

ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ КЛАПАНА ГАЗОМОТОКОМПРЕСОРА

Я.Т. Федорович, В.В. Михайлюк, Р.О. Дейнега, А.О. Воржейнова

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42166

e-mail: no@nimg.edu.ua

Клапани є однією з найслабших ланок в конструкції газомотокомпресорів. Найбільшого поширення набули пластинчасті (прямотічні) клапани, оскільки вони володіють найдосконалішими аеродинамічними характеристиками. Однак істотними недоліками пластинчастих клапанів є складність їх конструкції, низька ремонтпридатність та висока чутливість до чистоти газу, що перекачується.

Стандартна конструкція клапана газомотокомпресорів МК-8М та 10ГК має ряд недоліків, одним з яких є створення опору руху газу, що, в свою чергу, призводить до значних втрат енергії при проходженні газу крізь нього. З метою зменшення цих втрат запропоновано змінити форму пластини клапана.

Щоб порівняти величини втрат енергії при проходженні газу крізь клапани з різними формами пластин у програмі SolidWorks виконано імітаційне моделювання. Встановлено, що запропонована пластина клапана має перевагу перед стандартною.

У результаті оптимізації запропонованої пластини клапана газомотокомпресора встановлено оптимальні радіуси її заокруглень, що зменшує енергетичні затрати на проходження газу через клапан.

Ключові слова: газомотокомпресор, клапан, тиск, швидкість, втрати енергії.

Клапаны – самое слабое звено в конструкции газомотокомпрессоров. Наиболее распространены пластинчатые (прямоточные) клапаны, так как они обладают хорошими аэродинамическими характеристиками. Однако существенными недостатками пластинчатых клапанов является сложность их конструкции, низкая ремонтпригодность и высокая чувствительность к чистоте перекачиваемого газа.

Стандартная конструкция клапана газомотокомпрессоров МК-8М и 10ГК имеет ряд недостатков, одним из которых является создание сопротивления движению газа, что, в свою очередь, приводит к значительным потерям энергии при прохождении газа через него. С целью уменьшения этих потерь предлагается изменить форму пластины клапана.

Для сравнения величины потерь энергии при прохождении газа через клапаны с различными формами пластин в программе SolidWorks выполнено имитационное моделирование. Установлено, что предложенная пластина клапана имеет преимущество перед стандартной.

В результате оптимизации предложенной пластины клапана газомотокомпрессора установлены оптимальные радиусы ее закруглений, что уменьшает энергетические затраты на прохождение газа через клапан.

Ключевые слова: газомотокомпрессор, клапан, давление, скорость, потери энергии.

Valves are considered to be the weakest link of a gas motor compressor design. The plate (process) valves are frequently used due to their good aerodynamic properties. However, the plate valve design is rather complex, their maintainability is low, they are highly sensitive to the pumped gas purity.

The standard design of MK-8M and 10GK gas motor compressor valve has several disadvantages, among them is the resistance to gas flow, which in turn, leads to significant energy losses. To reduce these losses, it is proposed to change the shape of the valve plate.

For comparison, the values of energy loss during gas passage through valves with different forms of plates, using SolidWorks program the simulation modeling was performed. It was determined that the proposed valve plate has the advantage over the standard one.

As a result of optimization of the proposed gas motor compressor valve plate, its optimal rounding radii were determined, thus, reducing energy costs for gas passing through the valve.

Keywords: compressor, valve, pressure, speed, energy loss.

Вступ

Газомотокомпресори (ГМК) типу МК-8М та 10ГК призначені для стиснення, перекачування природних і попутних нафтових газів. Вони широко використовуються у нафтогазопромисловій галузі, зокрема у системах магістральних газопроводів, на нафтогазопереробних заводах, сховищах підземного зберігання газу та інших об'єктах [1].

ГМК типу 10ГК складається з двотактного газового двигуна простої дії із газотурбінним наддувом, з V-подібним розміщенням циліндрів і поршневого компресора подвійної дії, що розміщений горизонтально. ГМК типу МК8

складається із двотактного газового двигуна простої дії з газотурбінним наддувом, циліндрів двигуна, розміщених вертикально в один ряд та компресорних циліндрів, що горизонтально змонтовані [2].

