

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(освітній рівень)

на тему: Дослідження експлуатаційних характеристик струминних захоплювачів з інтегрованим контролем розмірів об'єктів маніпулювання

Виконавли: студенти 6 курсу, групи КАм-61

Спеціальність 151

“Автоматизоване управління технологічними процесами”
(шифр і назва спеціальності)

Северин А.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Трачук С.А.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Савків В.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Козбур І.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Савків В.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Микитишин А.Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній роботі було проведено аналіз сучасного стану управління промисловими роботами, також було оглянуто види роботизованих маніпуляторів, та захоплюючих пристроїв. Розглянуто класифікацію захоплюючих пристроїв за принципом захоплення, представлено їх конструктивне виконання та принцип роботи, а також доцільність використання при різних технологічних завданнях. Також був проведений аналіз захоплювачів Бернуллі, їх основні переваги і недоліки, та можливість використання пневматичного контролю.

Далі було проведено огляд можливих методів розрахунку турбулентних течій та розглянуто популярні моделі турбулентності, а також обрано оптимальну модель, для розрахунку нашого завдання.

Надалі було представлено варіанти конструкцій струминних захоплювальних пристроїв з ежекторними соплами, та можливістю проведення пневматичного контролю.

Наступном етапом було проведено дослідження представлених конструкцій захоплювальних пристроїв з ежекторними соплами. В результаті отриманих характеристик, методом порівняння, було визначено конструкцію з найоптимальнішими параметрами.

Після цього було розглянуто програмне забезпечення, яке використовувалося впродовж виконання роботи, а саме пакет ANSYS CFX, який є одним з найпопулярніших програмних продуктів для розв'язання задач моделювання течії рідин і газів, а також SolidWorks - програмний комплекс САПР, для автоматизації робіт промислового підприємства на етапах конструкторської та технологічної підготовки виробництва.

В заключній частині було проведено розрахунок освітлення робочого приміщення, та вимірювання шумової характеристики захоплювальних пристроїв.

Зміст

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Аналіз сучасного стану управління промисловими роботами	10
1.2 Види маніпуляторів	12
1.3 Види захоплювальних пристроїв	13
1.3.1 Механічні захоплювальні пристрої	15
1.3.2 Вакуумні захоплювальні пристрої	16
1.3.3 Магнітні захоплювальні пристрої	17
1.4 Захоплювачі Бернуллі, як ефективна альтернатива безконтактного захоплення вантажів.....	19
1.5 Пневматичний контроль	30
1.5.1 Застосування пневматичного контролю	38
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	45
2.1 Огляд методів розрахунку турбулентних течій	45
2.1.1 Пряме чисельне моделювання (Direct Numerical Simulation - DNS).....	45
2.1.2 Метод моделювання великих вихорів (Large Eddy Simulation - LES).....	47
2.1.3 Застосування рівнянь Рейнольдса, замкнених за допомогою моделей турбулентності (Reynolds-averaged Navier–Stokes - RANS).....	49
2.1.4 Гібридні підходи. Метод моделювання відокремлених вихорів.....	50
2.1.5 Інтегральні методи.	52
2.2 Моделі турбулентності	53
2.2.1 Класифікація моделей.....	53
2.2.2 Моделі з двома рівняннями	54
2.2.3 Пристінкові функції.....	55
2.2.4 Модель k-ε	55
2.2.5 Модель k-ω.....	56
2.2.6 Модель Ментера	57
2.3 Методика чисельного моделювання струминних захоплювальних пристроїв	59
РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	64

3.1 Конструкція струминних захоплюючих пристроїв для безконтактного маніпулювання.....	64
3.2 Струминні захоплювальні пристрої з ежекторними соплами для... 71 пневматичного контролю розмірів об.....	71
РОЗДІЛ 4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	84
4.1 Дослідження базової конструкції.	84
4.2 Дослідження конструкції з давачами.....	88
РОЗДІЛ 5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	100
5.1 Програмне середовище ANSYS	100
5.2 Система автоматизованого проектування SolidWorks	107
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	113
6.1 Загальна інструкція при роботі з пневмоінструментами	113
6.2 Розрахунок освітлення робочого приміщення при розробці пневматичних захоплювальних пристроїв.....	117
6.4 Шумова характеристика захоплювача.....	118
ВИСНОВКИ.....	120
Література.....	122

