПа	2,5
Діометр апарата, мм	3000
Максимальний дренуємий об'єм, м³	5,2/3,2
Питомі металозатрати, кг/млн.м³	1550
Маса, кг	35000
Габарити, мм (ширина, висота)	4312/15250

Основна секція сепарації призначена для відокремлення основної частини рідини (нафти, газового конденсату, води) від вхідного газорідинного потоку. Для забезпечення високоефективної попередньої сепарації та рівномірного розподілу потоку по секції апарата використовують конструктивні пристрої:

Тангенційний введення потоку: рідина під впливом центробежної сили відкидається до стінки судна і стікає по ній, а газ розподіляється по секції апарата та виводиться.

Отражаючі пристрої: пластини прямокутної або круглої форми, полусфери, встановлюються на вході в сепаратор.

Вбудований циклон: встановлюється на вході в горизонтальний сепаратор. Конструкції, що дозволяють здійснити окремий ввід газу та рідини в сепаратор.

Ці конструктивні елементи сприяють ефективній роботі сепаратора, забезпечуючи оптимальне розділення фаз і підвищену продуктивність.

Відстійник. У цій секції газонафтових сепараторів відбувається додаткове виділення бульбашок газу з рідини. У газових сепараторах рідина в даній секції відокремлюється під дією гравітаційних сил, а газ рухається у судині з відносно низькою швидкістю. У газових сепараторах деяких конструкцій для зменшення турбуленції використовують різні пристрої - пластини, циліндричні та напівциліндричні поверхні [5].

Секція збору рідини. Призначена для збору рідини, з якої майже повністю в попередніх секціях виділився газ при температурі та тиску в сепараторі. Однак у ній ще є певна кількість газу. Для сепараторів об'єм цієї секції вибирають так, щоб він дозволяв утримувати відокремлену рідину протягом часу, необхідного для виходу бульбашки газу на поверхню та вторинного потрапляння в газовий потік [4].

Секція краплезбірника. Призначена для збору частинок рідини в виходячому з сепаратора газі. Секція зазвичай складається з амортизаторів

(насадок) різного виду - керамічних кілець, жалюзі, пакетів з плетеної дротяної сітки і т. д. Критерієм ефективності відокремлення крапельної рідини від газу є величина специфічного винесення рідини, яка повинна знаходитися в межах від 10 до 50 мг/м^3 газу.

Ефективність роботи амортизаторів залежить від декількох факторів, основними з яких є: допустима швидкість наступання газу, визначена кількість рідини, що поступає з газом, рівномірне навантаження амортизатора за площею його поперечного перерізу.

Крім функцій, які виконують описані секції, в конструкціях сепараторів повинні передбачатися елементи, які запобігають утворенню піни і загасають її, а також зменшують шкідливий вплив пульсації газорідкісного потоку на сепарацію рідини і газу [6].

Внутрішньокорпусні пристрої сепараторів. Ефективність сепарації визначається внутрішнім устроєм сепаратора. Важливо відзначити, що багато пристроїв, які суттєво покращують ефективність сепарації, є патентованими. Багато виробників на сьогодні пропонують свої спеціальні високоефективні внутрішньокорпусні пристрої. У даному посібнику будуть розглянуті основні типи внутрішньокорпусних пристроїв, їх ефективність, а також можливі недоліки та ускладнення, пов'язані з їх встановленням [9].

Як вже було показано раніше, вхідні перегородки встановлюються на вході в сепаратор, де відбувається різке змінення імпульсу та напрямку руху багатофазного потоку. Вхідна перегородка може бути плоскою пластиною, швелером з конструкційної сталі, сферичною тарілкою або конусом (рисунок 1.15).

Останні два варіанти створюють менше перешкод, ніж пластини або кутові профілі, зменшуючи ймовірність проблем з повторним винесенням рідини та утворенням емульсій [9].

Вхідні перегородки. Вхідні перегородки грають ключову роль у вдосконаленні процесу сепарації. Різноманітні форми, такі як плоскі

пластини, швелери, сферичні тарілки чи конуси, забезпечують різке змінення імпульсу та напрямку багатофазного потоку при вході в сепаратор.

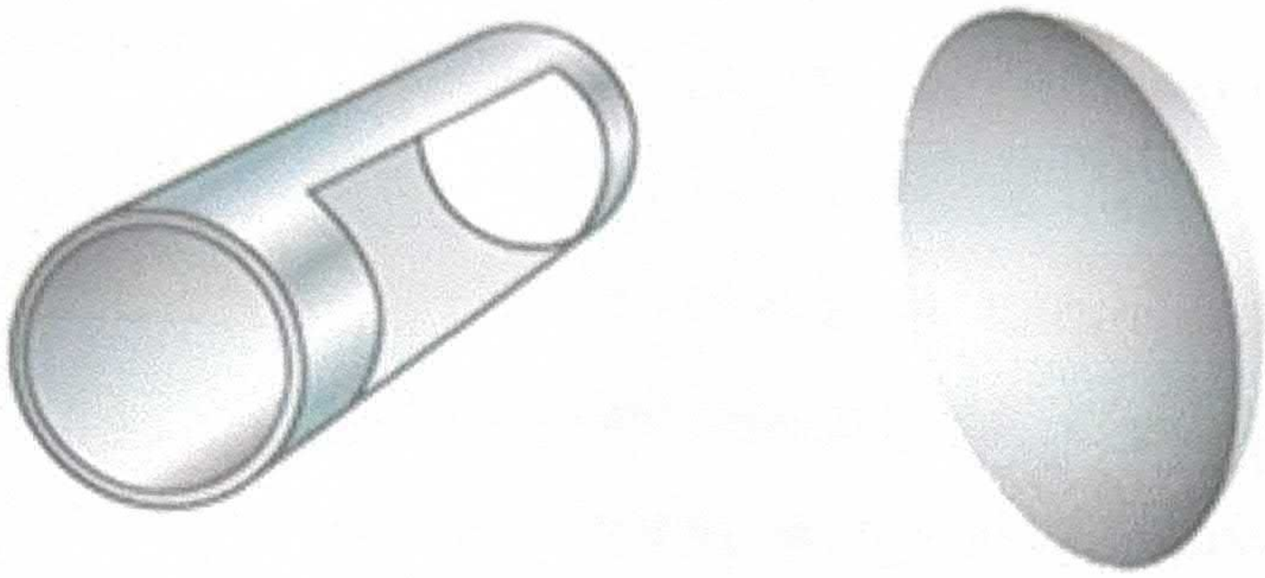


Рис. 1.15 – Вхідна перегородка

Переливні перегородки. Як вже було згадано раніше, відмінною рисою процесу трифазної сепарації є утворення дисперсної зони між шарами нафти і води. Конструкція вихідної перегородки має важливе значення для точного поділу фаз, причому рідина з дисперсної зони має потрапити у вихідні патрубки сепаратора. Тому контролю міжфазного рівня необхідно виміряти різницю щільностей нафти і води. Наявність емульсій може перешкоджати такому виміру. Рівні нафти або води можна виміряти плаваючими датчиками рівня, які поєднують простоту конструкційного рішення та надійність у процесі експлуатації.

Розглянемо основні типи переливних перегородок, що використовуються у конструкції трифазного сепаратора.

Проста переливна перегородка. Переливна перегородка є простою по конструкції та відносно недорогий. Вона дозволяє легко розрізняти водну та нафтову фази протягом відносно короткий період часу. Однак, при цьому необхідно забезпечити точний контроль міжфазного рівня, а наявність відсіку збирання нафти скорочує об'єм частини сепаратора, призначеної для сепарації

Ємність та переливна перегородка . У даній конструкції нафта та міжфазні рівні фіксуються відповідно перегородками для нафти та води. У зв'язку з цим використовуються лише плаваючі датчики рівня. У цьому

прикладі відсік збору води скорочує обсяг частини сепаратора, призначений для сепарації.

Ємність та вертикальна труба: альтернативна конструкція передбачає відкачування нафти та води за допомогою насосів по вертикальних трубах вгору апарата. Регулятори рівня нафти та води використовуються для контролю за включенням/вимкненням насоса .

Високоефективні внутрішньокорпусні пристрої. Багато виробників пропонують високоефективні внутрішньокорпусні пристрої, що патентовані для покращення процесу сепарації. Ці пристрої можуть значно підвищити рівномірність розділення фаз та зменшити можливість виникнення проблем повторного винесення рідини та утворення емульсій.

Переваги і недоліки. Використання внутрішньокорпусних пристроїв має свої переваги, такі як підвищена ефективність сепарації, але може також призвести до деяких недоліків та ускладнень, пов'язаних із їх встановленням. Докладне вивчення цих аспектів є ключовим для вибору оптимального внутрішньокорпусного пристрою для конкретного сепаратора.

Жалюзійні краплевідбійники (хвильові). Хвильові каплевідбійники представляють собою вертикальні перегородки, встановлені в горизонтальних апаратах перпендикулярно потоку, для збільшення розриву між газом і рідиною.

Піногасіння. Утворення піни в газовій фазі може призвести до зайвого винесення рідини в газову фазу. Щоб запобігти цьому, використовують матеріали для заповнення, які можуть бути поміщені на шляху виходу газової фази. Ці матеріали обмежують потік і створюють додаткову площу поверхні, сприяючи розпаду піни.

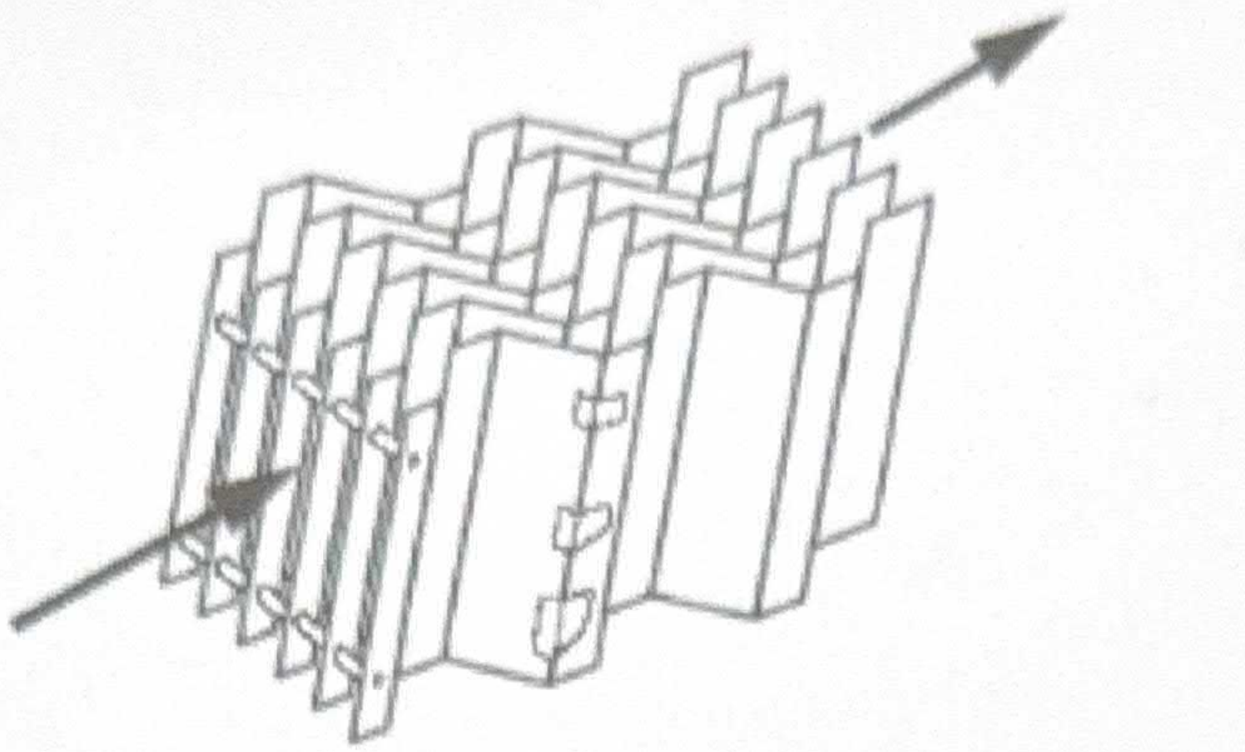


Рис. 1.16 – Жалюзійні краплевідбійники

Коалесцирующие пристрої – це спеціальні пристрої, які поміщають у сепаратор збільшення діаметра частинок дисперсної фази, у результаті збільшується швидкість їх осадження. Таким чином, за допомогою даних пристроїв можна зменшити розмір сепаратора. Коалестуючий пристрій може являти собою набивний матеріал пластинчастого типу з поперечним потоком або набивання матричного типу.