Під час роботи ГМК його вузли і деталі піддаються дії різних сил, температур, тисків, робочого середовища, що у подальшому спричиняє вихід їх з ладу. До цих вузлів та деталей відносять: колінчасті вали, вкладки шатунного і крейцкопфного підшипника, деталі циліндропоршневої групи, деталі клапанних вузлів [3].

Відомо, що руйнування клапанів (насамперед пластин та кілець) є причиною 70–90 % зупинок компресорів [3, 4].

У ГМК використовують різноманітні конструкції клапанів, що пояснюється як специфічною роботою різних типів компресорів, так і прагненням до створення надійних і економічних конструкцій клапанів. Аналіз результатів багаторічної експлуатації клапанів свідчить, що кожному їх типу властиві певні переваги та недоліки [3, 4].

Отже, клапани компресора можна розглядати як одну із найслабших ланок його конструкції, тому до клапанів будь-якого типу висувають такі вимоги:

- простота конструкції;
- висока ремонтпридатність;
- максимальна зносостійкість;
- мінімальна вага;
- щонайменший «мертвий» простір;
- висока герметичність.

Аналіз вітчизняних досліджень і публікацій

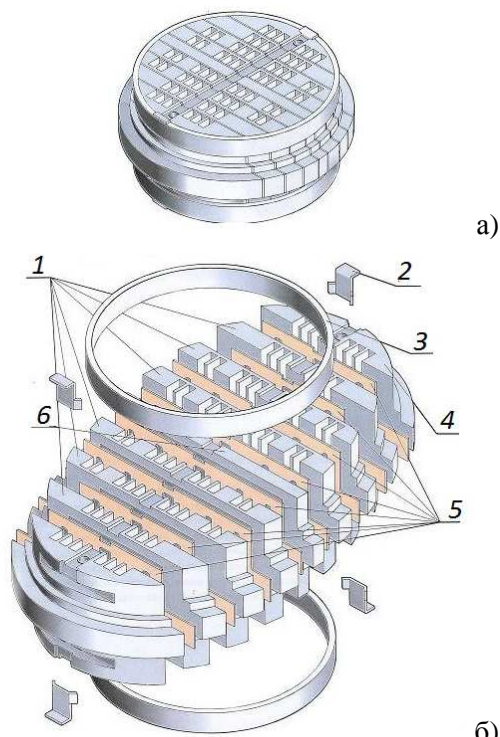
Сьогодні у конструкціях ГМК використовуються нагнітальні та всмоктувальні клапани з такими типами запірних органів: пластинчасті (прямотічні); кільцеві; дискові; стрічкові і ковпачкові [3, 4].

Прямотічні клапани (ПК) (рис. 1) найбільш поширені, оскільки використовуються у поршневих компресорах, що стискають повітря, кисень, природний і технологічні гази, у різних галузях промисловості. Застосування цих клапанів було прогресивним кроком, оскільки вони володіють досконалішими аеродинамічними характеристиками порівняно з іншими конструкціями клапанів. В той же час істотними недоліками таких клапанів є складність їх конструкції, низька ремонтпридатність та висока чутливість до чистоти робочого газу.

Прямотічні клапани надійно працюють на компресорах із машенням або без машення циліндрів з частотою обертання колінчастого вала до 1000 хв^{-1} та перепадом тисків на клапан до 4,0 МПа, забезпечуючи при цьому високі техніко-економічні показники роботи компресорів. Клапани мають великий прохідний переріз, тому під час проходження через них потік газу майже не змінює напрямку руху. Корпуси прямотічних клапанів виготовляються з алюмінію, латуні чи сталі, залежно від робочого середовища. Пластини клапана виготовляють з спеціальної високоякісної пружинної сталі.

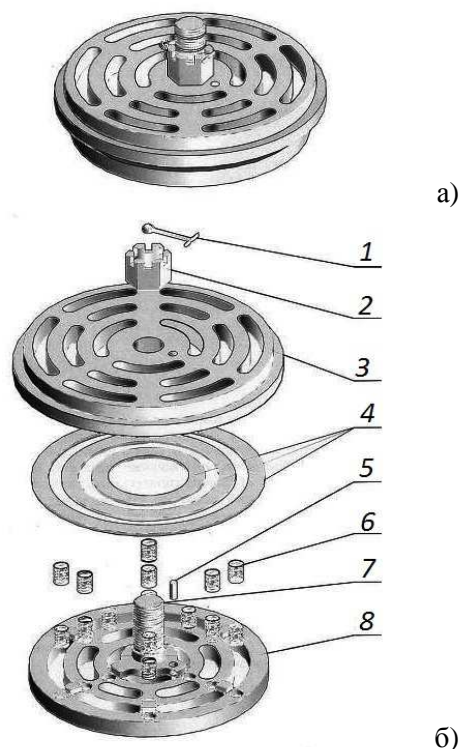
Кільцеві клапани (рис. 2) використовуються в поршневих компресорах середнього та високого тиску. До цих клапанів висуваються високі вимоги щодо надійності і ефективності, оскільки вони працюють у складних умовах із газами, що містять коксуючі метали, тверді частини, мастила.