ВСТУП

Часом на 2020 рік великої популярності в промисловості, для виконання великого спектру допоміжних завдань, такі як завантаження, розвантаження та транспортування тих чи інших деталей набули автоматичні маніпулятори та промислові роботи. Їх експлуатаційна надійність переважно залежить від конструкції захоплювального пристрою.

У транспортно-навантажувальних системах автоматизованого виробництва, широкого застосування набули пристрої, в яких використовується силовий ефект притягування завдяки потоку повітря який виходить через екрановане сопло. Характер взаємодії повітряного потоку з вантажем залежить від багатьох параметрів, що дозволяє використовувати корисні ефекти цієї взаємодії для різних завдань: утримувати вантажі за допомогою аеродинамічного притягання; безконтактного транспортування вантажів на повітряній подушці; орієнтації об'єктів маніпулювання; Поєднання цих ефектів дозволяє створити принципово нові пристрої для безконтактного захоплення, орієнтації та транспортування об'єктів виробництва. Завдяки своїм властивостям дані пристрої забезпечують відносно легку інтеграцію додаткових функцій та контролю ряду пневматичних параметрів.

На даний час найбільшого поширення набули захоплюючі пристрої Бернуллі(ЗПБ), які використовують аеродинамічний ефект притягання. Основною відмінністю ЗПБ від інших захоплюючих пристроїв є відсутність механічного контакту з поверхнею об'єкта маніпуляції(ОМ), що важливо під час роботи з легко деформованими, крихкими, та об'єктами чутливими до механічних контактів. ЗПБ широко використовуються в радіоелектронній промисловості для маніпулювання напівпровідниковими пластинами, елементами для сонячних панелей, та друкованими платами. Також ЗПБ застосовуються у поліграфії при виробництві та подальшому використанні

літографічних друкарських форм, для маніпуляцій з нарізним м'ясом, овочевими тарілками та у текстильній промиловості. Існує широка перспектива застосування ЗПБ у фармацевтичній промисловості.

Аналіз публікацій показує, що проблема оптимізації конструкції захоплюючих пристроїв Бернуллі є актуальною та доцільною, враховуючи розширення сфери їх використання у виробництвах. Він недостатньо вивчений і вимагає подальшого дослідження стану та динаміки газового потоку в соплі, та в радіальному інтервалі між взаємодіючими поверхнями ЗПБ та ОМ, методи підвищення енергоефективності цих пристроїв за рахунок оптимізації їх конструкційних параметрів.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз сучасного стану управління промисловими роботами

Спеціалізовані промислові роботи виконують декілька завдань, такі як збір та розміщення об'єктів, а також транспортування яке відбувається на основі спостереження за тим, як аналогічні завдання виконуються функціонуючою рукою людини. Такі роботизовані руки також відомі як роботизовані маніпулятори. З самого початку ці маніпулятори використовувались для робіт, робота яких пов'язана з біологічно небезпечними чи радіоактивними матеріалами, або ж для їх використання в важкодоступних місцях.

Ряд ковзаючих чи з'єднаних сегментів збираються разом, щоб сформувати маніпулятор в вигляді руки, який здатний автоматично переміщувати об'єкти в межах заданої кількості степенів рухомості. Кожний комерційний робот-маніпулятор включає в себе контроллер та маніпулятор. Швидкодія маніпулятора залежить від його швидкості, ваги корисного навантаження та точності. Проте радіус дії його робочих органів, загальний робочий простір та орієнтація роботи оприділяється структурою маніпулятора.

