

МОДЕЛЮВАННЯ ГАЗОВОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО СІТКОВОГО СЕПАРАТОРА

В. В. Михайлюк, О. Я. Фафлей, В. О. Мельник, І. Я. Захара, А. Р. Малишев, Г. Я. Процюк

ІФНТУНГ; м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15, тел. +380687640014,
e-mail: olera32@ukr.net

Перед транспортуванням газ, що видобувається на газових родовищах, обов'язково проходить попереднє очищення. Для цього застосовують газові сепаратори, від ефективності роботи яких залежить якість товарної продукції. Існує багато сепараторів різних конструкцій, але, зазвичай, вони складаються із секцій, які відрізняються конструктивними особливостями. Ефективність сепарації газу залежить від внутрішніх пристроїв сепараторів, таких як: вхідні перегородки, хвилерізи, піногасник, краплевідбійники, краплеуловлювачі, протизавихрювачі. Незважаючи на те, що газовий вертикальний сепаратор має ефективність більше 99%, цікавим лишається розподіл руху газу у ньому, особливо у таких відповідальних його елементах, як коагулятор та краплеуловлювач. Для проектування різного обладнання, в тому числі і нафтогазового, масового використання набули програми комп'ютерного імітаційного моделювання. Такі програми, окрім розроблення технічної документації (креслень, специфікацій, графіків тощо), дають можливість досліджувати обладнання (визначати його напружено-деформований стан, прогнозувати довговічність, моделювати поведінку гідрогазодинамічних потоків тощо). Виконання імітаційного моделювання побудованої тримірної моделі сепаратора дозволило виявити недоліки конструкції, а саме, нерівномірність розподілу швидкості руху газу у коагуляторі та краплеуловлювачі. Тому для підвищення ефективності запропоновано встановити у корпусі сепаратора відбивач сферичної або конічної форми. Порівняння отриманих результатів імітаційного моделювання дало змогу встановити, що використання сферичного відбивача у конструкції сепаратора порівняно із застосуванням конічного створює більш рівномірний рух потоку газу через краплеуловлювач.

Ключові слова: імітаційне моделювання, коагулятор, краплеуловлювач, сепаратор, тримірна модель.

Before transportation the gas produced at gas fields is necessarily pre-treated. For this purpose gas separators are used, the quality of marketable products depends on their efficiency. There are many separators of different designs, but usually they consist of sections, which differ from each other by design features. The efficiency of gas separation depends on the internal devices of the separators, such as: inlet baffles, breakwaters, defoamer, drift eliminators, drift eliminators, anti-vortexers. Even though a vertical gas separator has 99% efficiency, the distribution of gas movement in it remains interesting, especially in such critical elements as a coalescer and a droplet eliminator. Computer simulation programs were purchased for designing various equipment, including oil and gas mass use. Such programs besides development of technical documentation (drawings, specifications, graphs, etc.) give an opportunity to investigate equipment (to determine its stress-strain state, to predict durability, to model behavior of hydrogasdynamic flows, etc.). Performance of simulation modeling of constructed three-dimensional model of separator allowed to reveal design drawbacks, namely uneven distribution of gas velocity in coagulator and droplet separator. Therefore, in order to increase efficiency it was suggested to install a reflector, spherical or conical, in the separator body. Comparison of obtained results of simulation allowed to establish that using of spherical reflector in separator design in comparison with using of conical one creates more uniform movement of gas flow through the droplet eliminator.

Keywords: simulation modeling, coagulator, droplet eliminator, separator, three-dimensional model.

Вступ

Природний газ широко застосовується як недороге паливо із високою теплотворною здатністю (при спалюванні 1 м^3 виділяється до 54 400 кДж). Це одне із найкращих видів палива для побутових та промислових потреб. Найпоширенішим способом доставки його до споживачів є транспортування трубопроводами.

Проте, перед транспортуванням газ, що видобувається на газових родовищах, обов'язково проходить попереднє очищення. Для цього застосовують газові сепаратори, від ефективності роботи яких залежить якість товарної продукції [1].

Нестабільність параметрів вхідного потоку газу призводить до його неякісного очищення на існуючих газових сепараторах. Це пов'язано із тим, що їх конструкції розраховані на

вузький діапазон ефективної роботи. Внаслідок цього відбувається накопичення рідини, яка залишається у вихідному газовому потоці, у місцевих опорах тощо. Це призводить до втрат тиску на подолання газовим потоком цих перешкод. Вищевказані причини призводять до збільшення перепаду тиску на ділянці газопроводу, що, у свою чергу, призводить до збільшення експлуатаційних та операційних витрат газотранспортного підприємства [2].

Аналіз вітчизняних досліджень і публікацій

Найпоширенішим та найбільш простим обладнанням для відділення газової фази від рідкої є сепаратори.

Існує багато сепараторів різних конструкцій, але, зазвичай, вони складаються із перелічених нижче секцій [2].

Основна сепараційна секція. Призначена для відділення основної частини рідини (нафти, газового конденсату, води) від вхідного газорідного потоку. Для забезпечення високоефективної попередньої сепарації та рівномірного розподілу потоку по перерізу апарату застосовують конструктивні пристрої:

- тангенціальний ввід потоку, за якого рідини під дією відцентрової сили відкидається до стінки посудини та стікає по ній, а газ, розподіляється по перерізу апарату та виводиться із нього;

- відбиваючі пристрої (пластини прямокутної або круглої форми, півсфери), що встановлюються на вході у сепаратор;

- вбудований циклон, що встановлюється на вході у горизонтальний сепаратор;

- елементи, що дозволяють здійснити роздільний вхід газу та рідини у сепаратор [3].