Кільцеві клапани застосовуються у тих випадках, коли використання прямотічних клапанів є неможливим. Найчастіше вони використовуються в компресорах із частотою обертання колінчастого вала не більше 1500 хв^{-1} і перепадом тисків на клапан – до 2,5 МПа. Залежно від призначення компресора деталі



*а – клапан у складеному вигляді;
б – клапан у рознесеному вигляді;
1 – сідло; 2 – стопорна планка;
3 – кільце кріплення; 4 – бокова плита;
5 – пластини; 6 – обмежувач*

Рисунок 1 – Прямотічний клапан



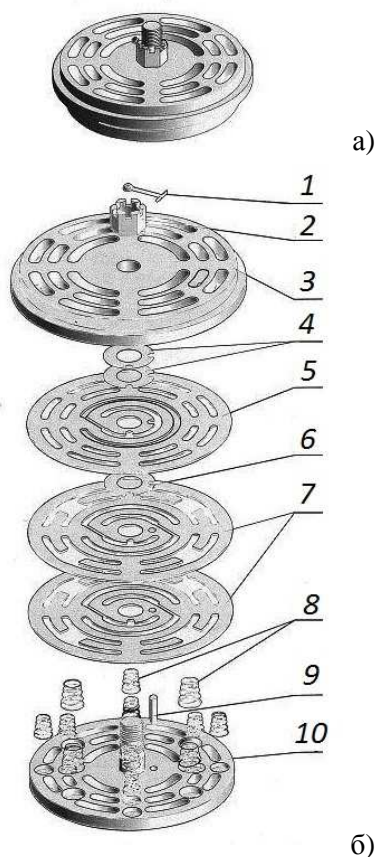
*а – клапан у складеному вигляді;
б – клапан у рознесеному вигляді;
1 – шплінт; 2 – гайка; 3 – сідло;
4 – пластина; 5 – штифт; 6 – пружина;
7 – штилька; 8 – обмежувач*

Рисунок 2 – Кільцевий клапан

корпуса кільцевих клапанів виготовляються з чавуну, сталі або кольорових металів, пластини – зі спеціальних високоякісних сталей.

Стрічкові клапани. У деяких компресорах старих моделей використовуються тільки стрічкові клапани. Їхня конструкція є простою та дешевою. Частіше вони використовуються у компресорах малої та середньої продуктивності, що мають частоту обертання колінчастого вала до 1500 хв^{-1} та перепад тисків на клапан – до 2,5 МПа. Деталі цих клапанів виготовлені з зносостійкої сталі. Клапани виготовляються різноманітних форм та можуть бути індивідуальні і комбіновані.

Дискові клапани. Дискові клапани (рис. 3) використовуються в поршневих компресорах, що стискають повітря, кисень, природний газ, технологічні гази. Ці клапани надійно працюють у компресорах із мащенням та без мащення циліндрів з частотою обертання колінчастого вала до 2500 хв^{-1} та перепадом тисків на клапан до 2,5 МПа. Дискові клапани можуть бути укомплектовані металевими або пластмасовими пластинами залежно від умов їх роботи. Для стиснення агресивних чи сильно забруднених середовищ, коли робота інших клапанів є ненадійною, застосовуються дискові клапани із пластмасовими пластинами.



а – клапан у складеному вигляді;
б – клапан у рознесеному вигляді;
1 – шплінт; 2 – гайка; 3 – сідро; 4 – кільце;
5 – тарілка; 6 – кільце; 7 – демпферна пластина;
8 – пружина; 9 – штифт; 10 – обмежувач

Рисунок 3 – Дискові (тарілкові) клапани

Пластини дискових клапанів виготовлені у вигляді диска, що має дугові вікна для проходження газу. Такі пластини дозволяють збільшувати прохідний переріз у клапані, зменшити висоту підйому пластини і тим самим покращити техніко-економічні показники компресора.