Сітчасті каплеуловлювачі. Сітчасті каплеуловлювачі виготовляються зі сітки, зазвичай 0.05-0.5 мм в діаметрі (рисунок 1.16). При використанні пристроїв такого типу особлива увага повинна бути приділена швидкості проходження газу. Занадто низька швидкість не дозволить краплям рідини зіткнутися і зливатися, а занадто велика швидкість призведе до повторного винесення крапель.

Антизавихрювачі. Утворення завихрень може відбуватися на виході з апарата, що перешкоджає процесу сепарації та сприяє унесенню газу в випускний отвір для рідини. Для запобігання утворенню завихрень застосовуються антизавихрювачі. Вони здійснюються шляхом утримання відповідного рівня рідини вище випускного штуцера і встановленням спеціальних загасників завихрень (рис. 1.17).

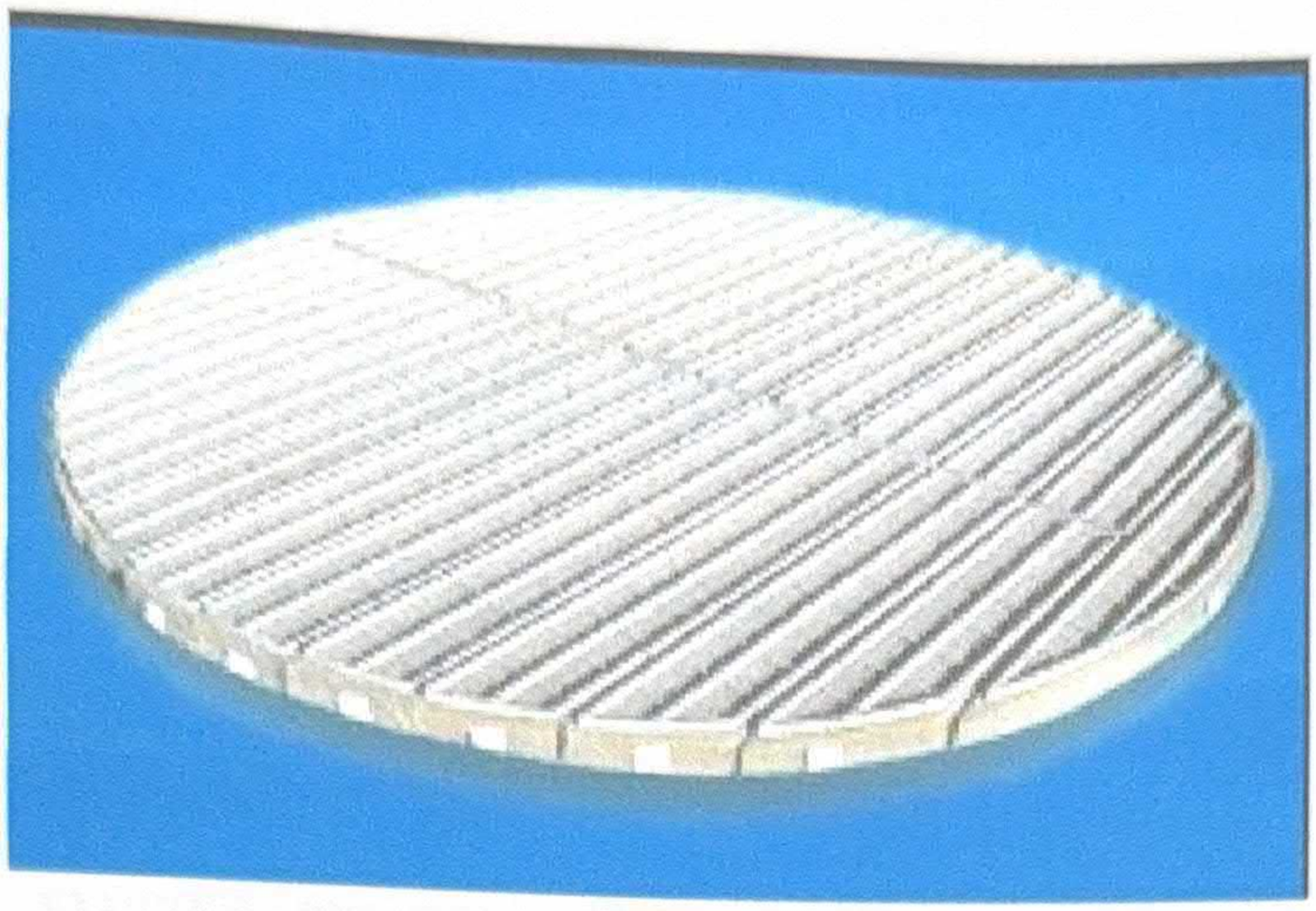


Рис. 1.16 – Сітчасті краплеуловлювачі

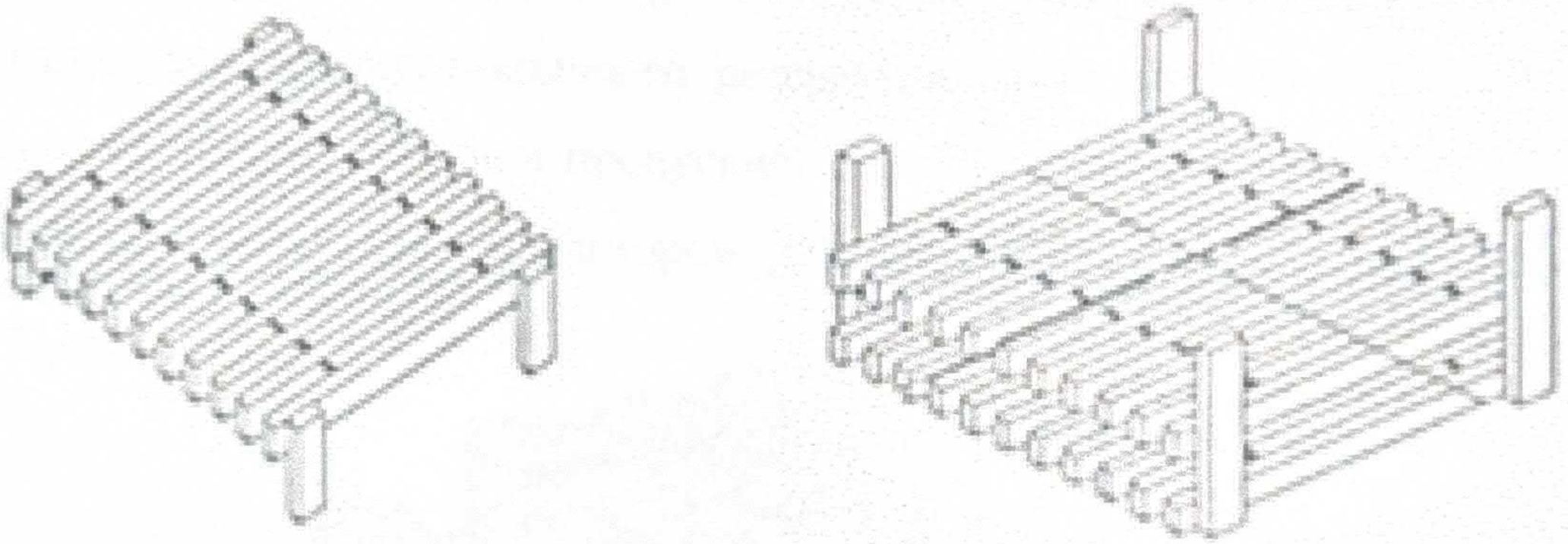


Рис. 1.17 – Антизавихрювачі

Для ефективного функціонування антизавихрювачів зазвичай потрібен мінімальний рівень рідини, рівний 2D, для розділення газ/рідина і 3D для розділення рідина/рідина, де D - діаметр вихідного штуцера.

2 Опис технічної пропозиції

2.1 Опис модернізованої конструкції

В обраному нафтогазовому сепараторі запропоновано такі модернізації: встановлення інерційно-фільтруючого краплевловлювача жалюзійного типу.

Зокрема, компанія Kvaerner Process Systems розробила двоциліндровий вхідний пристрій. При використанні цього обладнання відбувається зниження утворення піни та поліпшення розподілу подаваного флюїду. Центробежні пристрої можуть бути встановлені на вхідному фланці горизонтального або вертикального резервуара і можуть бути особливо ефективними для поліпшення пропускної здатності газу через сепаратори для нафти з високим газовим фактором, рисунок 1.3 [8].