Осаджувальна секція. У цій секції газонафтових сепараторів відбувається додаткове виділення бульбашок газу із рідини. У газових сепараторах рідина у даній секції відділяється під дією гравітаційних сил, а газ рухається у посудині із відносно низькою швидкістю. У газових сепараторах деяких конструкцій для зниження турбулентності застосовують різноманітні пристрої: пластини, циліндричні та напівциліндричні поверхні [3].

Секція збору рідини. Служить для збору рідини, із якої майже повністю у попередніх секціях виділився газ при заданій температурі та тиску. Проте, деяка кількість газу у ній таки є. Для сепараторів об'єм цієї секції вибирають так, щоб можна було утримувати відсепаровану рідину протягом часу, який необхідний для

виходу бульбашки газу на поверхню та вторинного потрапляння у газовий потік [3].

Секція краплеуловлювання. Призначена для уловлювання частинок рідини у газі, що виходить із сепаратора. Секція складається зазвичай із відбійних пристроїв (насадок) різного виду: керамічних кілець, жалюзей, пакетів із плетеної дротяної сітки тощо.

Критерієм ефективності відділення крапель рідини від газу є величина питомого винесення рідини, яка повинна знаходитися у межах від 10 до 50 мг/м³ газу.

Ефективність роботи відбійних насадок залежить від деяких факторів, основними з яких є:

- допустима швидкість входу газу;
- визначена кількість рідини, що поступає із газом;
- рівномірне навантаження на насадку за площею її поперечного перерізу.

Крім функцій, що виконуються описаними секціями, у конструкціях сепараторів повинні бути передбачені елементи, що запобігають утворенню піни та мають можливість її гасити, а також знижують шкідливий вплив пульсації газорідного потоку на сепарацію рідини та газу [3].

Пристрої сепараторів, що розміщуються у його корпусі. Ефективність сепарації залежить від внутрішніх пристроїв сепараторів. Слід зауважити, що більшість пристроїв для покращення ефективності сепарації є запатентованими.

Розглянемо основні типи пристроїв, ефективність їх використання, а також можливі недоліки та ускладнення, пов'язані із їх встановленням [4].

Вхідні перегородки встановлюються на вході у сепаратор: на них відбувається різка зміна імпульсу та напрямку руху багатофазного потоку. Вхідна перегородка може бути плоскою пластиною, швелером, сферичною тарілкою чи конусом.

Останні два варіанти створюють менше перешкод, ніж пластини або кутові профілі. Їх використання знижує ймовірність виникнення проблем повторного винесення рідини та утворення емульсій [4].

Також набули поширення відцентрові вхідні пристрої (рис. 1). При їх використанні знижується утворення піни та поліпшується розподіл потоку. Відцентрові пристрої можуть бути встановлені на вхідному патрубку горизонтального або вертикального резервуара і є особливо ефективними для поліпшення

пропускної здатності газу через нафтогазові сепаратори з високим газовим фактором.

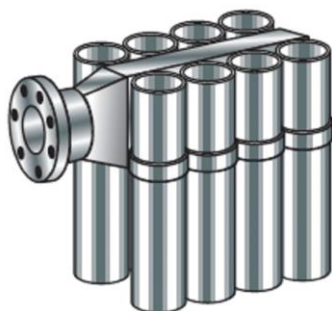


Рисунок 1 – Вхідний пристрій відцентровго типу

Хвилерізи – вертикальні перегородки, встановлені в горизонтальних апаратах перпендикулярно потоку, призначені для збільшення розриву між газом і рідиною.

Піногасник – утворення піни може призвести до надмірного винесення рідини в газову фазу. Існує набивальний матеріал, який може бути розміщений на шляху виходу газової фази. Він обмежує потік і створює додаткову площу поверхні, що сприяє розпаду піни.

Краплевідбійники встановлюють для видалення із газу дрібних крапель рідинного туману. На сьогодні найбільшого застосування отримали сітчасті і лопатеві краплевідбійники [4].

У лопатовому краплевідбійнику (рис. 2) рух газу є ламінарним та відбувається через паралельні пластини, які змінюють його напрям.

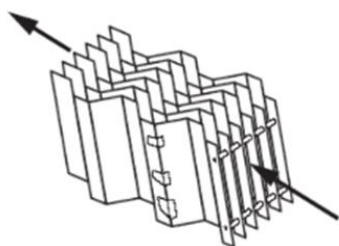


Рисунок 2 – Лопатевий краплевідбійник

Кінетична енергія рідинного туману змінюється, викликаючи зіткнення і злиття крапель на стінках лопатей. Рідина стікає стінками і збирається у нижній частині сепаратора. Лопатеві сепаратори є високоефективними і менш схильні до засмічення, порівняно із сітчастими краплеуловлювачами [3].

Сітчасті краплевловлювачі виготовляються із сітки діаметром 0,05-0,5 мм (рис. 3). При використанні схожих пристроїв особливу увагу слід приділити швидкості проходження крізь

них газу. Занадто мала швидкість не дозволить краплям рідини стикатися і зливатися, а надмірна – призведе до повторного винесення крапель газом. Сітчасті краплевловлювачі дешеві, але малоприсадибні для обробки газу, що містить тверді частки, важкі фракції нафти або парафіни. Крім того, сітчасті краплеуловлювачі ефективно працюють тільки у певному діапазоні витрат газу.



Рисунок 3 – Сітчастий краплеуловлювач

Зазвичай, в краплеуловлювачі лопатевого або сітчастого типу досягається 99,9% видалення крапель нафти розміром до 10 мікрон. Закордонні виробники сепараційного обладнання гарантують зменшення об'єму рідини, що виноситься, у оброблюваному газі до 12 мг/м³. Інші ж, що об'єм рідини в сепараторах, обладнаних краплеуловлювальними елементами, не перевищать 30 мг/м³ [4].