Для поршневих компресорів без мащення циліндрів розроблена конструкція дискових клапанів, що працюють без тертя пластин. Такі клапани можна використовувати замість прямиотічних клапанів.

Існує ще цілий ряд конструкцій клапанів, але вони є або дуже вузькоспеціалізованими, або існують тільки в окремих екземплярах.

Мета роботи та обґрунтування необхідності її виконання

Оскільки робота клапана значно впливає на техніко-економічні показники компресора, то вирішено провести оптимізацію елементів конструкції клапана, а саме форми пластини.

За основу взятий кільцевий нагнітальний клапан, недоліками конструкції якого є:

- значна маса;
- великий об'єм «мертвого простору»;
- низька стійкість металевих пластин до вібраційних та ударних навантажень, що призводить до швидкого руйнування пластин;
- значні втрати енергії під час газодинамічного розподілу потоку на плоских пластинах (рис. 4 а);
- неможливість працювати при руйнуванні однієї з пружини.

Для зменшення втрат енергії під час газодинамічного розподілу потоку запропоновано змінити форму пластини, надавши їй поперечного перерізу, зображеного на рис. 4 б. Це дасть змогу зменшити втрати під час газорозподілу потоку у клапані, а кільцевий виріз зменшить металоємність.

Викладення основного матеріалу

Як будь-який елемент пневмосистеми чи пневмомашини клапан відіграє важливу роль у її функціонуванні. Однак з пришвидшенням руху газу через клапан збільшуються втрати енергії на перекачування. Величина втрат енергії залежить як від шорсткості поверхонь клапана, так і від його конструктивних особливостей.

Отже, конструкція клапана повинна щонайменше перешкоджати руху газу, що проходить крізь нього. Тому у роботі виконано порівняння стандартної та запропонованої конструкції пластин кільцевих клапанів, а також проведено оптимізацію форми запропонованої пластини.

Оскільки проводити розрахунки для визначення втрат енергії досить складно, то для вирішення цієї задачі використано метод кінцевих елементів, що реалізується сучасними комп'ютерними програмами.

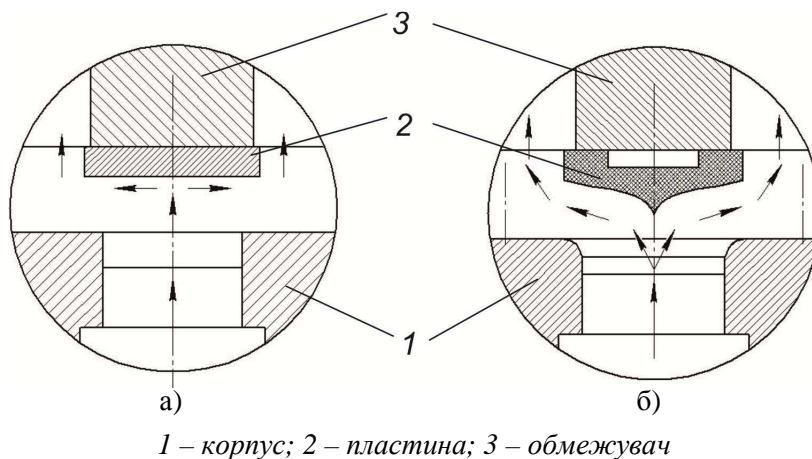


Рисунок 4 – Схема газорозподілу потоку в звичайному (а) та вдосконаленому (б) клапанах