Роботизовані маніпулятори – не нова ідея, тому вони вже декілька років використовуються в багатьох сферах промисловості. По мірі розвитку штучного інтелекту підвищення точності та функціональності робототехніки дозволяє виконувати більший діапазон завдань з допомогою таких маніпуляторів, забезпечуючи таким чином, більше функцій ніж роботизовані маніпулятори минулих століть.

Ранні праці в області робототехніки були зосереджені на конструкції маніпуляторів які повинні були використовуватись в промислових цілях, на протязі кількох десятиліть.

Для певних завдань ці конструкції маніпуляторів мали задовільняти потребу високої точності та великої вантажопідймальності. Спираючись на знання та досвід в області динаміки твердого тіла та зворотної кінематики, перші приклади роботизованої руки використовували жорсткі зв'язки, що в свою чергу обмежували степінь рухомості, та слабку гнучкість. Приклад таких маніпуляторів як Utah / MIT Hand (Якобсен 1986 р.), Barrett Hand (Товнсенд, 2000 р.), Gifu Hand II (Кавасакі 2002 р.), та DLR / HIT Hand II (Ліу 2008 р.) – це лише деякі з багатьох конструкцій маніпуляторів, ціллю яких є демонстрація антропорфізму, побудованого з використанням жорстких елементів.

Після 2010 року популярності набрала розробка маніпуляторів, конструкція яких є не такою жорсткою як версії попередників, а являє собою збірку з більш м'якіших елементів. Такі версії конструкції спостерігались в захоплювачах Ілієвського та Чіанкетті 2011 року, проект під назвою «Octopus Arm» («Рука Восьминога») 2012 р., а також RBO Hand 2 Деймеля та Брока 2015 року, є успішними прикладами м'яких маніпуляторів з гнучкою конструкцією та високою степінню рухомості.

Іншими словами «м'яка робототехніка» відноситься до роботів які використовують м'які та гнучкі матеріали. Багато варіантів такого виду конструкцій в своїй основі імітували рухомість різних біологічних організмів (біомімікрія) властивість яких хотіли унаслідувати «м'які роботи». Розвиток такої робототехніки та інтеграція в них м'яких матеріалів, зумовила деяке розгалуження в подальших дослідженнях роботехніки, так як мала досить високу актуальність в використанні в промислових сферах. Також їх використання набуло популярності в сферах медичного обслуговування, та створенні так званих «роботів рятівників».

Ключовим принципом робототехнічних конструкцій є можливість використання маніпулятора з об'єктами навколишнього середовища. Така їх гнучкість забезпечує легке адаптування, що властиве живим організмам, що дозволяє здійснювати захоплення та маніпуляцію з великою легкістю. [1]

Розроблені на сьогоднішній день гнучкі маніпулятори демонструють різноманітний дизайн, та вибір. Проте для використання в промисловості їх конструкція ще не є досить придатною, окрім того їх обслуговування та виготовлення вимагає досить великих витрат. [1]

1.2 Види маніпуляторів

На кінці кожного роботизованого маніпулятора знаходяться пристрої які забезпечують рух оброблювальних об'єктів: маніпулятор та захоплювальний пристрій.

Маніпулятор – це механізм для управління просторовим положення об'єктів маніпулювання, різних виробів та деталей. Маніпулятор складається з шарнірно з'єднаних елементів, так само як рука людини з кісток які зв'язані суглобами. Маніпулятори включають в себе рухомі ланки двох типів:

- ланки які забезпечують поступальні рухи;
- ланки які забезпечують обертові рухи.

Поєднання та взаємне розташування ланок визначає степінь рухомості робота, а також область дії його маніпуляційної системи. Переміщення ланок маніпулятора забезпечують так звані приводи – аналоги м'язів в руці людини. Приводи є джерелами механічної енергії, яка потрібна для руху ланок. Якщо джерелом механічної енергії є електродвигун, то привід називають електричним, якщо ж джерелом є гідропривід, то його називають гідравлічним. Також джерелом енергії може служити пневмоциліндр, тоді привід називають пневматичним.