Протизавихрювачі. Утворення завихрень перешкоджають процесу сепарації і сприяють винесення газу у випускний отвір для рідини. Утворенню завихрень можна запобігти, підтримуючи відповідний рівень рідини, який є вищим рівня випускного штуцера, а також за допомогою установки гасників завихрень. Кілька типів протизавихрювачів зображені на рис. 4.

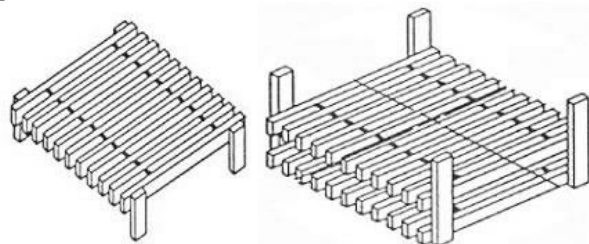


Рисунок 4 – Протизавихрювачі

Вдало спроектований газосепаратор повинен відповідати таким вимогам:

- розсіювати та контролювати енергію руху газу;
- зменшувати швидкість потрапляння газу і рідини, щоб забезпечити гравітаційне розділення на початковій стадії;

– утримувати рідину достатній час для того, щоб відділити розчинений газ від рідких вуглеводнів;

– виключати можливість повторного протраплення рідини.

Типи газосепараторів

У основному, виробники виготовляють газосепаратори двох основних видів: вертикальні та горизонтальні. Проте також можна зустріти і сферичні, які з'явилися відносно недавно. Вони призначені для роботи із газами при середніх тисках, та незначною кількістю рідини.

Вибір типу сепаратора (горизонтальний або вертикальний) здійснюють із урахуванням газового фактору. Вертикальні сепаратори придатні для розділення сумішей або з дуже високими або ж з дуже низькими газовими факторами. Саме вертикальні сепаратори застосовуються в цих двох випадках тому, що регулювати рівень розділу фаз при горизонтальній конфігурації складніше, ніж при вертикальній. Крім того, вертикальні сепаратори вимагають менше місця для встановлення, що стає важливим чинником під час проектування. Також слід зазначити, що вертикальний сепаратор легший (порівняно із горизонтальним), самоочищається від механічних домішок (піску, проппанта, солі, асфальтенів тощо).

Принцип роботи вертикального сіткового газосепаратора

На рис. 5 зображено типову схему газового вертикального сіткового сепаратора. Газ на сепарацію потрапляє у корпус 5 сепаратора через вхідний патрубок 7, який розміщений тангенціально. Далі із газу виділяються частинки рідини які мають більшу масу, тож, відповідно, осідають на днищі 9. Сам газ із дрібнішими частинками рідини рухається вгору через коагулятор 6, у якому відбувається частинки рідини збільшуються. Далі газ із цими частинками потрапляє на краплеуловлювач 3, де краплі вологи осідають на сітці, а очищений від неї газ виходить із корпуса сепаратора крізь вихідний патрубок 1.

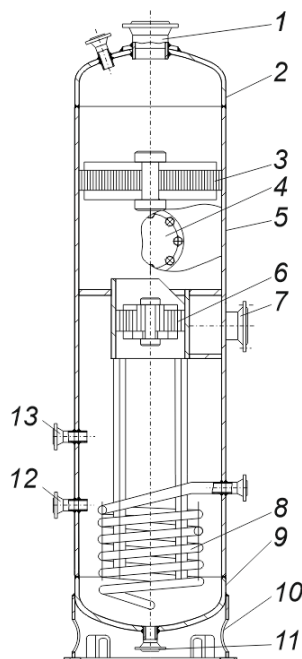
Мета роботи та обґрунтування необхідності її виконання

Попри на те, що ефективність вертикального газового сепаратора перевищує 99%, цікавим лишається розподіл руху газу у ньому, особливо у таких відповідальних його елементах, як коагулятор та краплеуловлювач. Тому необхідно провести дослідження

вертикального газового сепаратора за допомогою імітаційного моделювання.

Викладення основного матеріалу

Для проектування різного обладнання, в тому числі і нафтогазового, масового використання набули програми комп'ютерного імітаційного моделювання. Такі програми, окрім розроблення технічної документації (креслень, специфікацій, графіків тощо), дають можливість



1 – вихідний патрубок; 2, 9 – днище; 3 – сітки (краплеуловлювач); 4 – люк-лаз; 5 – корпус; 6 – коагулятор; 7 – вхідний патрубок; 8 – підігрівач; 10 – опора; 11 – зливний патрубок; 12, 13 – патрубки контролю рівня рідини

Рисунок 5 – Типова схема газового вертикального сіткового сепаратора

досліджувати обладнання (визначати його напружено-деформований стан, прогнозувати довговічність, моделювати поведінку гідродинамічних потоків тощо) [5].

Розроблення тримірної моделі сепаратора

Особливістю тримірної моделі сепаратора, що розроблена у середовищі SolidWorks (рис. 6) є те, що вона побудована як одна деталь. Це спрощення зроблене з метою економії часу на побудову та зменшення похибок, які виникають під час моделювання газодинамічних процесів, що відбуваються у сепараторах (наприклад, похибки при побудові та складанні моделі можуть призвести до утворення зазорів у конструкції, на ліквідацію яких доведеться витратити додатковий час).

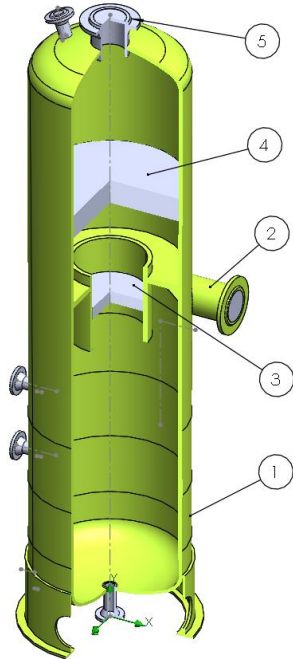
Тримірний модель розробленого газового сепаратора наведена на рис. 6.