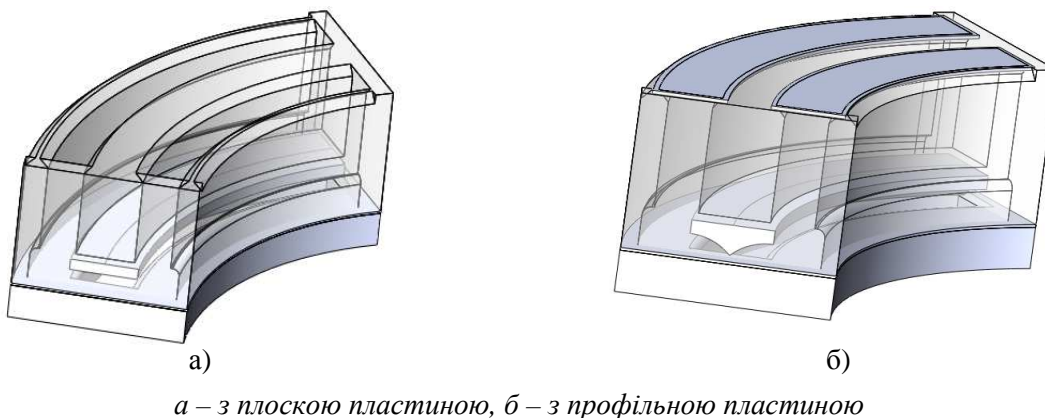


Рисунок 5 – Фрагменти кільцевого клапана з різними конструкціями пластин

Для виконання досліджень створено 3D моделі фрагментів кільцевих клапанів із різними формами пластин (рис. 5).

3D моделі фрагментів є сегментами 1/6 частини кільцевих клапанів. Дослідження фрагмента зменшує витрати часу для проведення розрахунку.

Граничними умовами для дослідження клапана прийнято тиск на його виході – 5,6 МПа та витрату газу на вході клапана величиною 0,0115 м³/с.

На рис. 6 та 7 подано результати, отримані після завершення розрахунків.

Отже, менший опір руху газу створює клапан з профільною пластиною (стандартний – 0,3 МПа, з профільною пластиною – 0,1 МПа). Слід зауважити, що конструкція сідла стандартного клапана є некоректною, оскільки містить різкі переходи, що збільшують опір руху газу та утворюють застійні зони.

Оскільки запропонована форма пластини клапана взята з конструктивних міркувань, то проведено її оптимізацію.

Автоматизувати оптимізацію форми пластини клапана можна використавши засоби сучасних САПР та параметричного моделювання.

Параметричне моделювання (параметризація) – моделювання (проекування) із використанням параметрів елементів моделі та взаємозв'язків між цими параметрами. Параметриза-

ція дозволяє за короткий час "прорахувати" (з допомогою зміни параметрів або геометричних співвідношень) різноманітні конструктивні схеми та уникнути принципних помилок. Параметричне моделювання суттєво відрізняється від звичайного двомірного креслення або тримірного моделювання. Під час параметричного моделювання створюється математична модель об'єктів з параметрами, при зміні яких відбувається зміна конфігурації деталі, взаємне переміщення деталей у збірці тощо.

Виділяють декілька видів параметризації моделі.

Таблична параметризація полягає у створенні таблиці параметрів типових деталей. Створення нового екземпляру деталі починається з вибору із таблиці типорозмірів. Можливості табличної параметризації досить обмежені, оскільки задавати довільні нові значення параметрів та геометричних співвідношень звичай неможливо. Але таблична параметризація знаходить широке застосування у всіх параметричних САПР, оскільки дає змогу суттєво спростити та пришвидшити створення бібліотек стандартних і типових деталей.

Ієрархічна параметризація (параметризація на основі історії побудов) полягає у тому, що вся послідовність побудови моделі відображається в окремих вікнах у вигляді "дерева побудови". Тут перераховані всі суттєві моделі, до-