Електропривід володіє рядом переваг:

- не забруднює навколишнє середовище відпрацьованими газами чи мастилом;
- відносно тихий;
- сучасні напівпровідникові схеми управління дешеві та надійні;

Всі ці якості роблять електропривід найбільш перспективними в теперішній час та в майбутньому.

В гідравлічному приводі використовується гідроциліндр. Він також володіє рядом переваг:

- невелика маса;
- висока швидкодія;

Важлива властивість гідроприводу – можливість отримання з його допомогою малої швидкості при збереженні плавності переміщення. Завдяки цим якостям гідропривід отримав широке розповсюдження в потужних промислових роботах.

Пневматичний привід аналогічний гідравлічному, в ньому роль двигуна виконує пневмоциліндр – циліндр, в якому поршень переміщується під дією стиснутого повітря. Властивістю пневмоприводу є те, що речовина яка в ньому використовується – повітря – легко стискається, внаслідок чого пневмопривід використовується тільки для роботів, які проводять операції з дрібними та легкими деталями, наприклад в технологічних процесах приладоконструюванні, годинникової промисловості та інших. Другою причиною, яка стримує застосування роботів з пневмоциліндрами – шум, який виникає через викид з пневмоциліндра відпрацьованого повітря.

1.3 Види захоплювальних пристроїв

Останньою робочою ланкою маніпулятора є захоплювальний або спеціалізований пристрій. Оглянемо детальніше захоплювальний пристрій, який служить для захоплення та транспортування предметів.

Захоплювальний пристрій безпосередньо контактує з поверхнею оброблюваної деталі чи іншого об'єкта. Цей пристрій носить назву захоплювач – призначений для утримування та переміщення об'єкту маніпулювання. Оскільки захоплювач безпосередньо здійснює прямий контакт з об'єктом, важливо вибрати правильний тип захоплювача, який найбільше підходить для цільових об'єктів, який зможе надійно утримувати та не пошкодити їх.

За принципом дії захоплювачі поділяються на наступні типи:

- механічні;
- магнітні;
- вакуумні;
- з еластичними пневматичними чи гідравлічними камерами.

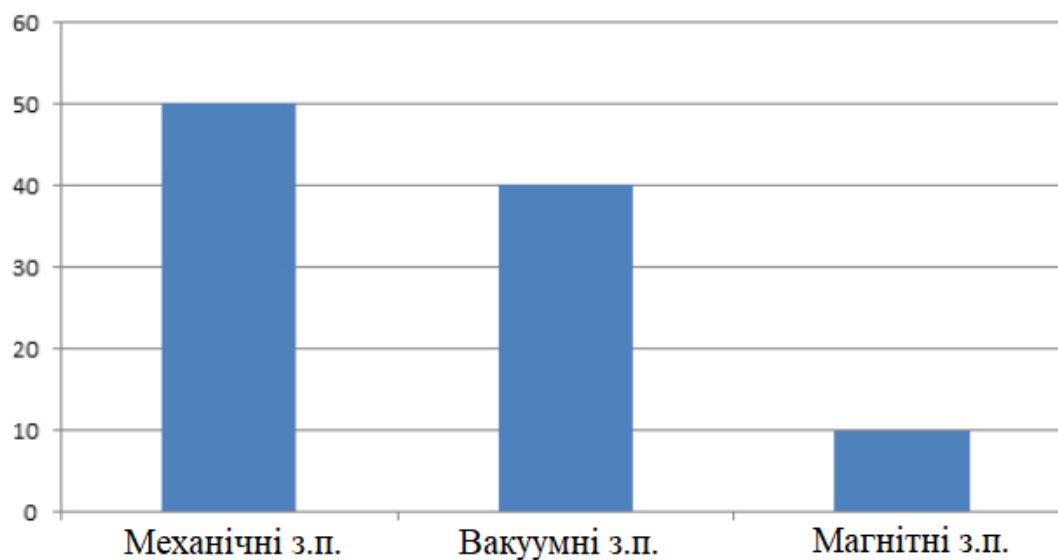


Рис. 1.1 Застосування захоплюючих пристроїв в залежності від типу.