Імітаційне моделювання сепаратора

Поставлена задача є внутрішньою, тобто рух газу моделюється в замкнутому просторі, обмеженому вхідними і вихідними отворами та стінками моделі. Цей тип підходить для вирішення завдань, пов'язаних з рухом газу в трубопроводах, клапанах, кранах,

теплообмінниках тощо [4].

Модель сепаратора була спрощена, оскільки додаткові елементи лише ускладнюють розрахункову сітку, суттєво сповільнюють розрахунок без помітного покращення його результатів. Після спрощення залишається тільки внутрішня частина апарату, тобто основна секція сепарації, коагулятор та краплеуловлювач. Основну секцію сепарації конструктивно не змінено, а от у



1 – корпус у зборі; 2 – вхідний патрубок; 3 – коагулятор; 4 – краплеуловлювач (сітка); 5 – вихідний патрубок

Рисунок 6 – Тримірний модель розробленого газового сепаратора

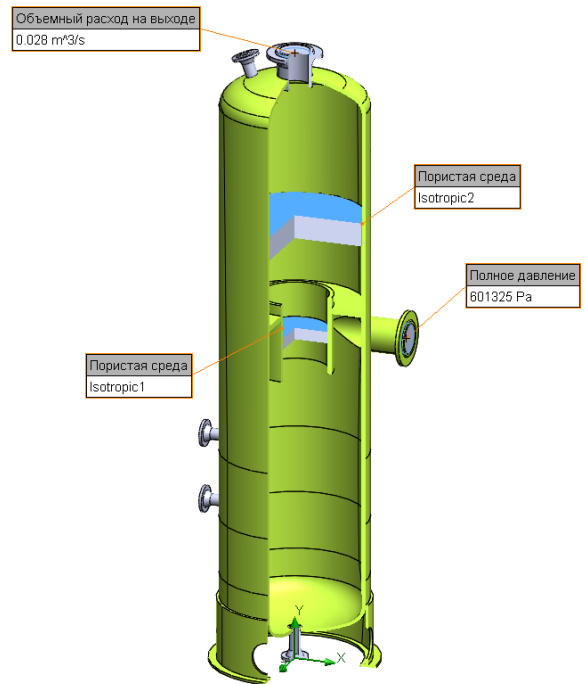


Рисунок 7 – Граничні умови

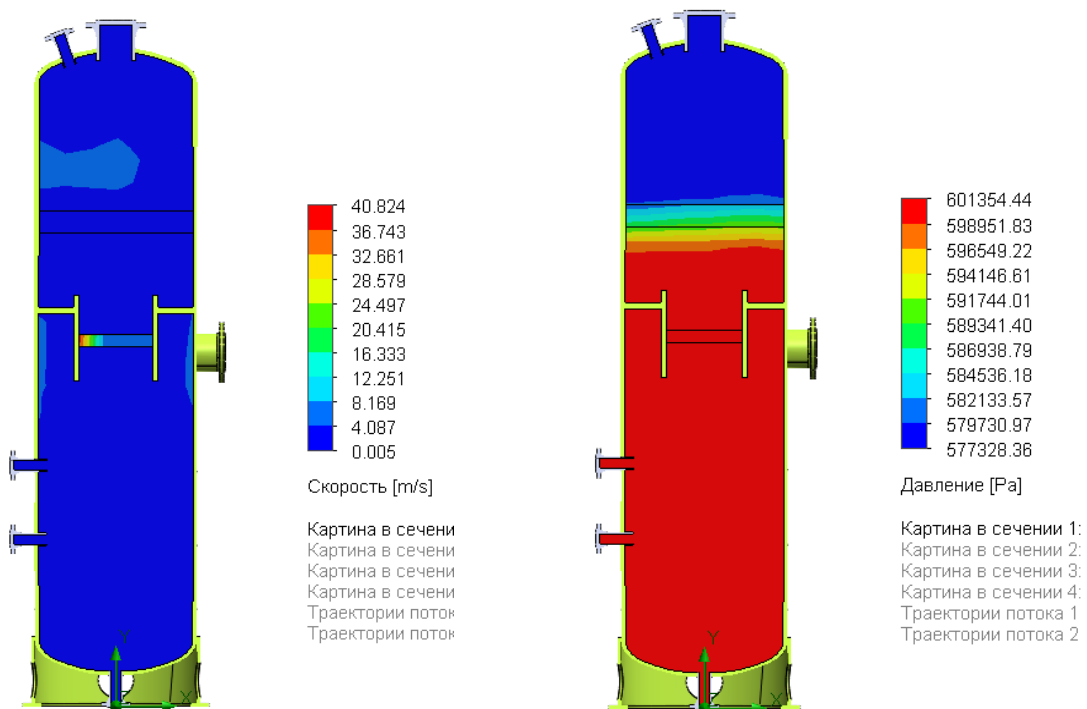


Рисунок 8 – Результати по глобальному максимуму

краплеуловлювачі було повністю забрано систему кріплення. Також були відкинута деякі технологічні елементи – труби, патрубки тощо, які не чинять істотного впливу на результати розрахунку.

Створення кришок і перевірка геометрії

Для створення замкнутого об'єму потрібно закрити отвори спеціальними об'єктами – «кришками». Після цього необхідно перевірити геометрію на наявність помилок. При перевірці обчислюється об'єм газорідної суміші та твердих тіл [6].

Створення пористого тіла

Основною проблемою при моделюванні течії в подібних системах є радіальна відмінність масштабів. У Flow Simulation для об'єктів з подібними відмінностями масштабів застосовується група налаштувань «вузькі канали». Проте число щілин по периметру обичайки становить кілька мільйонів. Тому необхідно використовувати таку функцію програми як «пористе тіло», що є «гомогенізованою» моделлю структурно-неоднорідного середовища, утвореною періодичними об'єктами. Flow Simulation містить кілька типів пористих середовищ [6].