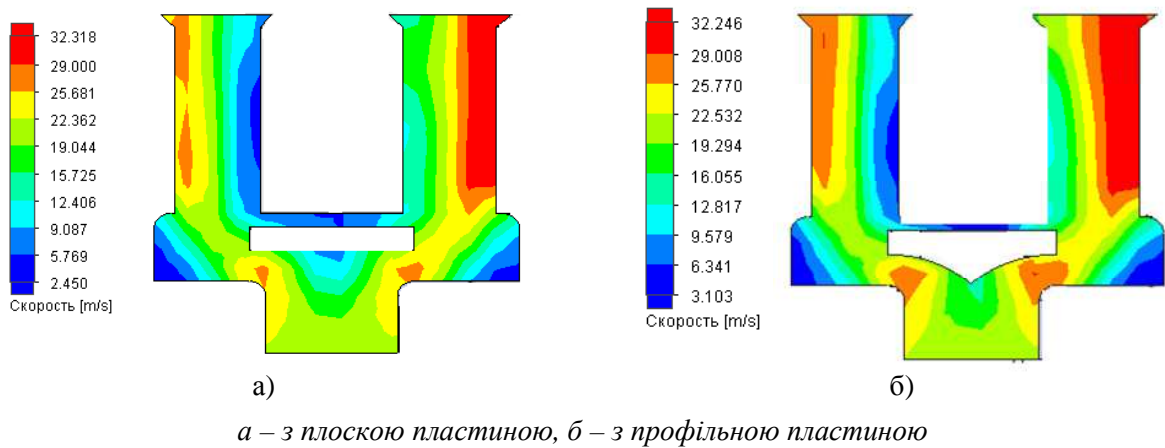


Рисунок 6 – Розподіл швидкості газу у поперечному перерізі фрагменту клапана

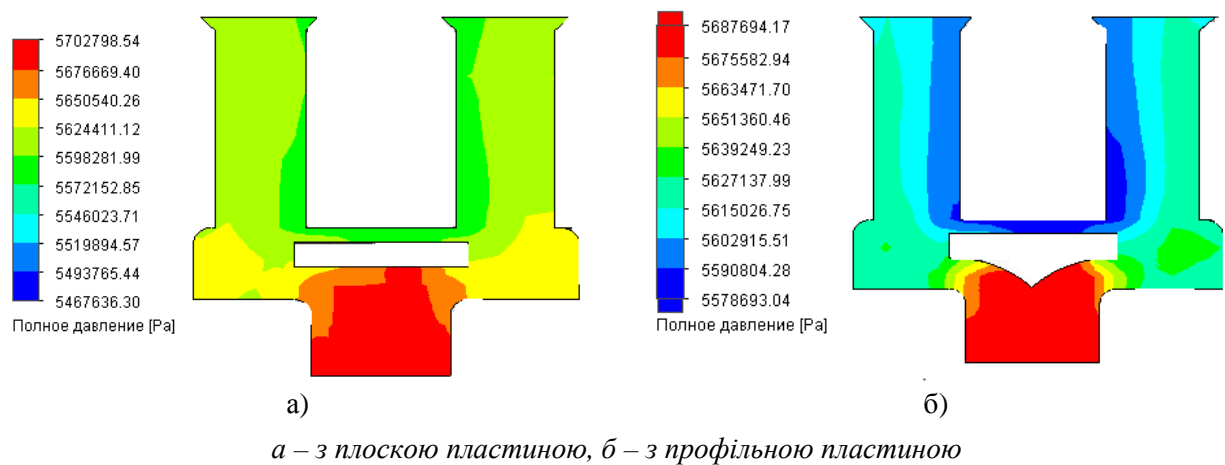


Рисунок 7 – Розподіл тиску газу у поперечному перерізі фрагмента клапана

поміжні елементи, ескізи та виконувани операції у порядку їх створення. Варіаційна або розмірна параметризація базується на побудові ескізів та їх зв'язків та застосуванні необхідних обмежень користувачем.

Геометричною параметризацією називається параметричне моделювання, при якому геометрія кожного параметричного об'єкта перераховується залежно від положення головного об'єкта.

Для реалізації параметричної моделі пластини клапана була вибрана програма SolidWorks, оскільки вона володіє широкими можливостями параметричного моделювання. У програмі SolidWorks доступні всі перераховані види параметризації моделей, включаючи табличний спосіб на базі електронних таблиць Excel, а також комбінована параметризація з використанням API-технологій (запис та редагування макросів VBA, програмування на мовах Visual Basic, Visual C++ тощо).

Для побудови параметричної моделі пластини клапана використано табличну параметризацію.

В основу параметризації моделі пластини клапана закладено вихідні дані, наведені вище.

Процедура побудови параметричної моделі містить такі основні операції:

- перейменування елементів та розмірів;
- відображення розмірів елемента;
- визначення та підтвердження геометричних взаємозв'язків;
- створення таблиці параметрів;
- відображення конфігурації деталі;
- коректування таблиці параметрів.

Змінними параметрами під час оптимізації форми пластини клапана вибрано радіуси заокруглень (рис.8). Значення радіусів є змінними у діапазоні від 3 до 10 мм.