За типом базування об'єктів:

- базуючі (які переміщують об'єкти в задану область);
- перебазуючі (здатні змінювати положення об'єктів в тому числі

відносно себе);

- центруючі;
- підтримувальні;
- фіксуючі;

За типом кріплення:

- незмінні;
- змінні;
- швидкозмінні.

За типом управління:

- неуправляючі;
- командні;

- жорстко програмуючі;
- адаптивні.

За типом губок:

- жорсткі;
- регулюючі;
- пружні;
- пластичні.

За типом приводу:

- пружинні;
- пневматичні;
- гідравлічні;
- електромеханічні;

Виходячи з вказаних вище класифікацій, можна зробити висновок що вибір того чи іншого типу захоплювача, відбувається на основі того з якими об'єктами чи деталями прийдеться мати справу, починаючи від важких великогабаритних об'єктів, закінчуючи тканинами та дрібними частинами.

1.3.1 Механічні захоплювальні пристрої

Зазвичай для механічних захоплювачів потрібно дві чи три точки контакту з об'єктом маніпулювання. Ці точки контакту можна покрити м'яким фрикційним матеріалом, щоб зменшити пошкодження та покращити зчеплення.

Механічні захоплювачі пристрої володіють такими особливостями:

- захоплення з допомогою поворотального, лінійного чи поступального руху;
- простий в використанні;
- пневматичне управління економічне, та просте в обслуговуванні;
- сервокерування можна використовувати там, де вимагається точний контрольований рух захоплювача;
- сервокерування дозволяє змінювати переміщення захоплювача для

широкого діапазону розмірів об'єкту маніпулювання.

Механічні захоплювачі можуть нагадувати руку людини, в основному вони утримують об'єкт, затискаючи його з певною силою. Зазвичай їх оснащують датчиками для захоплення крихких або делікатних деталей. Для руху елементів захоплювача потрібні системи гідравлічного, електричного або пневматичного приводу для створення вхідної сили. Ця сила змушує елементи захоплювача якими можуть бути пальці, або інші затискувальні елементи реагувати, тобто відкриватись, закриватись, або затискувати об'єкт маніпулювання. Важливо прикласти достатню силу, щоб втримати об'єкт. Попри свої переваги, механічні захоплювачі далеко не завжди є правильним вибором коли річ йде про маніпулювання об'єктів які є крихкими, плоскими та з великою площею поверхні, оскільки часом навіть найменший механічний контакт може пошкодити поверхню об'єкта, або стати причиною його неполадки при різних етапах обробки.

1.3.2 Вакуумні захоплювальні пристрої

Вакуумні захоплювальні пристрої бувають двох видів:

1) пристрої, які працюють від вакууму: вакуум може створюватись вакуумною помпою або стисненим повітрям.

2) пристрої з гнучкою присоскою: в цьому випадку чашка тисне на об'єкт. Стиснене повітря подається в присоску, щоб відпустити об'єкт маніпулювання.

Перевагою другого варіанту є те, що при зникненні живлення вона всерівно буде працювати, таким чином деталь не випаде. Недоліком такої системи є те що вона працює тільки з чистими та гладкими поверхнями. Присоски виготовлені з резиноподібних матеріалів (силікон, неопран). В залежності від дизайну та матеріалу, присоски підходять для роботи з деталями температура яких досягає 200 °С. Кількість захоплювальних чашок визначає розмір та вага об'єкту, який потрібно схопити. На рисунку 1.2 схематично зображено вакуумний захоплювач.