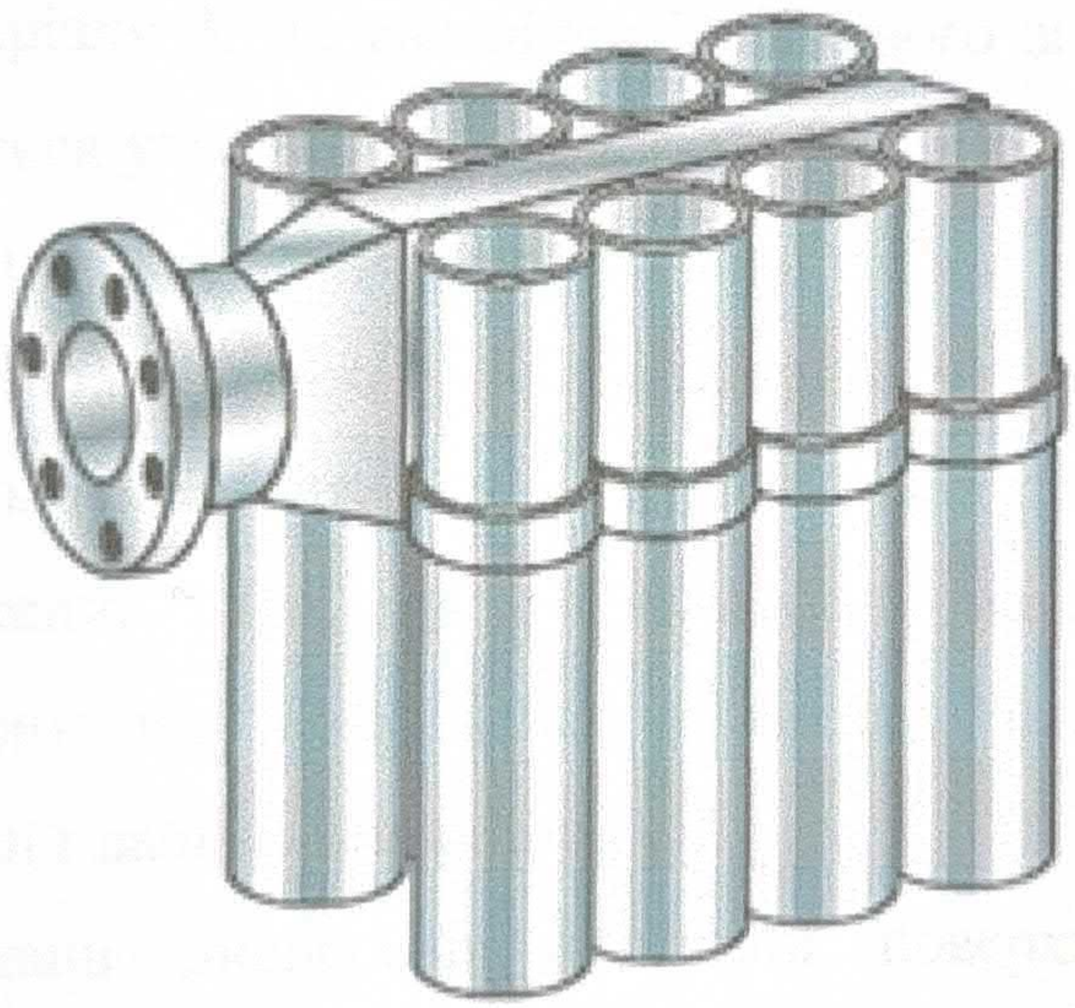


Рис. 2.1 – Центробіжний вхідний пристрій

Більш детально зупинимося на інерційно-фільтруючих краплевловлювачів жалюзійного типу. Схема геометрії каналів та руху потоків в інерційно-фільтруючих елементах на рисунку 2.2.

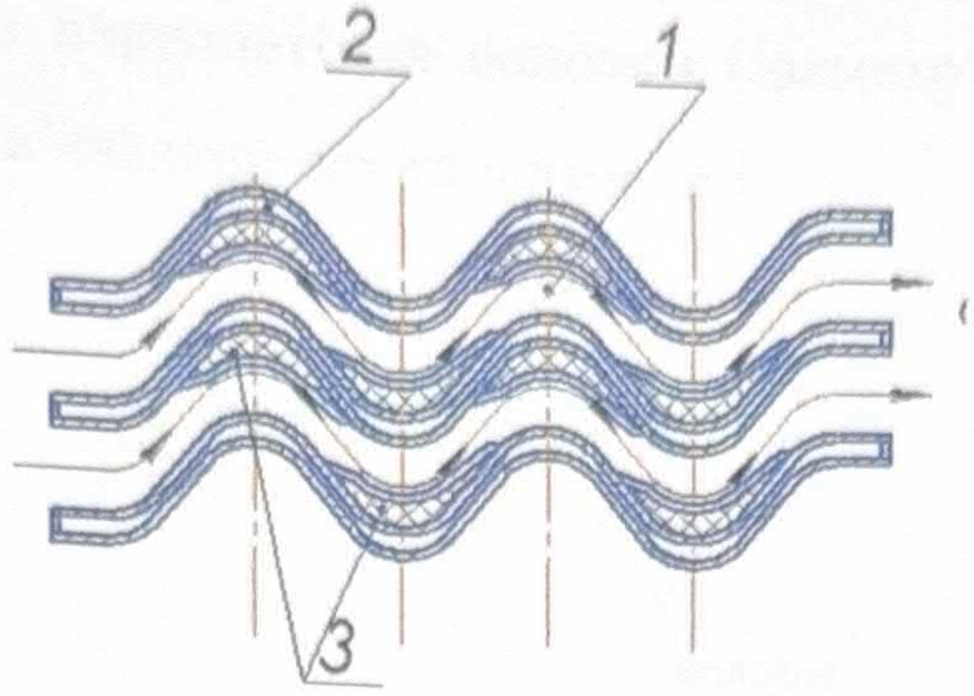


Рис. 2.2 – Схема руху потоків в інерційно-фільтруючому обладнанні: 1 - газорідинний потік; 2 – жалюзі; 3 - фільтруючі елементи

Жалюзійний пакет, що являє собою криволінійні канали 1, утворені гофрованими пластинами 2. Під дією відцентрових сил краплі рідини перерозподіляються по перерізу криволінійного каналу. Частина потоку, найбільш насичена краплями рідини, спрямовується на смуги з волокнистого матеріалу 3, де внаслідок інерційного зіткнення та ефекту торкання відбувається уловлювання крапель. Далі, в результаті протікання вторинних процесів осадження крапель, що знову надходять, на вже обложених і капілярних явищ у волокнистому матеріалі відбуваються збільшення середнього розміру частинок дисперсної фази та їх подальше гравітаційне осадження. Шар смуг з волокнистого матеріалу насичується уловленою рідиною, що відводиться у вигляді плівки на поверхні гофрованих пластин і далі - з сепаратора [6].

При досягненні дисперсної частинки поверхні, яка обмежує криволінійний сепараційний канал, крапля попадає в фільтр, як показано на рисунку 2.3.

Як фільтруючі матеріали в сітчастих відбійників й фільтр-коалєсцерів при сепарації рідини із газового потоку можна використовува металеві сітки, волокнисті матеріали із синтетичних волокон, що отримуються

методом механічного переплетіння волокон (діаметр до 40 мкм), голко-пробивним методом, в'язально-прошивним та ін.

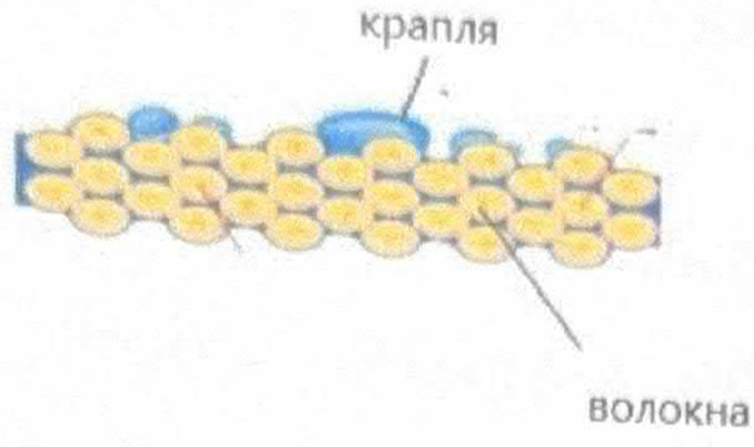


Рис. 2.3 – Схема захвату краплі фільтром

В результаті, структура волокнистого шару може приймати як постійну форму, так і вигляд переплетених волокон, що розташовані у різних напрямах, визначаючи анізотропію і характерні властивості. У цьому випадку фільтруючі елементи з волокнистого матеріалу повинні бути розташовані на стінках мереживоподібних інерційно-фільтруючих каналів так, щоб пропускна здатність у вертикальному напрямку значно перевищувала значення проникності у горизонтальному напрямку. Оскільки головна мета фільтруючих елементів у інерційних сепараційних каналах - уникнення вторинного бризкоунесення шляхом утримання плівки розділеної рідини і коалесценції дрібнодисперсних крапель за рахунок адгезії їх до поверхні волокон, при виборі фільтрувальних матеріалів, як і матеріалів жалюзі, рекомендується віддавати перевагу матеріалам з гідрофільними, олеофільними та іншими характеристиками в залежності від призначення (сепарація зволоженого газу, вуглеводневого конденсату і т.п.) або їх комбінацій [15].

Основні переваги синтетичних волокнистих матеріалів, зокрема термопластичного полімеру пропілену (поліпропілену), який посідає друге місце у світі за обсягом споживання полімерів (випереджаючи лише поліетилен), включають низьку густину, високу міцність та стійкість до стирання, високу хімічну стійкість, гідрофобність та олеофільність [17]. З огляду на особливо ці властивості, які було зазначено вище, пропонується

використовувати волокнисті матеріали, зокрема ті, що базуються на поліпропілені, в ролі фільтрувального матеріалу для насадкових жалюзійних інерційно-фільтруючих сепараційних пристроїв. Це може забезпечити переваги як при індустріальній сепарації вуглеводневої сировини в технологічних лініях і комплексах нафтогазопереробних підприємств, так і в системах очищення газових викидів хімічних виробництв з вмістом кислотно-лугових компонентів.