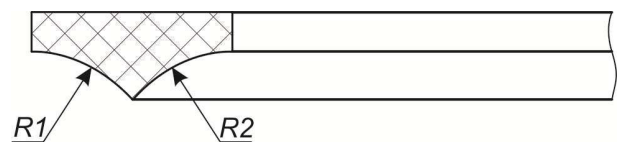


Рисунок 8 – Змінні параметри під час оптимізації форми пластини клапана

Вихідними параметрами під час оптимізації форми пластини клапана є глобальні та поверхневі цілі (повні тиски), тобто програма проведе розрахунок та вибере такі розміри радіусів заокруглень пластини, при яких будуть найменші втрати енергії під час руху газу через клапан.

| Сводная таблица | Расчетная точка 1 | Расчетная точка 2 | Расчетная точка 3 | Расчетная точка 4 | Расчетная точка 5 | Расчетная точка 6 | Расчетная точка 7 | Расчетная точка 8 | Расчетная точка 9 |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| D1@Model@профильная пластина.Part [m] | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.0075 | 0.0075 | 0.0075 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| D2@Model@профильная пластина.Part [m] | 0.005 | 0.0075 | 0.01 | 0.0075 | 0.0075 | 0.01 | 0.0075 | 0.01 | 0.01 |
| ПЦ Min Полное давление 1 [Pa] | 5417801.31 | 5381604.57 | 5486080.83 | 5460999.91 | 5399810.63 | 5395266.17 | 5449197.24 | 5387024.35 | 5429155.49 |
| ПЦ Max Полное давление 1 [Pa] | 5761025.09 | 5757022.32 | 5766380.8 | 5765756.83 | 5759807.42 | 5762698.87 | 5761779.92 | 5757881.88 | 5758163.67 |
| ПЦ Ср Полное давление 1 [Pa] | 5683400.25 | 5680806.08 | 5687018.54 | 5687159.35 | 5682698.93 | 5681942.46 | 5684237.52 | 5681473.08 | 5681718.92 |
| ПЦ Ср Полное давление 2 [Pa] | 5601236.83 | 5601282.88 | 5601492.59 | 5601199.37 | 5601218.64 | 5601253.95 | 5601094.84 | 5601567.63 | 5601567.63 |
| Статус | Завершено | Завершено | Завершено | Завершено | Завершено | Завершено | Завершено | Завершено | Завершено |

Рисунок 9 – Параметри оптимізації форми пластини клапана

Параметри оптимізації форми пластини клапана подані на рис. 9.

За отриманими результатами оптимізації форми пластини клапана встановлено, що найкращим варіантом її конструкції є заокруглення пластин з такими радіусами: $R_1 = 7,5$ мм, $R_2 = 5$ мм.

Оптимальна конструкція профільної пластини клапана із розрахованими параметрами зображена на рис. 10.

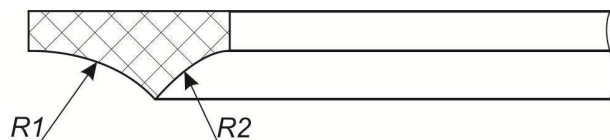


Рисунок 10 – Оптимальна конструкція профільної пластини клапана

Висновки

Застосування нових комп'ютерних технологій уможливило порівняння стандартної та запропонованої профільних конструкцій пластин клапана. У результаті цього порівняння встановлено, що запропонована конструкція профільної пластини клапана має значну перевагу, оскільки у випадку застосування зменшуються енергетичні затрати на проходження газу через клапан.

Оскільки форма запропонованої профільної пластини клапана взята з конструктивних міркувань, то проведено її оптимізацію. При цьому визначено оптимальні радіуси заокруглень пластини ($R_1 = 7,5$ мм; $R_2 = 5$ мм), що також дозволяє зменшити енергетичні затрати на проходження газу через клапан.

Література

- 1 Номенклатура и характеристики газомотокомпрессоров МК8, ДР12, 10ГКН, 10ГКНА, 10ГКМ, 10ГКМА, КС550, КС1000. Завод "Двигатель революции". – Горький, 1980. – 22 с.
- 2 Газомотокомпрессоры для нефтяной и газовой промышленности. – М.: ВНИИОЭНГ, 1975. – 61с.
- 3 Храпач Г.К. Надежность работы поршневых газоперекачивающих агрегатов / Г.К. Храпач. – М.: Недра, 1978. – 195 с.
- 4 Храпач Г.К. Эксплуатация компрессорных установок / Г.К. Храпач. – М.: Недра, 1972. – 280 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії 18.11.16

Рекомендована до друку професором **Паневником О.В.** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ) канд. техн. наук **Онищук С.Ю.** (ПП «Група БРАСС», м. Івано-Франківськ)