У нашому випадку основні характеристики пористого тіла – ізоотпність, однакова проникність у всіх напрямках [6].

Створення проєкту

Проєкт створюють за допомогою команди Wizard. Спочатку у вікні конфігурацій задаємо ім'я проєкту. Далі – у вікні вибору системи вимірювань, вибрано систему SI. На третьому етапі – вікно типу аналізу, в якому враховується дія сил тяжіння, обертання і часу (в нашому випадку приймалася сила тяжіння). Четвертим етапом є вибір складу робочого середовища. п'ятим – параметрів стінки для теплової задачі, шостим – вікна внутрішніх умов: тиск, температура, параметри турбулентності. І зрештою – налаштування якості сітки [6].

Завдання граничних умов і виконання розрахунку

Для прив'язки математичної моделі до конкретної інженерної задачі необхідно задати граничні умови. У разі рішення стаціонарної задачі типові умови повністю визначають розподіл потоків робочого середовища. При вирішенні внутрішніх завдань задають вхідні і вихідні граничні умови руху потоків, а також

умови на поверхнях моделі, що стикаються з робочим середовищем [6].

Розрахунок запускається командою Run. Далі запускається вікно з налаштуваннями розрахунку, в якому можна вказати кількість процесорів і використовуваних комп'ютерів у мережі для розрахунку. Також налаштовується генерація розрахункової сітки і початку розрахунку з використанням отриманих раніше результатів.

Результати імітаційного моделювання

Після розрахунку може бути отриманий ряд результатів, таких як: параметри потоку газорідної суміші в різних перерізах, траєкторія руху потоків, значення параметрів у будь-якій точці або об'ємі розрахункової області. Нижче подані деякі ілюстрації результатів розрахунку.

Отже, як бачимо за отриманими результатами, розподіл швидкості у поздовжньому перерізі як коагулятора, так і краплеуловлювача є нерівномірним. Тому для аналізу швидкості руху у поперечному перерізі коагулятора та краплеуловлювача наведено рис. 10.

Розподіл швидкості руху газу при проходженні його як через коагулятор, так і через краплеуловлювач є нерівномірним у поперечному перерізі. Це, звісно, впливає на ефективність роботи газового сепаратора. Тому для покращення ефективності пропонується встановлення у корпусі сепаратора відбивача – сферичного чи конічного (рис. 12).

На рис. 13 наведено розподіл швидкості руху газу в поперечному перерізі сепаратора із сферичним відбивачем. На рис. 14 – розподіл швидкості у поперечному перерізі сепаратора із конічним відбивачем.

Порівнявши ці результати, можна зробити висновок, що використання сферичного відбивача у конструкції сепаратора порівняно із застосуванням конічного відбивача створює більш рівномірний рух потоку газу через краплеуловлювач.