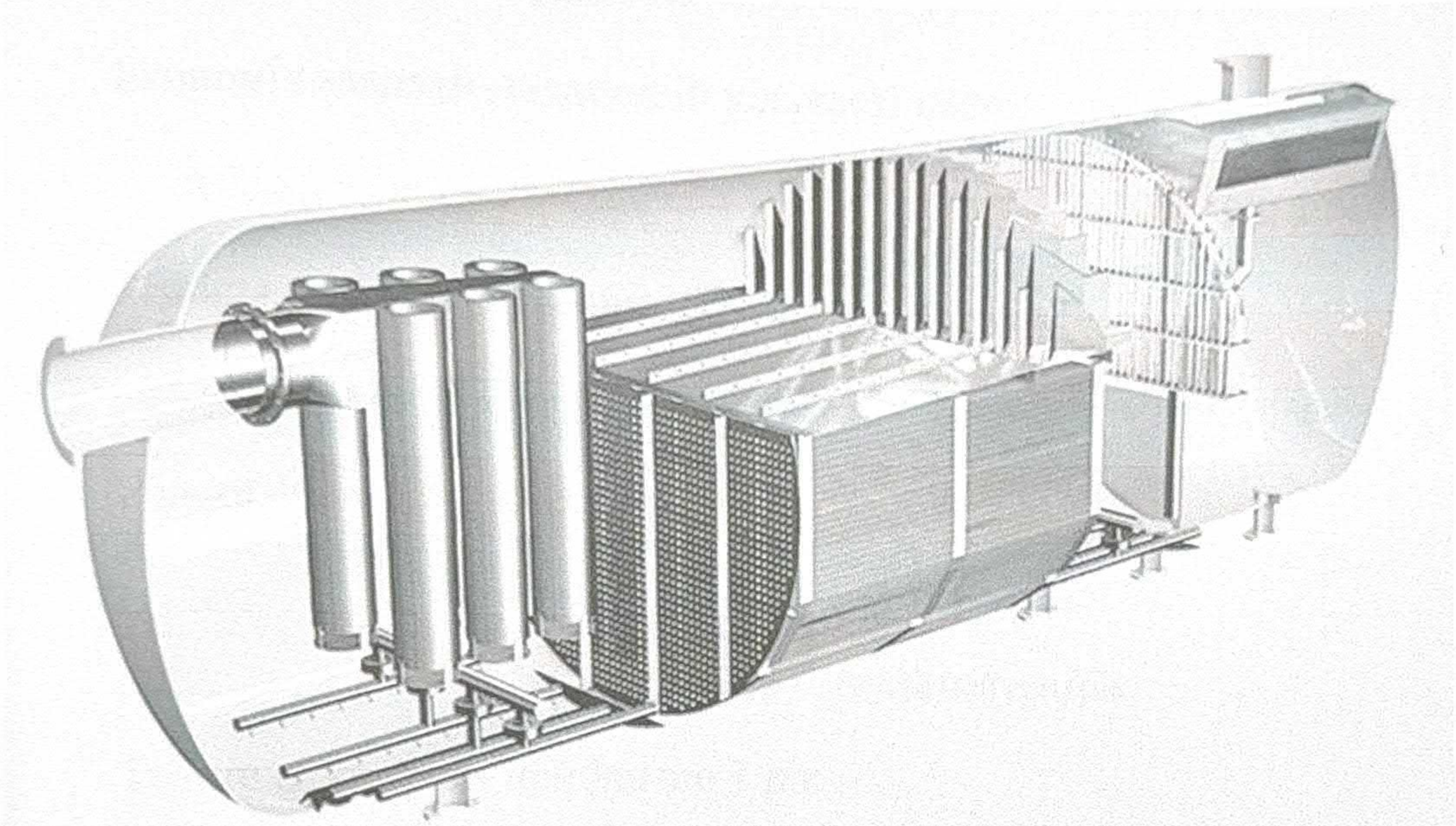


Рис. 2.4 – Модель модернізованого сепаратора

2.2 Оцінка економічної ефективності

При модернізації встановлене обладнання: інерційно-фільтруючі краплевловлювачі жалюзійного типу. З літературного огляду відомо, що ефективність сепараторів з інерційно-жалюзійними пакетами складає 99%

Річна кількість нафтогазової суміші: Q=854 000 т/рік.

Початкова ефективність сепарації: $\eta_{до}$=97%.

Ефективність після модернізації: $\eta_{після}$=99%.

Вартість тони нафти: $P_{нафта}$=21 000 грн/т.

Вартість обслуговування до модернізації: $C_{до}$=100 000 грн/рік.

Вартість обслуговування після модернізації: $C_{після}$=150 000 грн/рік.

Вартість обладнання: $K_{об}$=50 000 грн.

Вартість монтажу: $K_{мон}$=150 000 грн.

Додатково отримана рідинна фаза:

$$\Delta m_{\text{рідка}} = Q \cdot (\eta_{\text{після}} - \eta_{\text{до}}) = 854\,000 \cdot (0{,}99 - 0{,}97) = 17\,080\,\text{т/рік.} \quad (2.1)$$

Вміст нафти в додатково отриманій рідинній фазі:

$$m_{\text{нафта}} = \Delta m_{\text{рідка}} \cdot 0{,}2 = 17\,080 \cdot 0{,}2 = 3\,416\,\text{т/рік.} \quad (2.2)$$

Економія завдяки додатковій кількості нафти:

$$\Delta C_{\text{нафта}} = m_{\text{нафта}} \cdot P_{\text{нафта}} = 3\,416 \cdot 21\,000 = 71\,736\,000\,\text{грн/рік.} \quad (2.3)$$

Різниця в обслуговуванні:

$$\Delta C_{\text{обслуговування}} = C_{\text{до}} - C_{\text{після}} = 100\,000 - 150\,000 = -50\,000\,\text{грн/рік.} \quad (2.4)$$

Річний економічний ефект:

$$\Delta C_{\text{економія}} = \Delta C_{\text{нафта}} + \Delta C_{\text{обслуговування}} =$$
$$= 71\,736\,000 - 50\,000 = 71\,686\,000\,\text{грн/рік.} \quad (2.5)$$

Термін окупності приблизно 1 рік.

3. Дослідно-конструкторська робота

3.1 Розрахунок жалюзійних пакетів

Розглянемо алгоритм розрахунку та ряд математичних залежностей необхідних для розрахунку інерційно-фільтруючих сепараторів заданої продуктивності.

В результаті проведення розрахунків необхідно отримати геометричні розміри жалюзі: висота пакета, розміри жалюзі (радіус гофр, кількість гофр, довжина прямолінійної ділянки, кут розкриття гофр), кількість жалюзі, висоту, на якій повинні бути розміщені щілини для відведення уловленої рідини з фільтра. Далі розраховується необхідна висота сепаратора, діаметр, розміри технологічних патрубків.

Вихідні дані для інженерного розрахунку інерційно-фільтруючого сепаратора:

- фракційний склад рідини в газі (кількість кожної з фракцій у відсотках та масовий склад);
- об'ємна витрата газу, $м^3/с$;
- вимоги щодо ефективності сепаратора;
- наявність твердих частинок (є, ні);
- фізичні властивості газу та рідини (щільність, в'язкість);
- термодинамічні умови в сепараторі (температура та тиск).

Інженерна методика розрахунку інерційно- фільтруючого газосепаратора.

Розраховуємо витратні характеристики потоків у робочих умовах [17]:

$$\rho = \rho_0 \frac{T_0}{T}, \rho_0 = \frac{M}{22,4}. \quad (3.1)$$

Масову витрату газу та рідини розраховуємо за формулою нижче [15]:

$$G = \rho_0 V_0 \quad (3.2)$$

$$L_0 = C_0 V_0. \quad (3.3)$$

Об'ємна витрата газу в робочих умовах [17]:

$$V = \frac{22,4G}{M}\frac{TP_0}{TP}Z.$$ (3.4)

Потрібна площа прохідного перетину жалюзійного пакету S, м^2, визначається з заданої продуктивності газосепаратора по газу Q, м^3/добу

$$Q=8,64\cdot10^4\, v_г \varphi S\frac{pT_0}{zp_0T},$$ (3.5)

де vг – припустима швидкість газу у насадковому інерційно-фільтруючому сепараційному елементі, м/с;

ϕ - відносна площа живого перетину насадки (для інерційно-фільтруючого ϕ=0,9) , м^2/м^2;

р та Т – робочі тиск та температура у сепараторі відповідно (тиск та температура у нормальних умовах р0=0,6·10^6 Па, T_0 =273 К);

z - коефіцієнт стискання газу в умовах сепарації, з розрахунків розділу 3 приймаємо 0,9217

$$v_г = A\sqrt{\frac{\rho_ч - \rho_г}{\rho_г}},$$ (3.6)

$$V_г = 0,272\sqrt{\frac{780\text{-}329,8}{329,8}} = 0,32$$

де А – безрозмірний критерій, визначається заданим значенням кількості вологи, що уноситься газовим потоком (коефіцієнтом унесення), для такого типу сепаратора А=0,272;

ρч та ρг – густина дисперсних часток (780 кг/м^3 нафти) та суцільного середовища (329,8 кг/м^3 природного газу), кг/м

$$S = \frac{2.493\cdot10^3\cdot0.9217\cdot0,6\cdot10^6\cdot288}{8.64\cdot10^4\cdot0,32\cdot0,9\cdot2,77\cdot10^3\cdot273} = 2,1$$

$$V_{ж}=V_{ф}^{эл} \cdot mV_{ж},$$ (3.10)

де m - пористість фільтра

$$n_{эл} = H/h_{эл}$$ (3.11)

Кількість уловленої рідини одним мінімальним елементом у першій (найбільш навантаженій) гофрі

$$V_{ж.ул} = \frac{\eta \cdot L_0}{P_ч \cdot j \cdot n_k \cdot K_1 . n_{эл}},$$ (3.12)

де K_1 - частина рідини, яка вловлюється у першій гофрі.

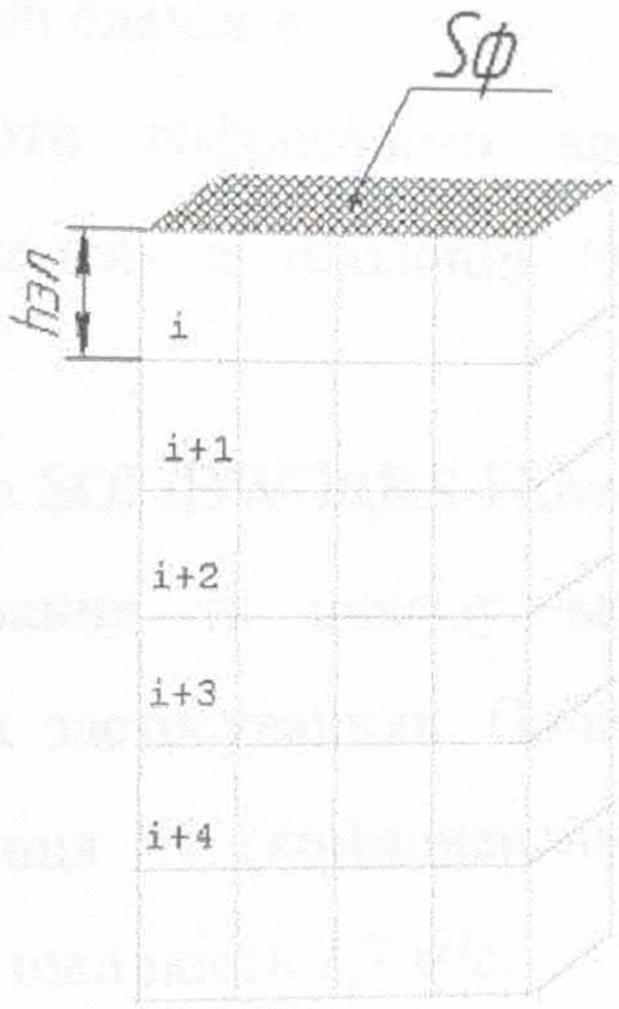


Рис. 3.5 – Розбивка фільтра на елементарні висотні частини

Кількість елементарних частинок знаходимо з формули нижче

Загальна висота фільтра до лотка дорівнює

$$h=h_{эл} n_{эл},$$ (3.13)

де $h_{эл}$- висота елементарної ділянки фільтра, м;

n_{el} - кількість елементарних ділянок фільтра до моменту насичення, шт.

3.2 Моделювання процесів в нафтогазовому сепараторі

Проведемо моделювання потоку газу в жалюзійному пакеті. Для більш детального аналізу, спрощення моделі та зменшення часу на розрахунки скористаємося моделлю, яка складається з двох гофрованих листів із скругленнями поверхні згину (рисунок 3.6).