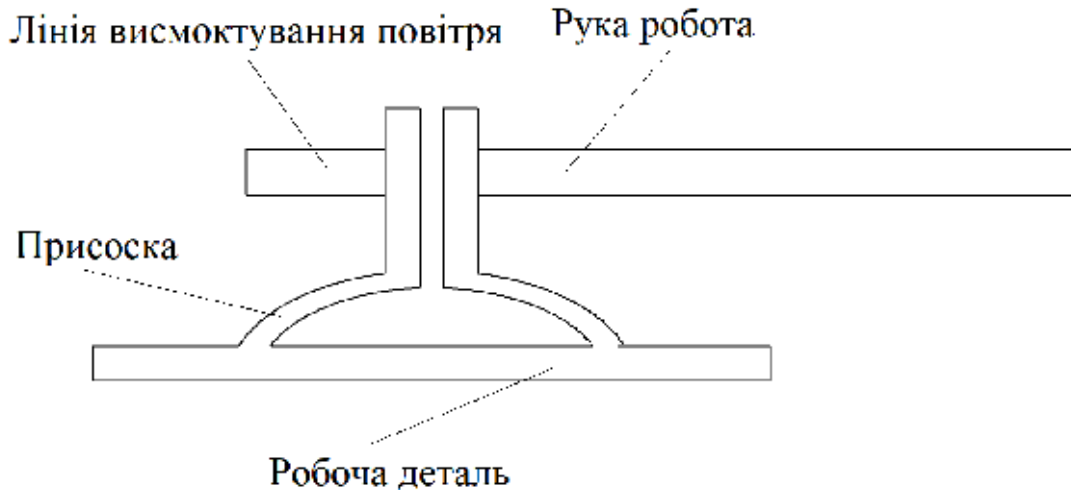


Рис. 1.2 Схематичне зображення вакуумного захоплювального пристрою

Перевагами даної конструкції є:

- захоплення відбувається тільки з однією площиною деталі. Також тиск рівномірно розподіляється по всій поверхні деталі;
- швидке (просто захоплення);
- можна використовувати багато різних матеріалів;
- можливість захоплення деталей які є досить крихкими (вибір обмежений);

Недоліками ж є:

- максимальна підймальна сила обмежена розміром присосок;
- розположення може бути неточним;
- при захопленні деталі може відбуватись удар об'єкта маніпулювання до поверхні захоплюючого пристрою, що в свою чергу може пошкодити досить делікатні деталі.

1.3.3 Магнітні захоплювальні пристрої

Магнітні захоплювачі спрацьовують коли оброблювана деталь містить залізо. Принцип схожий до вакуумних захоплювачів, основні відмінність в тому що чашки замінюють магнітні захоплювачі. Ця система має перевагу в тому, що може швидко оброблювати металічні деталі з отворами. Однак

об'єкт маніпулювання повинен бути феромагнітним (залізо, нікель). Ці недоліки в значній мірі знижують застосування захоплювальних пристроїв з постійними магнітами. Для максимального ефекту, магніт повинен повністю контактувати з поверхнею захопленого металу. Любі повітряні проміжки зменшують силу магнітного поля, тому для магнітних захоплювачів краще всього підходять плоскі листи металу. Якщо притягувальна сила магніту достатньо висока, захоплювач може захоплювати предмети неправильної форми. Захоплювальний пристрій схематично зображений на рисунку 1.3.