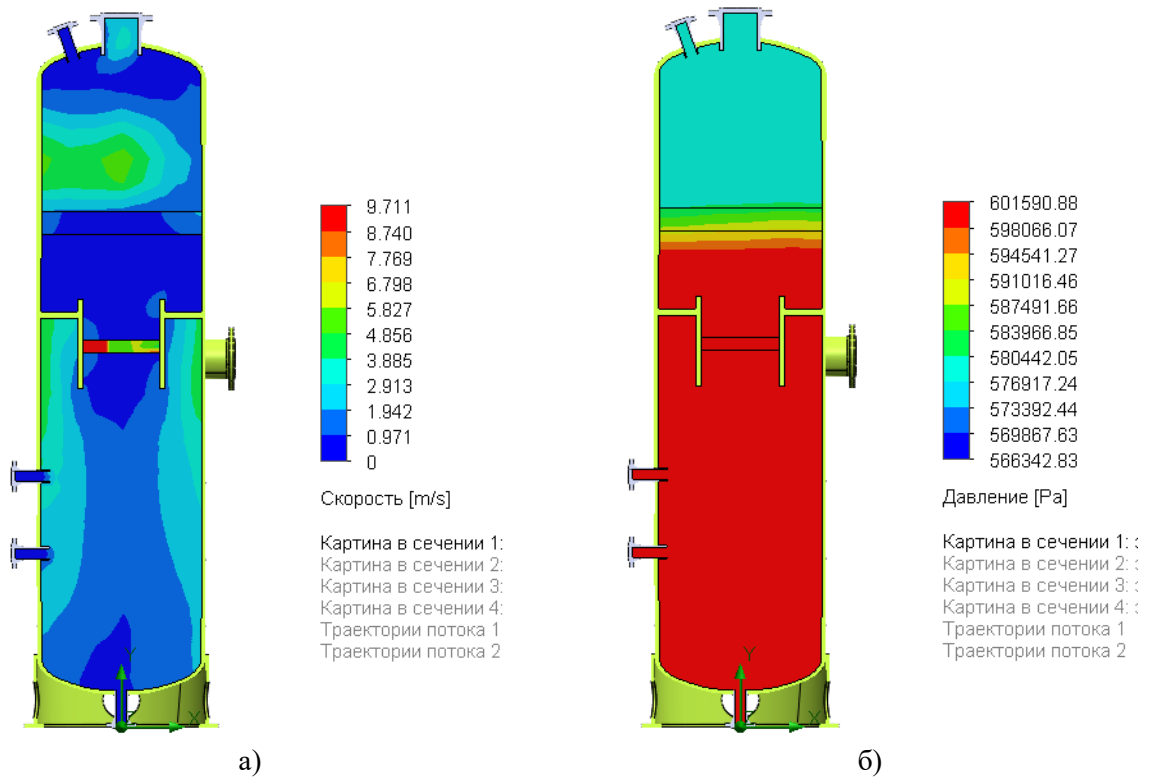


Рисунок 9 – Результати по локальному максимуму

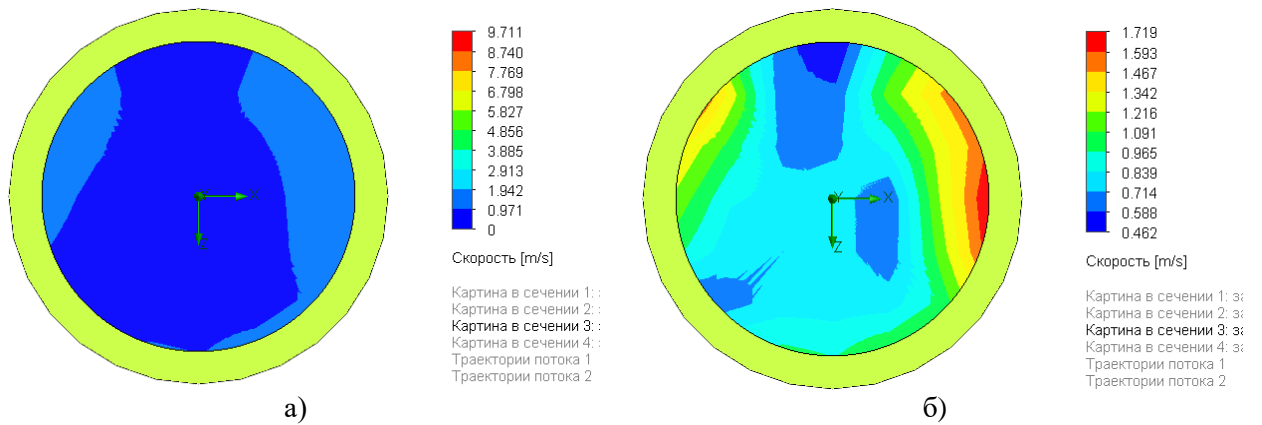


Рисунок 10 – Розподіл швидкості у поперечному перерізі краплеуловлювача

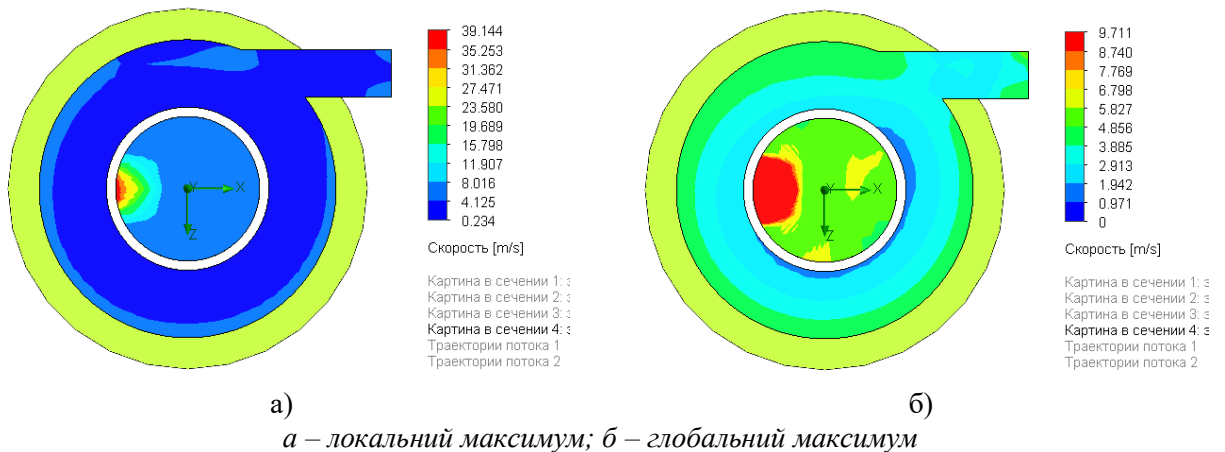
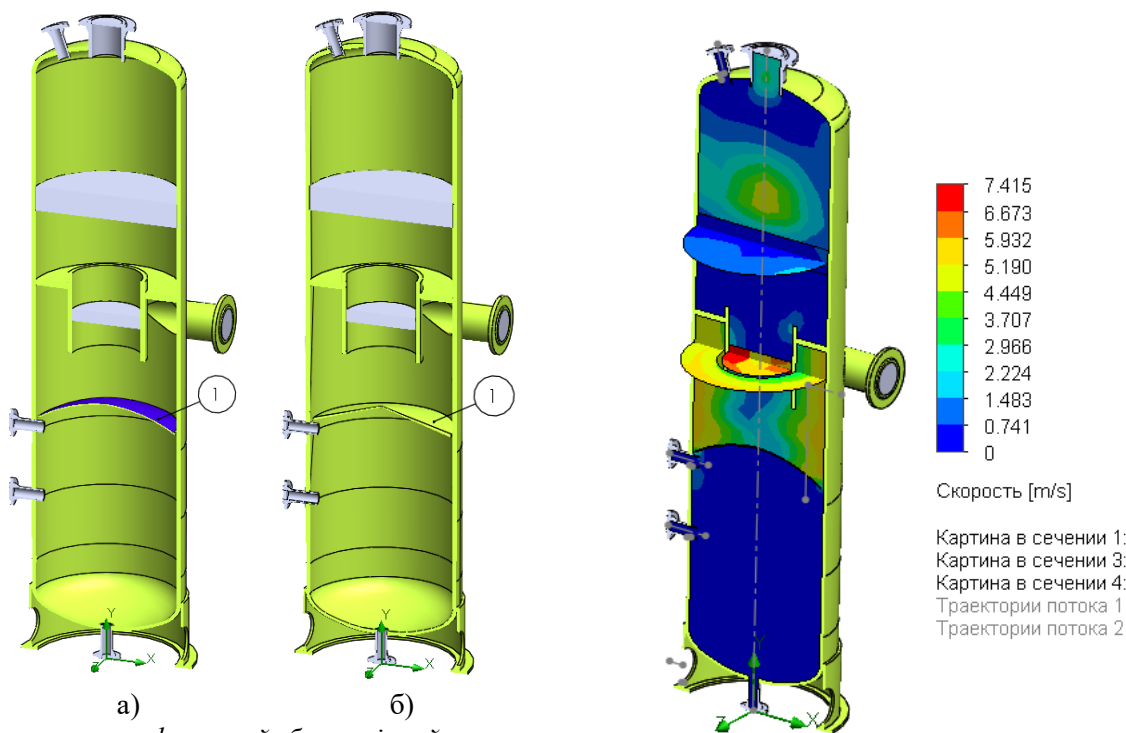
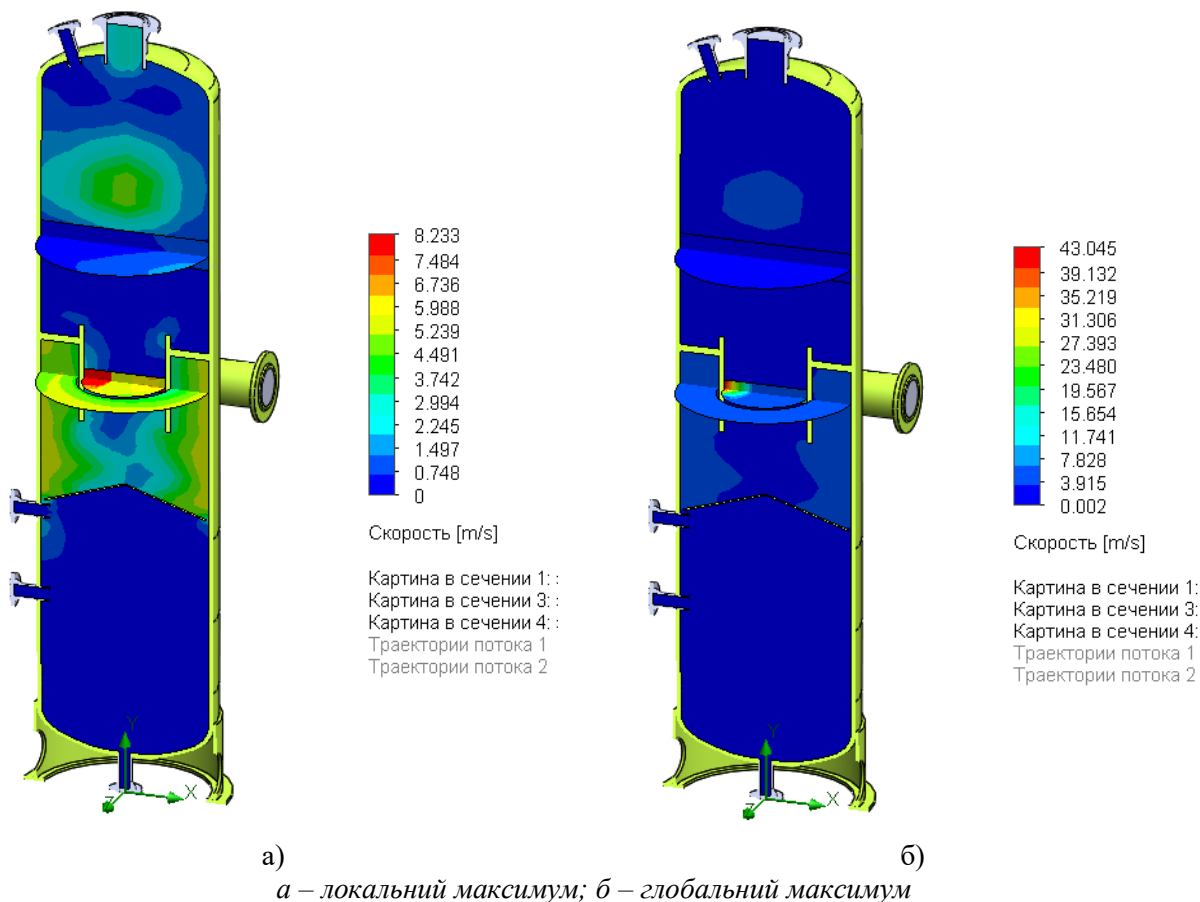


Рисунок 11 – Розподіл швидкості у поперечному перерізі коагулятора



а) – сферичний; б) – конічний
Рисунок 12 – Конструкції відбивачів

Рисунок 13 – Розподіл швидкості у поперечному перерізі сепаратора із сферичним відбивачем (локальний максимум)



а) – локальний максимум; б) – глобальний максимум
Рисунок 14 – Розподіл швидкості у поперечному перерізі сепаратора із конічним відбивачем

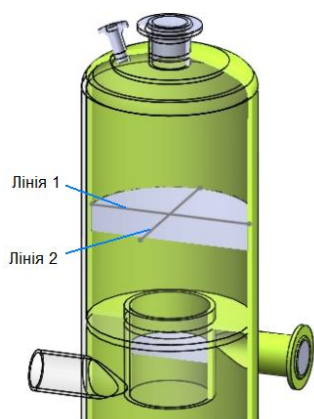


Рисунок 15 – Модель сепаратора із вказаними лініями, по яких побудовано графічні залежності