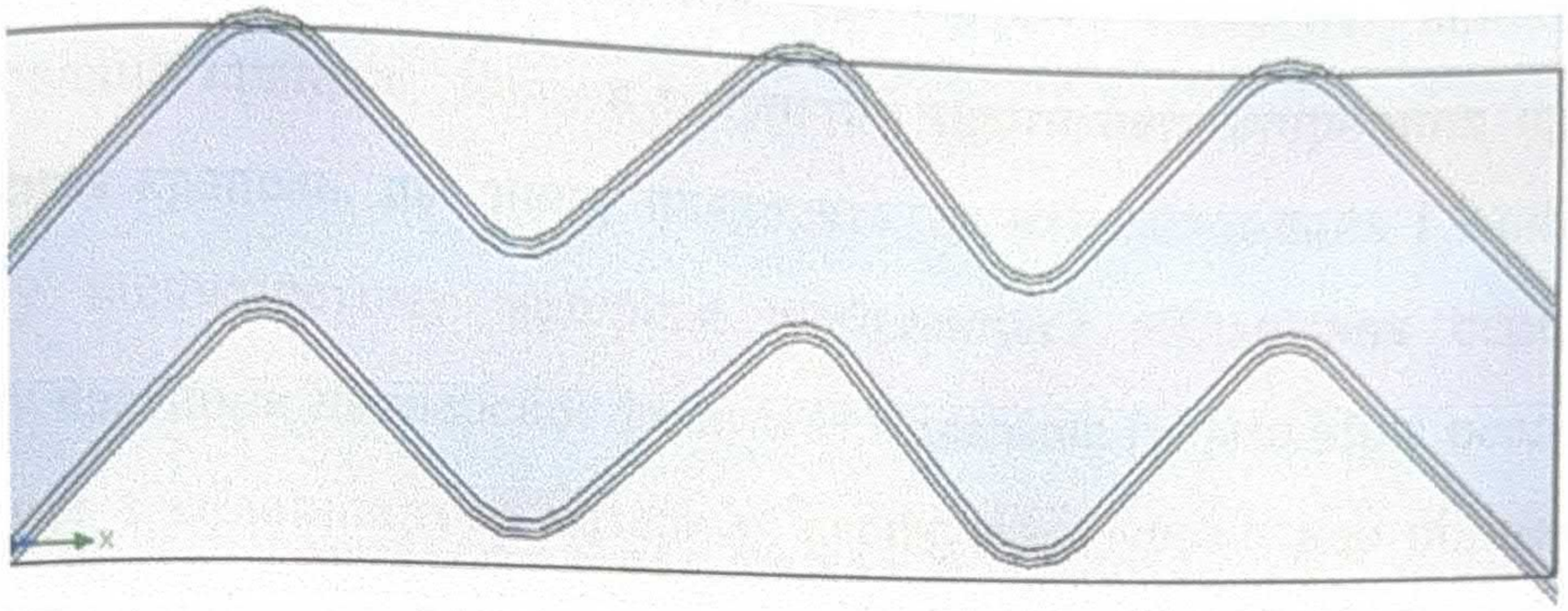


Рис. 3.6 – Гофрований елемент

Моделювання роботи гофрованого елементу виконувалося за допомогою створення моделі в оболонці SOLIDWORKS 2021 Flow Simulation.

Варто зазначити, що SOLIDWORKS Flow Simulation — це програма для числового моделювання та аналізу витоку рідини та газу в різноманітних інженерних застосуваннях. Початкові дані для розрахунка приймаємо з розділу таблиця 1.1. (компонентний склад нафтового газу), тиск, температура потоку, швидкість 2,7 м/с.

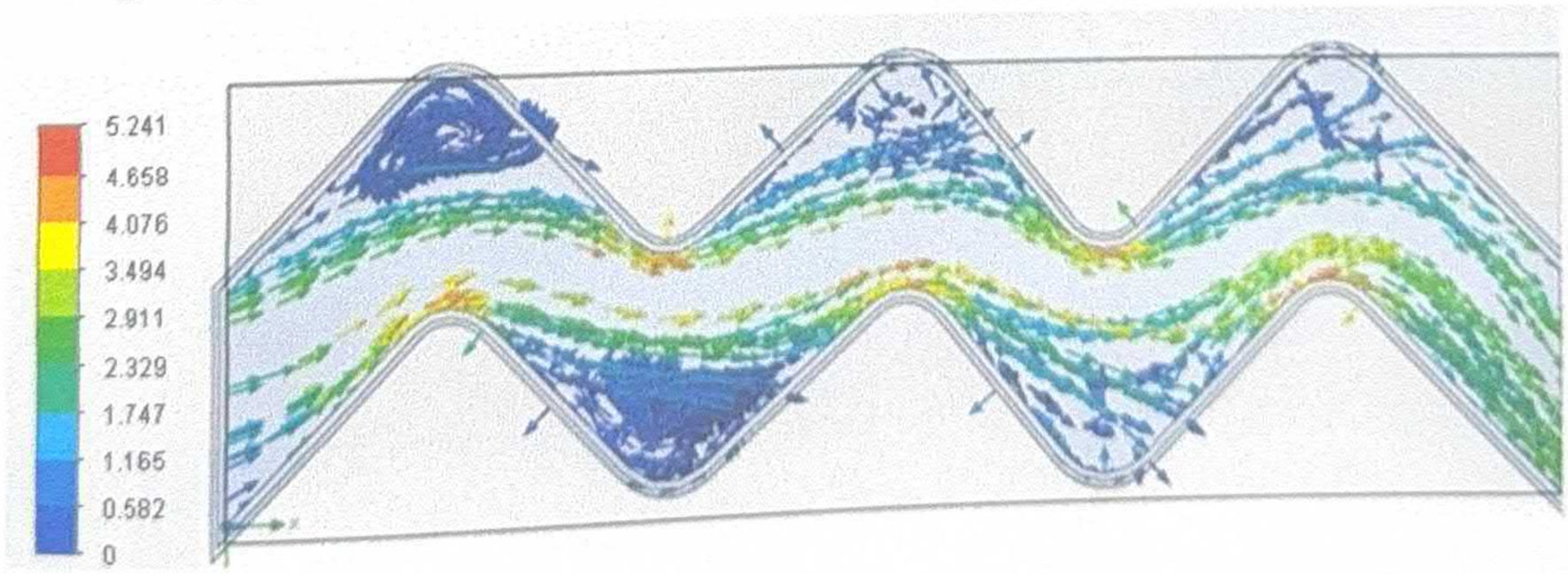


Рис. 3.7 – Розподіл швидкості руху через гофровані елементи з скругленими поверхнями згину

Якщо проаналізувати розподіл, можна побачити, що в місцях скруглення швидкість падає, що говорить про можливість осідання крапель. Під дією відцентрових сил краплі рідини перерозподіляються по перерізу криволінійного каналу. Частина потоку, найбільш насичена краплями рідини, може спрямовуватися на смуги з волокнистого матеріалу, де внаслідок інерційного зіткнення та ефекту торкання відбувається уловлювання крапель. Далі, в результаті протікання вторинних процесів осадження крапель, що знову надходять, на вже обложених і капілярних явищ у волокнистому матеріалі відбуваються збільшення середнього розміру частинок дисперсної фази та їх подальше гравітаційне осадження. Шар смуг з волокнистого матеріалу насичується уловленою рідиною, що відводиться у вигляді плівки на поверхні гофрованих пластин.

При цьому швидкість основного газового потоку не зменшується.

4 Розрахунок працездатності

Механічний розрахунок включає розрахунок товщини обичайки; підбір кришки, днища, фланців та люка, розрахунок штуцерів та розрахунок та підбір опори апарату.

Розрахунок товщини обичайки . Матеріал обичайки та днищ виберемо сталь 09Г2С. Ця сталь характеризується високою корозійною стійкістю. Працюючи елементів хімічної апаратури за умов будь-яких негативних температур за розрахункову температуру приймають 20 °З.

Виконавчу товщину тонкостінної гладкої циліндричної обичайки, навантаженої внутрішнім надлишковим тиском, розраховуємо за формулою:

$$S \geq \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P} + C \qquad (4.1)$$

Причому для обічайки D≥200 мм має дотримуватися умова

$$(s - c)/D \leq 0{,}1. \qquad (4.2)$$

Сумарне збільшення до номінальної розрахункової товщини стінки визначаємо за формулою:

$$c = c_1 + c_2 + c_3 \qquad (4.3)$$

де C_1 - збільшення на корозію (1мм), C_2 - збільшення на мінусове відхилення по товщині листа, приймемо 0,7 мм, C_3 - технологічне збільшення, приймемо 0,5 мм.

$$c = 1 + 0{,}7 + 0{,}5 = 2{,}3 \text{ мм}$$

Допустима напруга для обраного матеріалу сталь марки 09Г2С розраховує за такою формулою:

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma^* \qquad (4.4)$$

де $\eta = 0{,}9$ – коефіцієнт для вибухонебезпечних та пожежонебезпечних середовищ; $\sigma^* = 183$ МПа – допустима напруга для сталі 09Г2С при 20 °С .

$$[\sigma] = 0{,}9 \cdot 183 = 164{,}7\ МПа$$

$\varphi = 0{,}9$ – коефіцієнт міцності зварних швів: стикових, виконаних автоматичним або напівавтоматичним зварюванням з одного боку , з флюсовою або керамічною підкладкою, при контролі 100 % довжини шва.

Товщину стінки обичайки розраховуємо за формулою:

$$S \geq \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P} + c = \frac{0{,}6 \cdot 2{,}86}{2 \cdot 164{,}7 \cdot 0{,}9 - 0{,}6} + 0{,}0023 = 0{,}0081 \text{ м} \qquad (4.5)$$

Приймемо товщину стінки обічайки, що дорівнює 11мм.

Перевірка умови: $(11 - 2{,}3)/2860 \leq 0{,}1$.

Допустимий тиск в обічайці визначаємо за формулою:

$$P_д = \frac{2 \cdot \sigma_д \cdot \varphi \quad (s - C_k)}{D_в + (s - C_k)} = \frac{2 \cdot 164{,}7 \cdot 0{,}9(11-1)}{2860 + (11-1)} = 0{,}033\text{МПа} \qquad (4.6)$$

Розрахунок еліптичного днища та кришки. Розрахунок товщини кришки і днища виконується аналогічно до розрахунку товщини обічайки. Приймаючи

$$\varphi_{\text{днища}} = \frac{D_a - d}{D_a} = \frac{2{,}86 - 0{,}01}{2{,}86} = 0{,}99 \text{ (ослабление отверстием)}, \qquad (4.7)$$

$$S \geq \frac{0{,}6 \cdot 2{,}86}{2 \cdot 164{,}7 \cdot 0{,}99 - 0{,}6} + 0{,}0023 = 0{,}007575 \text{ м}$$

Приймаємо товщину днища, що дорівнює товщині обичайки – 11 мм.

Найбільш поширеною формою днищ у зварних хімічних апаратах є еліптична форма з відбортуванням на циліндр (рисунок 4.1).