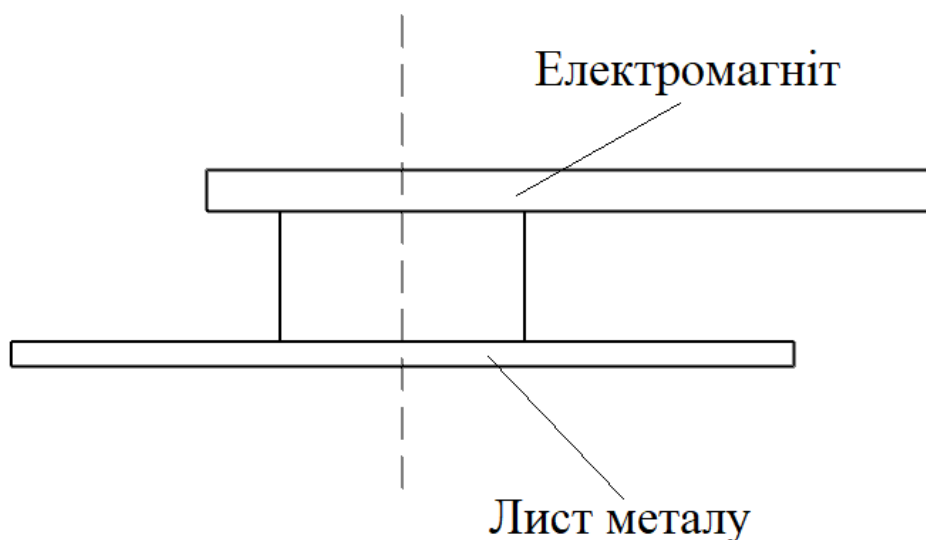


Рис. 1.3 Схематичне зображення магнітного захоплювального пристрою

Ще одним недоліком використання магнітних захоплювачів є температура. Постійні магніти мають властивість розмагнічуватись при нагріванні і тому існує небезпека, що протяжний контакт з гарячою деталлю ослабить їх до такої степені, що їх не можна буде використовувати. Ефект нагрівання буде залежати від часу, скільки магніт буде знаходитись в контакті з гарячою деталлю. Більшість магнітних матеріалів відносно не піддаються впливу температурам до 100°C . Унікальна особливість, яка вирізняє магнітний захоплювач від інших є те, що магнітний захоплювач може миттєво зняти вантаж, і не дивлячись на свої компактні розміри, витримує велику втримувальну здатність.

Електромагнітні захоплювачі можуть працювати від джерела постійного струму, і забезпечувати більш легке управління, а саме швидке захоплення, та розвантаження деталей. При відключенні струму відбувається миттєве розмагнічування, і захоплені об'єкти відпадають від захоплювача.

1.4 Захоплювачі Бернуллі, як ефективна альтернатива безконтактного захоплення вантажів

Сучасні винаходи вимагають передових технологій, а ці технології вимагають складних компонентів та обробку яка є невід'ємною частиною функціональності та дизайну. Кожен новий пристрій вимагає спеціальних функцій, що сприяють ефективності, та розробці автоматизованих методів обробки необхідних для виробництва. Техніка обробки повинна надавати можливість для впровадження різного варіанту конструкцій без великих затрат та складності встановлення, що можна сказати про струминні захоплювальні пристрої.

Традиційні методи транспортування деталей, такі як роботизовані механічні захоплювачі не задовільняють вимоги при транспортуванні крихких та делікатних матеріалів, оскільки цей метод вимагає поверхневого контакту.

Альтернативою цьому підходу є використання повітряного потоку для переміщення об'єктів маніпулювання (ОМ) на повітряній подушці, з допомогою аеродинамічного ефекту притягання, тобто ефекту Бернуллі.

Ефект Бернуллі виникає в результаті різниці тисків між потоком повітря яке рухається над поверхнею об'єкта маніпулювання та навколишнім повітрям зовні. Ця різниця тиску створює умови достатні для підняття предметів вагою більше одного кілограму із використанням простого повітряного потоку. Цей спосіб захоплення є самостабілізуючим, оскільки з поверхнею об'єкта контактує лише повітря.

Захоплювачі даного типу мають багато переваг над механічними. Повітряний потік має здатність очистити поверхню пластини чи іншої деталі від різних сторонніх рідин, пилу, стружок та піску що допомагає при

подальшій очистці та обробці. Механічні захоплювачі в свою чергу можуть забиватися різними стороннім сміттям, що вимагає їх постійну розборку та очищення.

Загалом в більшості випадків механічні захоплювачі вимагаються частішого обслуговування, так їх компоненти підлягають більшому зносу.

Часто транспортуванню та обробці підлягаються деталі та заготовки різних форм які досить важко транспортувати за допомогою механічних захоплювачів. Це можуть бути різні сферичні поверхні, конічні отвори, прорізи з прямокутними або іншими профілями.

В такому випадку можна сконструювати спеціальний датчик з індикаторами для виміру розмірів деталі, проте використання повітряного вимірювання буде простішим та економічнішим.