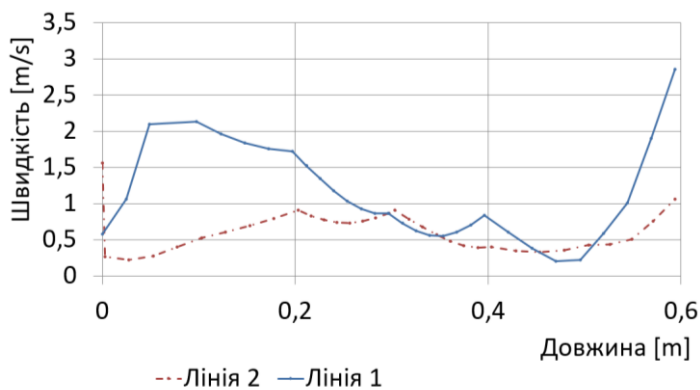
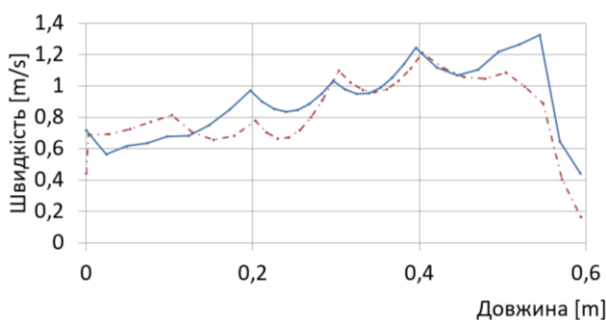
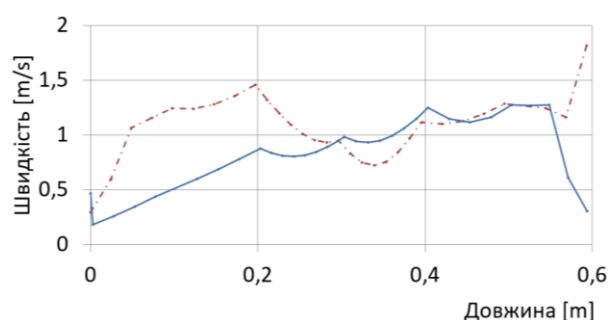


Рисунок 16 – Розподіл швидкості потоку газу у стандартній конструкції сепаратора



Сепаратор із сферичним відбивачем



Сепаратор із конічним відбивачем

Рисунок 17 – Розподіл швидкості потоку газу у досліджуваних конструкціях сепаратора

На рисунках 16-17 наведено графічні залежності розподілу швидкості руху газу у поперечних перерізах сепаратора у відповідності до використаних ліній.

Із результатів дослідження випливає, що яку б модернізовану конструкцію сепаратора не використовували, у ній рух газу через краплеуловлювач є набагато рівномірнішим, що ефективно впливає на процес сепарації. При цьому, з точки зору технології виготовлення, пропонувані зміни у конструкції є досить простими.

Висновки

Виконання імітаційного моделювання побудованої тримірної моделі сепаратора дало змогу виявити недоліки конструкції вертикального газового сіткового сепаратора. Ними виявились нерівномірність розподілу швидкості руху газу у коагуляторі та краплеуловлювачі. Для усунення цих недоліків запропоновано встановити у корпусі сепаратора відбивач сферичної або конічної форми. У результатів порівняння роботи конструкцій відбивачів встановлено, що використання сферичної конструкції відбивача

створює рівномірніший рух потоку газу через краплеуловлювач сепаратора.

Література

1. Совершенствование приемов очистки газа на основе газовых сепараторов вихревого типа СГВ-7 / Привалов Д.М., Привалова Н.М., Двандненко М.В., Юрьев Э.В. *Научный журнал КубГАУ*. 2017. № 130. С. 280-289.
2. Синайский Э.Г., Лапига Е.Я., Зайцев Ю.В. Сепарация многофазных многокомпонентных систем. М.: Недра, 2002. 622 с.
3. Лазинский А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: Справочник. М.: ООО ИД «Альянс», 2008. 752 с.
4. Гуревич Г.Р., Карлинский Е.Д. Сепарация природного газа на газоконденсатных месторождениях. М.: Недра, 1982. 197 с.
5. Алиев Т.Т., Беляев С.Н., Галахарь А.С. Моделирование в среде ANSYS течения многокомпонентной газовой смеси через циклон ЦКБН пылеуловителя ГП-628 на участке очистки газа. *Известия высших*

учебных заведений. *Машиностроение*. 2014. 10 [655]. С. 25-30.

6. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. СПб.: БХВ–Петербург, 2010. 235 с.

References

1. Sovershenstvovanie priemov ochildki gaza na osnove gazovyih separatorov vihrevogo tipa SGV-7 / Privalov D.M., Privalova N.M., Dvadenko M.V., Yurea E.V. *Nauchnyiy zhurnal KubGAU*. 2017. No 130. P. 280-289. [in Russian]

2. Sinayskiy E.G., Lapiga E.Ya., Zaytsev Yu.V. Separatsiya mnogofaznyih mnogokomponentnyih sistem. M.: Nedra, 2002. 622 p. [in Russian]

3. Laschinskiy A.A. Osnovy konstruirovaniya i rascheta himicheskoy apparatury: Spravochnik. M.: OOO ID «Alyans», 2008. 752 p. [in Russian]

4. Gurevich G.R., Karlinskiy E.D. Separatsiya prirodnoho gaza na gazokondensatnyih mestorozhdeniyah. M.: Nedra, 1982. 197 p. [in Russian]

5. T.T. Aliev, S.N. Belyaev, A.S. Galahar/ Modelirovanie v srede ANSYS techeniya mnogokomponentnoy gazovoy smesi cherez tsiklon TsKBN pyileulovitelya GP-628 na uchastke ochildki gaza. *Izvestiya vyisshih uchebnyih zavedeniy. Mashinostroenie*. 2014. 10 [655]. P. 25-30. [in Russian]

6. Alyamovskiy A.A. Inzhenernyie raschety v SolidWorks Simulation. SPb.: BHV–Peterburg, 2010. 235 p. [in Russian].