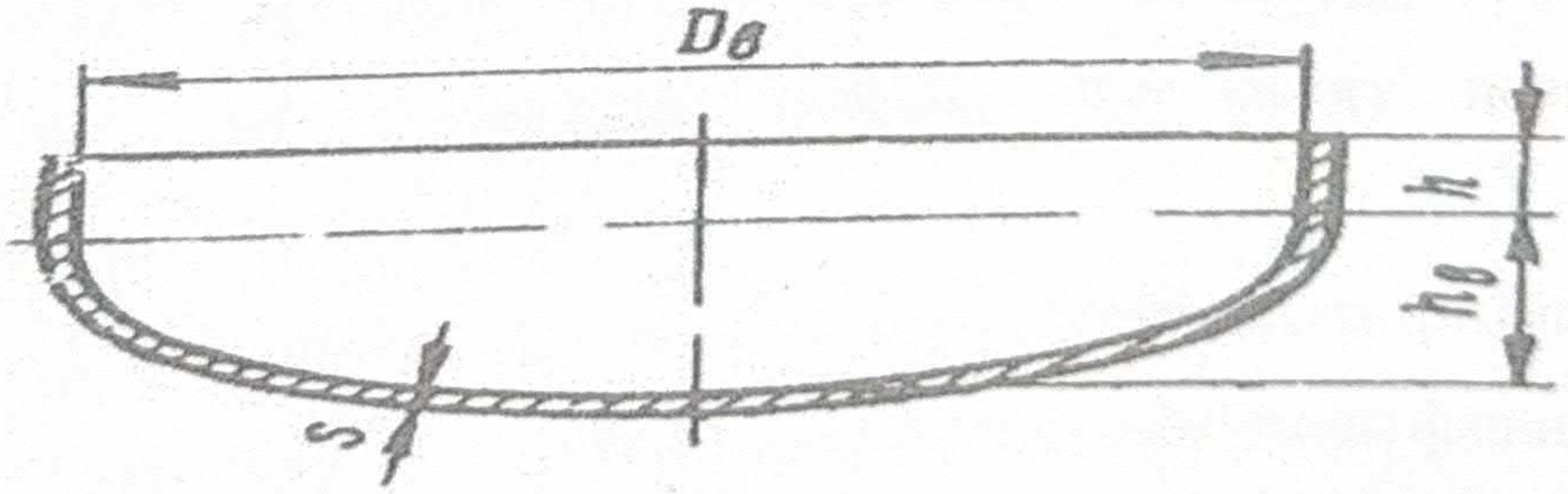


Рис. 4.1 – Схема днища

Параметри даного днища наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри днища (кришки)

$D_в$, мм	s, мм	$h_н$, мм	h, мм	F, м^2	V, м^3	маса, кг
3000	12	750	400	10,1	3,817	970

З'єднання обічайки з днищем і кришкою можна виконати цільнозварним або на фланцях. Вибираємо сталевий плоский приварний фланець для приєднання кришки та днища до корпусу. Зовнішній вигляд фланця наведено на рисунку 4.2.

Розміри фланця представлені у таблиці 4.2.

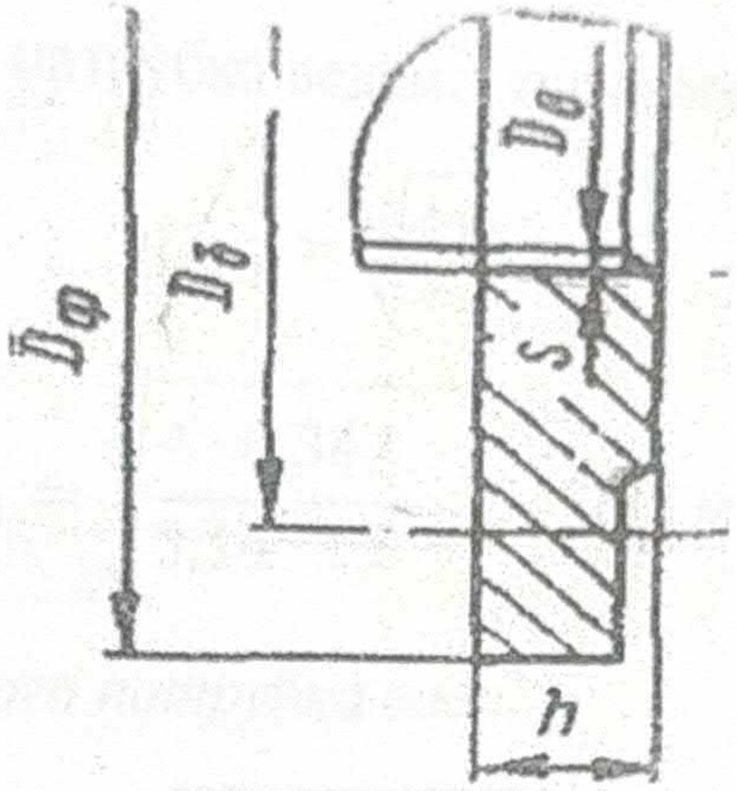


Рис. 4.2 – Фланець

Таблиця 4.2 – Розміри фланця для днища та кришки.

D, мм	s min	Dб , мм	Dф , мм	h, мм	болти		маса, кг
					dб	z	
3000	12	3110	3150	80	20	96	390

Вибір штуцерів. Штуцери повинні відповідати за конструкцією та міцністю робочого тиску всередині апарату, при цьому повинні забезпечувати високу герметичність.

Штуцери виготовляють із сталевих труб необхідного розміру. Залежно від робочого тиску всередині апарату вибирають розміри фланців. Товщина стінок штуцерів повинна визначатися розрахунком на щільність по робочому тиску в апараті та навантаженням, що виникають від приєднаних деталей трубопроводів та арматури, проте вона не повинна бути меншою за половину товщини стінки апарату, до якого вони приварюються.

При виборі висоти штуцерів необхідно виходити з умов закладки болтів у фланці з боку судини, а також з урахуванням товщини ізоляції шару, що закріплюється на поверхні апарату.

Розрахунок внутрішніх діаметрів вхідного та вихідних патрубків.

1. *Розрахунок вхідного патрубка сировини (d_1):*

Приймемо швидкість сировини = 1,5 *м/с.*

Розрахунок діаметра патрубка ведемо за формулою [2]:

$$d_{\text{патр}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \omega}} \qquad (4.8)$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0{,}347}{3{,}14 \cdot 1{,}5}} = 542{,}85 \text{ мм.}$$

2. *Розрахунок вихідного патрубка води:*

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0{,}00382}{3{,}14 \cdot 1{,}5}} = 56{,}96 \text{ мм.}$$

3. *Розрахунок вихідного патрубка нафти:*

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0{,}03472}{3{,}14 \cdot 2}} = 171{,}72 \text{ мм.}$$

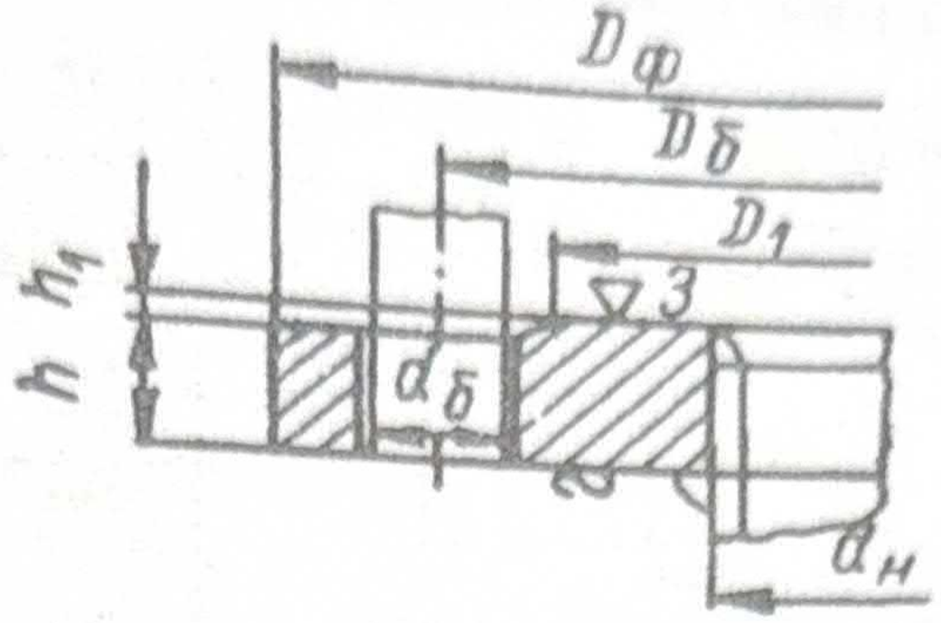
4. *Розрахунок вихідного патрубка газу:*

Швидкість газу дорівнює 1,05 м/с.

$$d_4 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0{,}000124}{3{,}14 \cdot 1{,}05}} = 12{,}27 \text{ мм.}$$

Розраховані діаметри округляються до найближчого значення. Результати розрахунку та підбору штуцерів наведено у таблиці 4.2.

Виходячи з діаметрів патрубків підбираємо стандартні сталеві фланці по табл.4.2 [3] з розмірами.



Тип 1

Рис. 4.3 – Схема фланця.

Таблиця 4.2- Результати розрахунку та підбору штуцерів.

Призначення штуцера	$D_у$, мм	$d_н$, мм	$D_ф$, мм	h, мм	$D_б$, мм	D_1, мм	m, кг	болти	
								$d_б$	z
Вхід суміші	600	630	780	31	725	685	39,4	М27	20
Вихід газу	20	18	95	12	65	45	0,51	М12	4
Вихід води	250	273	390	25	350	320	10,7	М20	12
Вихід нафти	600	630	780	31	725	685	39,4	М27	20

Виберемо люк (рисунок 4.4) з плоскою фланцевою кришкою та відкидними болтами для обслуговування апарату.

Таблиця 4.3 – Характеристики люка.

$D_в$, мм	$D_ф$, мм	$D_б$, мм	h, мм	s, мм	s_1, мм	L, мм	l, мм	l_1, мм	Болти		маса, кг
									$d_б$, мм	z	
400	610	540	63	590	50	16	440	260	М 36	16	230

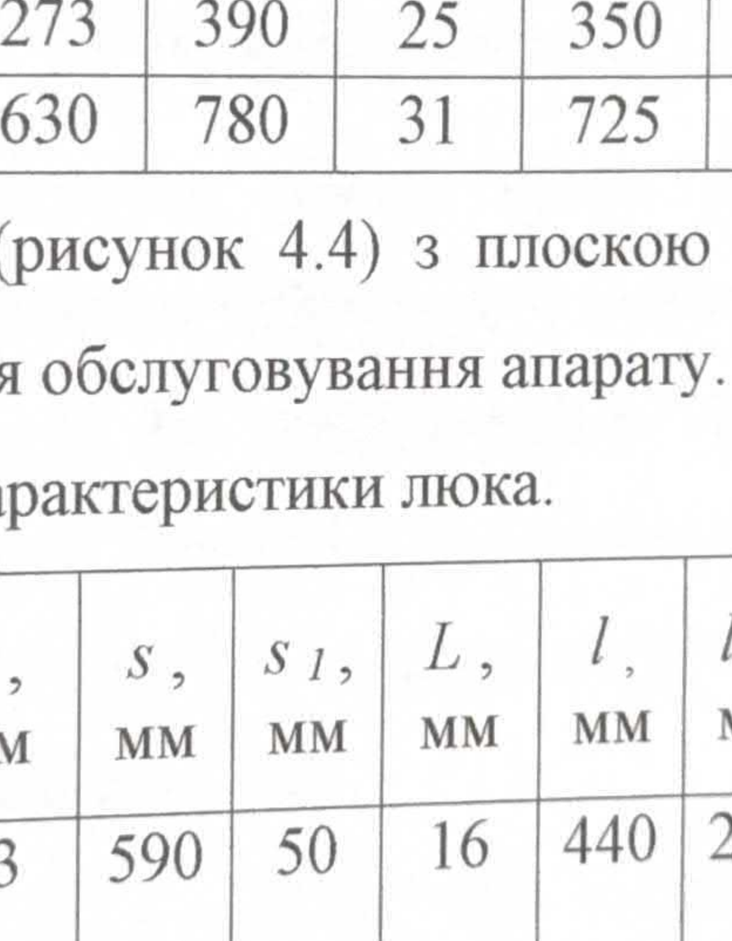


Рис. 4.4 – Люк

У зв'язку зі складністю та дорожнечею виготовлення апарату за індивідуальним замовленням, виберемо стандартний нафтогазовий сепаратор зі скиданням води НГСВ-1,0-3000. Параметри апарата наведено у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Параметри апарату

Діаметр, Dвн, мм	Довжина, L, мм	Об`єм, V, м3	Термін служби, років, не менше	маса, кг	Тиск Умовне, МПа	Товщина стінки обічайки, мм	Люк-лаз, D, мм	Кількість опор, шт
3000	15240	100	20	25900	1,0	12	600	2

Конструкцією даного апарату передбачено драбини для обслуговування апарату. На виході сепарованого газу встановлений краплеуловлювач струнного типу. Висоту переливної перегородки приймемо згідно з розрахунками, що дорівнює 612 мм.

Проведемо розрахунок опор. Опори для апаратів у хімічній промисловості вибираються з розрахунку максимального навантаження, яке опора має витримати під час випробування. Для вибору опори апарата необхідно визначити вагу апарата у разі повного заповнення водою.

Маса апарату 25 900 кг. Об'єм апарату 100 м3.

Маса рідини дорівнюватиме:

$$M_{ж} = \rho \cdot V = 1000 * 100 = 100000 \text{ кг} \quad (4.9)$$

Маса апарату при повному наповненні рідиною

$$M = M_{ж} + M_{апп} = 100000 + 25900 = 125900 \text{ кг} \quad (4.10)$$

Тоді вага апарата дорівнює 1,26 Мн чи 1260 кН. Приймемо 2 опори. Навантаження на кожну становитиме 630 кН. Приймемо опори П 630-1520.

Таблиця 4.5 – Основні розміри опори.

R, мм	*L* , мм	*L 1* , мм	*l 1* , мм	*h* , мм	*h 1* , мм	*s 2*, *мм*	*s 1* , мм	m , кг
1520	2640	2660	1 24 6	880	3 2 0	20	14	316,0 _

Підберемо стандартні штуцери (таблиця 4.2) та записуємо до таблиці 4.6:

Таблиця 4.6 – Параметри штуцерів

Вхід суміші, Dy ,мм	600
Вихід газу Dy ,мм	400
Вихід нафти Dy ,мм	300
Вихід води Dy ,мм	300
Для передох-го клапана Dy , мм	200
Для дренажу Dy ,мм	150
Для пропарок Dy ,мм	50

Виберемо стандартні штуцери для датчиків автоматизації:

Таблиця 4.7 – Параметри штуцерів для датчиків автоматизації

Для датчиків ур-ня Dy ,мм	150
Для датчиків ур-ня Dy ,мм	65
Для регуляторів ур-ня Dy ,мм	50
Для сигналізатора ур-ня Dy ,мм	50
Для термометра Dy ,мм	50 М27 х2
Для дифманометра Dy ,мм	25 М20х1. ,5
Для монометра Dy ,мм	25 М20х1. ,5
Для термометра опору Dy , мм	25 М20х1., 5
Для вказівника ур-ня Dy ,мм	25

5 Монтаж і експлуатація обладнання

5.1 Організаційно-технічні заходи з монтажу обладнання

Організаційно-технічні заходи з монтажу при заміні жалюзійних пакетів в трьохфазному сепараторі природного газу включають комплекс дій, спрямованих на забезпечення безпечного та ефективного виконання робіт. На початковому етапі проводиться аналіз технічного стану обладнання, перевіряється відповідність технічної документації та стан існуючих жалюзійних пакетів. Здійснюється детальна оцінка умов роботи, включаючи перевірку робочих тисків, температурних режимів та наявності агресивних середовищ. Організовується підготовка робочого місця, яка включає встановлення огорожі, попереджувальних знаків, освітлення та забезпечення вентиляції. Виконується відключення сепаратора від технологічного процесу із застосуванням затворів і заглушок, а також здійснюється його продування та дегазація для усунення залишків газу та забезпечення безпечних умов роботи.

Після цього проводиться контрольний замір параметрів робочого середовища на вміст небезпечних речовин за допомогою газоаналізаторів. Монтується необхідне обладнання для підйому і демонтажу старих жалюзійних пакетів, зокрема лебідки, блоки, троси та підйомні механізми. Виконується демонтаж кріплень із застосуванням спеціальних інструментів, таких як гайкові ключі, гідравлічні домкрати та розтискувачі. Окремо проводиться обережне зняття пакетів з використанням кранів або інших вантажопідйомних пристроїв для уникнення пошкоджень конструкцій.

Паралельно проводиться перевірка стану внутрішніх поверхонь сепаратора, очищення від відкладень і забруднень за допомогою механічних та хімічних методів, включаючи використання миючих засобів і щіток. Виконується дефектоскопія елементів конструкції із застосуванням ультразвукового контролю, магнітопорошкової діагностики або

рентгенівського аналізу для виявлення можливих тріщин, корозії чи інших дефектів. При необхідності виконується ремонт або заміна виявлених пошкоджених елементів, зокрема заварювання тріщин, нанесення антикорозійного покриття чи заміна ущільнювачів.

На наступному етапі здійснюється монтаж нових жалюзійних пакетів, які попередньо перевіряються на відповідність проєктним параметрам і комплектність. Виконується підготовка посадкових місць, зокрема очищення контактних поверхонь і нанесення герметизуючих матеріалів. Монтується кріпильна арматура з дотриманням технологічних зазорів і герметичності з'єднань, а також використовується моментний ключ для контролю затяжки різьбових з'єднань. Виконується контрольне регулювання положення пакетів, перевірка їхньої фіксації та відповідності проектним вимогам.

Після завершення монтажу здійснюється перевірка на герметичність і міцність з'єднань шляхом проведення гідравлічних або пневматичних випробувань під робочим тиском з фіксацією результатів у відповідних протоколах. Після цього проводиться додаткове гідравлічне випробування на витривалість і герметичність, яке включає наповнення сепаратора водою, поступове підвищення тиску до контрольних значень і витримку під тиском протягом визначеного часу. Виконується ретельна перевірка відсутності протікань та деформацій конструкції. Усі виявлені недоліки усуваються до завершення випробувань.

Завершальним етапом є відновлення ізоляційних покриттів, установка захисних кожухів і підключення сепаратора до технологічного процесу. Проводиться комплексне випробування обладнання в робочому режимі для перевірки його працездатності, а також налаштування регулюючих та запобіжних пристроїв.

За результатами випробувань оформлюється акт приймання виконаних робіт, який включає дані про параметри випробувань, виявлені

відхилення та прийняті заходи. Після підписання акту оновлений сепаратор вводиться в експлуатацію. Всі роботи супроводжуються веденням технічної документації, включаючи журнали обліку робіт, інструкції та схеми монтажу, а також дотриманням норм охорони праці та промислової безпеки для запобігання аварійним ситуаціям і забезпечення захисту персоналу.

5.2 Експлуатація та ремонт сепараторів

Підготовка до пуску сепаратора включає такі етапи.

– Візуальний огляд корпусу сепаратора на наявність механічних пошкоджень, корозії та витоків.

– Перевірка справності ущільнювальних елементів і кріплень.

– Контроль стану фільтруючих елементів і коалесцентних вставок. При необхідності проводиться заміна зношених або забруднених деталей.

– Перевірка працездатності дренажної системи, включаючи клапани і трубопроводи для відведення рідини.

– Оцінка рівня мастила в насосах і редукторах, якщо такі передбачені конструкцією.

Запуск сепаратора включає такі етапи.

– Повільне відкриття вхідного клапана для поступового заповнення сепаратора газом, щоб уникнути гідравлічних ударів.

– Моніторинг тиску та температури в процесі наповнення.

– Перевірка герметичності з'єднань і відсутності витоків.

– Запуск системи дренажу для перевірки відведення накопиченої рідини.

– Регулювання параметрів тиску, температури та витрати газу відповідно до технічних умов експлуатації.

– Перевірка роботи запобіжних клапанів і захисних пристроїв.

– Запуск системи автоматичного моніторингу та сигналізації для контролю стану обладнання.

Налаштування сепаратора:

– Підбір оптимальних параметрів роботи залежно від складу газу і необхідної ступеня очищення.

– Налаштування регуляторів тиску та рівня рідини.

– Калібрування вимірювальних приладів і датчиків.

– Тестування аварійних систем зупинки та дренажу.

Робота в штатному режимі.

Контроль параметрів: регулярний моніторинг тиску, температури та витрати газу на вході та виході, виявлення змін, які можуть вказувати на зниження ефективності очищення або несправність обладнання.

Перевірка рівня рідини: вимірювання рівня накопиченої рідини в збірнику, своєчасне дренування для уникнення переповнення, обслуговування фільтруючих елементів: регулярне очищення або заміна коалесцентних фільтрів при виявленні засмічень, контроль стану фільтруючих матеріалів для забезпечення максимальної ефективності очищення.

Огляд механічних і запобіжних систем: оцінка роботи клапанів, ущільнень та автоматичних регуляторів, перевірка роботи аварійних систем сигналізації та автоматичного відключення.

Документування результатів: запис показників контролю та проведених дій в експлуатаційних журналах, аналіз даних для виявлення тенденцій і попередження несправностей.

Зупинка сепаратора: поступове зниження тиску, перекриття вхідних і вихідних клапанів, спорожнення залишків рідини і очищення внутрішніх поверхонь.

Технічне обслуговування та ремонт.

Поточне технічне обслуговування: щоденний огляд на наявність витоків та механічних пошкоджень, очищення фільтрів і контроль роботи клапанів, перевірка і калібрування вимірювальних приладів, змащування рухомих частин і перевірка роботи дренажних клапанів, візуальний огляд зварних швів на предмет тріщин.

Періодичне технічне обслуговування: раз на місяць – заміна ущільнювальних елементів, раз на півроку – демонтаж і перевірка внутрішніх компонентів, раз на рік – проведення гідравлічних випробувань корпусу на міцність і герметичність, тестування систем сигналізації та безпеки, перевірка корозійної стійкості і нанесення захисного покриття.

Ремонтні роботи: поточний ремонт включає заміну фільтрів, клапанів, ущільнень і коалесцентних елементів, середній ремонт – заміна зношених частин корпусу, відновлення внутрішнього покриття, капітальний ремонт – заміна всіх основних елементів та проведення повної ревізії з дефектоскопією, усунення тріщин зварних швів і відновлення герметичності, відновлення або заміна елементів дренажної системи.

5.3 Охорона праці при монтажі та експлуатації сепараторів

Охорона праці при роботі з сепараторами для підготовки природного газу регулюється чинними нормативними актами, включаючи Закони України "Про охорону праці" та "Про охорону навколишнього природного середовища". Усі працівники повинні проходити навчання з питань охорони праці та інструктажі перед початком роботи.

Вимоги до монтажу сепараторів.

Перед початком монтажних робіт необхідно: провести оцінку ризиків і скласти план виконання робіт, забезпечити наявність необхідних засобів індивідуального захисту (каски, рукавиці, захисні окуляри, спецодяг), перевірити справність обладнання та інструментів, що будуть використовуватись.

Під час монтажу забороняється: виконувати роботи без страхувальних пристроїв на висоті, використовувати пошкоджені або несправні інструменти, проводити зварювальні роботи без засобів захисту органів зору та дихання, необхідно забезпечити заземлення всіх металевих конструкцій і обладнання для запобігання ураженню електричним струмом, після завершення монтажу слід провести контрольне випробування системи на герметичність і міцність, а також усунути виявлені дефекти.

Вимоги до експлуатації сепараторів

Перед початком роботи необхідно: перевірити цілісність обладнання та герметичність з'єднань, переконатися у справності систем контролю тиску та температури, провести перевірку роботи запобіжних клапанів і запірної арматури.

Під час експлуатації: слідкувати за показниками приладів і негайно реагувати на будь-які відхилення від нормальних режимів роботи, забороняється проводити роботи поблизу сепаратора під час його роботи без відповідних засобів захисту, забезпечити належну вентиляцію для запобігання накопиченню вибухонебезпечних газів.

Після завершення роботи: провести дегазацію обладнання при необхідності, виконати очищення й технічне обслуговування відповідно до регламенту, зробити запис у журналі експлуатації про виконані роботи та виявлені недоліки.

Заходи безпеки при виникненні аварійних ситуацій.

У разі витоку газу: негайно припинити подачу газу і викликати аварійні служби, евакуювати персонал із небезпечної зони, заборонити використання відкритого вогню та електрообладнання до ліквідації аварії.

При виявленні підвищеного тиску: знизити тиск до безпечного рівня за допомогою запобіжних клапанів, зупинити роботу сепаратора до усунення несправностей, після ліквідації аварії провести детальний аналіз її

Під час монтажу забороняється: виконувати роботи без страхувальних пристроїв на висоті, використовувати пошкоджені або несправні інструменти, проводити зварювальні роботи без засобів захисту органів зору та дихання, необхідно забезпечити заземлення всіх металевих конструкцій і обладнання для запобігання ураженню електричним струмом, після завершення монтажу слід провести контрольне випробування системи на герметичність і міцність, а також усунути виявлені дефекти.

Вимоги до експлуатації сепараторів

Перед початком роботи необхідно: перевірити цілісність обладнання та герметичність з'єднань, переконатися у справності систем контролю тиску та температури, провести перевірку роботи запобіжних клапанів і запірної арматури.

Під час експлуатації: слідкувати за показниками приладів і негайно реагувати на будь-які відхилення від нормальних режимів роботи, забороняється проводити роботи поблизу сепаратора під час його роботи без відповідних засобів захисту, забезпечити належну вентиляцію для запобігання накопиченню вибухонебезпечних газів.

Після завершення роботи: провести дегазацію обладнання при необхідності, виконати очищення й технічне обслуговування відповідно до регламенту, зробити запис у журналі експлуатації про виконані роботи та виявлені недоліки.

Заходи безпеки при виникненні аварійних ситуацій.

У разі витоку газу: негайно припинити подачу газу і викликати аварійні служби, евакуювати персонал із небезпечної зони, заборонити використання відкритого вогню та електрообладнання до ліквідації аварії.

При виявленні підвищеного тиску: знизити тиск до безпечного рівня за допомогою запобіжних клапанів, зупинити роботу сепаратора до усунення несправностей, після ліквідації аварії провести детальний аналіз її

причин і розробити заходи для запобігання подібним випадкам у майбутньому.

Вимоги до персоналу.

Працівники, які виконують роботи з монтажу та експлуатації сепараторів, повинні мати відповідний рівень підготовки й допуск до робіт підвищеної небезпеки.

Забороняється залучати до робіт осіб, які не пройшли медичний огляд або перебувають у стані алкогольного чи наркотичного сп'яніння.

Відповідальні особи повинні контролювати виконання всіх вимог охорони праці та вчасно проводити інструктажі.

Дотримання вищезазначених правил і вимог забезпечує безпечну роботу персоналу та запобігає виникненню аварійних ситуацій при монтажі та експлуатації сепараторів для підготовки природного газу. Постійний контроль, своєчасне обслуговування та навчання працівників є ключовими елементами системи охорони праці.

Загальні висновки

Аналіз сучасних конструкцій та тенденцій розвитку комбінованих сепараторів показав, що найвищу ефективність забезпечують інерційно-фільтруючі елементи жалюзійного типу. Їхня здатність ефективно відокремлювати полідисперсні потоки та знижувати втрати вуглеводнів підтверджує доцільність їх застосування в технологіях очищення природного газу.

Модернізована конструкція сепаратора включає установлення інерційно-фільтруючих жалюзійних краплевловлювачів. Це забезпечує значне підвищення ефективності вилучення вологи, знижуючи вторинне бризкоутворення і втрати рідинних компонентів.

Проведені розрахунки та моделювання процесів сепарації засвідчили, що модернізація дозволяє досягти ефективності очищення газу до 99%.

Використання імітаційного моделювання дозволило оптимізувати конструктивні параметри сепараторів, зокрема геометрію жалюзійних пакетів та їх фільтруючих елементів. Це забезпечило зниження гідравлічного опору та підвищення ефективності процесів осадження.

Проведений аналіз можливостей використання синтетичних фільтруючих матеріалів продемонстрував доцільність застосування полімерних волокон, які забезпечують високу міцність, стійкість до корозії та низький рівень втрат продукції при очищенні газу.

Проведено оцінку економічної ефективності впровадження такого конструктивного рішення, яке показало, що за рахунок отримання додаткової кількості нафти отримаємо економічний ефект 71 686 тис. грн. Термін окупності вкладень близько року.

Перелік використаної літератури

1. Ляпощенко О.О. Analysis of the Phase Equilibrium Conditions and the Impact of Coupled Heat and Mass Transfer on the Separation Process Efficiency in the Inertial – Filtering Gas Separator / Ляпощенко О.О., Настенко О.В. – Хімія та хімічні технології: Матеріали III Міжнародної конференції молодих вчених ССТ-2013. — С.138-141.
2. Ляпощенко О.О. Високоефективне інерційно-фільтруюче газосепараційне обладнання у нафтогазовій промисловості / Ляпощенко О.О., Склабінський В.І. - Проблеми економії енергії: збірник матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції. – Львів, 2003. –с. 106–107.
3. Твердохліб, А. А. Вплив термодинамічних параметрів на ефективність процесу осушення та видалення важких фракцій з природного газу методом низькотемпературної газодинамічної сепарації / А. А. Твердохліб, О. О. Ляпощенко // Сучасні технології в промисловому виробництві : матеріали II Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції. — Суми : СумДУ, 2012. — Ч.2. — С. 128
4. Склабінський, В.І. Планування фізичного моделювання гідродинамічних процесів у інерційно-фільтруючих сепараційних елементах / В.І.Склабінський, О.О.Ляпощенко, А.В.Логвин // Сборник научных работ VIII Всеукраинской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов. — Кременчуг, 2011. — С.35-37.
5. Склабінський, В.І. Підвищення ефективності сепараційного обладнання установки низькотемпературної сепарації природного газу / В.І.Склабінський, О.О.Ляпощенко, А.В.Логвин // International Scientific Journal Acta Universitatis Pontica Euxinus. Special number: Материалы V Международной конференции «Стратегия качества в промышленности и образовании». — Болгария, Варна, 2009. — Т.1. — С.410-412.
6. Рижков С.С. Інтенсифікація осадження високодисперсних частинок у лабіринтному сепараторі за рахунок термофоретичних ефектів /

С.С.Рижков, О.В.Ощип // Збірник наукових праць НУК. — Миколаїв, 2011. — №4. — С.99-107

7. Прищепа, Р. В. Оптимізація режимних параметрів роботи вузла низькотемпературної сепарації установки осушування ШФЛВ Гніденцівського ГПЗ / Р. В. Прищепа, О. О. Ляпощенко, А. В. Логвин // Матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів інженерного факультету : конференція присвячена Дню науки України та 60-річчю СумДУ. — Суми : СумДУ, 2008. — Ч.II. — С. 46.

8. Півень О. Способи розділення неоднорідних газових систем / О.Півень, М.Гудзенко // Продовольча індустрія АПК. — 2010. — №2. — С.12-14.

9. Оптимізаційне проектування багатофункціонального сепараційного нафтогазового обладнання / О.О. Ляпощенко, І.В. Павленко, О.В. Настенко [та ін.] // Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем (КМОСС-2015): матеріали І Всеукраїнської науково-технічної конференції: в 2-х ч. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2015. – Ч. 1. – С.226-231

10. Настенко, О.В. Фізичні основи процесів дегазації та розшарування емульсій води з нафтопродуктами / О.В.Настенко, Р.Ю.Усик, О.О.Ляпощенко // Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студ. фак-ту технічних систем та енергоефективних технологій. - Суми : СумДУ, 2015. - Ч.2. - С.115

11. Настенко, О.В. Моделювання процесів інерційно-фільтруючої сепарації газорідинних сумішей: дис. … канд. техн. наук: 05.17.08 / О. В.Настенко; наук. кер. О.О.Ляпощенко. — Суми: СумДУ, 2016. — 163 с.

12. Мустафа Аль Роммахи. Фізична модель руху газокраплинних потоків сепараційними каналами та фільтруючими секціями інерційно-фільтруючих

газосепараторів / Мустафа Аль Роммахи, А.В.Логвин, О.О.Ляпощенко // Нафтогазова енергетика. — 2011. — №2(15). — С.5-11

13. Мозгова, К.М. Очищення промислових викидів у вихрових інерційнофільтруючих сепараційних камерах з пінним газорідинним шаром / К.М.Мозгова, О.О.Ляпощенко // Сучасні технології в промисловому виробництві : матеріали Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції. — Суми : СумДУ, 2010. — Ч.І. — С. 141

14. A. Karimi, M.A. Abdi, Selective dehydration of high-pressure natural gas using supersonic nozzles, Chem. Eng. Process. 48 (2009) 560–568.

15. Carrol, J., 2009. Natural Gas Hydrates: A Guide for Engineers, second ed. Elsevier Inc., UK.

16. V.I. Alferov, L.A. Baguirov, L. Dmitriev, V. Feygin, S. Imaev, J.R. Lace, Supersonic nozzle efficiently separates natural gas components, Oil & Gas Journal 103 (2005) 53–58.

17. Mahmoodzadeh Vaziri, B., Shahsavand, A., Rashidi, H.R., Ghanbari Mazidi, M., 2010. Proceedings of 13th Iranian National Chemical Engineering Congress and 1st International Regional Chemical and Petroleum Engineering Congress, Razi University, Kermanshah, Iran, October, 2010.

18. Malyshkina MM (2010) The procedure for investigation of the efficiency of purification of natural gasses in a supersonic separator. High Temperature 48: 244–250.

19. Filipchuk, O., Marushchenko, V., Bratakh, M., Savchuk, M., & Tarwat, S. Efficiency evaluation of implementation of optimization methods of operation modes of the «plast - gas pipeline» system by the methods of mathematical modeling. EUREKA: Physics and Engineering, 2018. – No.5, P.11-26. https://doi.org/10.21303/2461-4262.2018.00717

20. Mokhatab S. Handbook of Natural Gas Transmission and Processing. Principles and Practices / Saeid Mokhatab, William A. Poe, John Y. Mak. – Gulf Professional Publishing, United States, 2019. – 826 p. ISBN: 978-0-12-815817-3.