Оскільки використання притягуючого ефекту Бернуллі для транспортування об'єктів маніпулювання на повітряній подушці є мало вивченим, існує досить мало опублікованих досліджень які вивчають це явище.

Захоплювач Бернуллі також відомий як сопло з радіальним виходом повітря, вперше було запатентовано та сертифіковано для підйому та транспортування жорстких круглих напівпровідникових пластин. В пристрої аксіально направлений повітряний потік відхиляється в радіальному напрямку конструкції в відповідних умовах потоку та дизайну, створюючи область розрідження між поверхнею захоплювача та платформою.

Цей метод дозволяє автоматизувати обробку багатьох типів матеріалів від тонких кремнієвих пластин до любих тканин. Пайванас та Хассан [1] вивчали радіальне сопло з граничним повітряним потоком для безконтактної обробки жорстких напівпровідникових деталей. Модифікації первинної конструкції включали використання конуса кінцевої фрези, щоб запобігти прямого удару пластини до поверхні.

Транспортування плоских об'єктів з великою площею поверхні є частим явищем при виробництві напівпровідникових та фотоелектричних елементів.

Особливо це характерно для виробництва сонячних батарей, які використовують сонячне світло в якості джерела енергії. З усіх відомих методів захоплення та транспортування захоплювач Бернуллі є одним з найоптимальніших варіантів при роботі з даним видом об'єкта, так як являє собою безконтактне захоплення з ОМ. При роботі з сонячними панелями ця особливість є дуже важливою, оскільки на відміну від механічних захоплювачів, які на пряму контактують з площиною ОМ, захоплювач Бернуллі мінімізує можливість виникнення механічних пошкоджень на поверхні деталі при обробці чи транспортуванні. Дуже тонкі пластини мають особливість прогинатись чи пошкоджуватись на різних етапах виробництва чи обробки, особливо при використанні механічних чи вакуумних захоплювачах. Даний тип захоплювача вперше був запатентований та сертифікований для роботи з жорсткими, круглими напівпровідниковими пластинами. В даному маніпуляторі направлений в осьовому напрямку повітряний потік розходитьсь в радіальному напрямку при відповідних параметрах потоку та конструкції захоплювача, створюючи область низького тиску (частковий вакуум) між поверхнею захоплювача та ОМ. Пайванас та Хассан [1] досліджували сопло з радіально розділювальним потоком повітря для безконтактної обробки масивних напівпровідникових пластин. На відміну від конструкції сопла, яка була проаналізована ними, конструкція захоплювача на рисунку 1.2, містила резинові прокладки для запобігання горизонтального зміщення пластин. Захоплювач який був проаналізований Пайванасом та Хассаном, складався з конічної перегородки, щоб запобігти прямому попаданню повітря на поверхню пластини [1]. В своїй роботі вони змоделювали тиск повітря, який створювався захоплювачем Бернуллі, без конічної перегородки.

В 2009 році Девіс представив результати своїх робіт по захоплювачу Бернуллі для автоматизованої обробки нарізаних овочів. Було представлено аналітичне моделювання сили впливу на плоский та жорсткий об'єкти, при ламінарному потоці. Його модель характеризувалась низькими показниками

витрати, при цьому залишалось актуальним використання ламінарного потоку повітря.

Брун та Мелькоте представили CFD-модель розподілу тиску та підйімальної сили, який створювався захоплювачем Бернуллі з конусною перегородкою. Проте їхня модель не враховувала вплив деформації підтримки на кінцевий тиск та підйімну силу. При роботі з гнучкою деталлю, наприклад тонкою кремнієвою пластиною (товщиною < 200 мкм), низький тиск який створюється в результаті розподілу потоків повітря в радіальному напрямку, має тенденцію деформувати пластину, як схематично зображено на рисунку 1.5. Деформація пластини, в свою чергу, змінює повітряний проміжок між захоплювачем та пластиною, що свою чергу, впливає на повітряний потік, що в результаті впливає на розподіл тиску повітря та керуючу силу. [2]

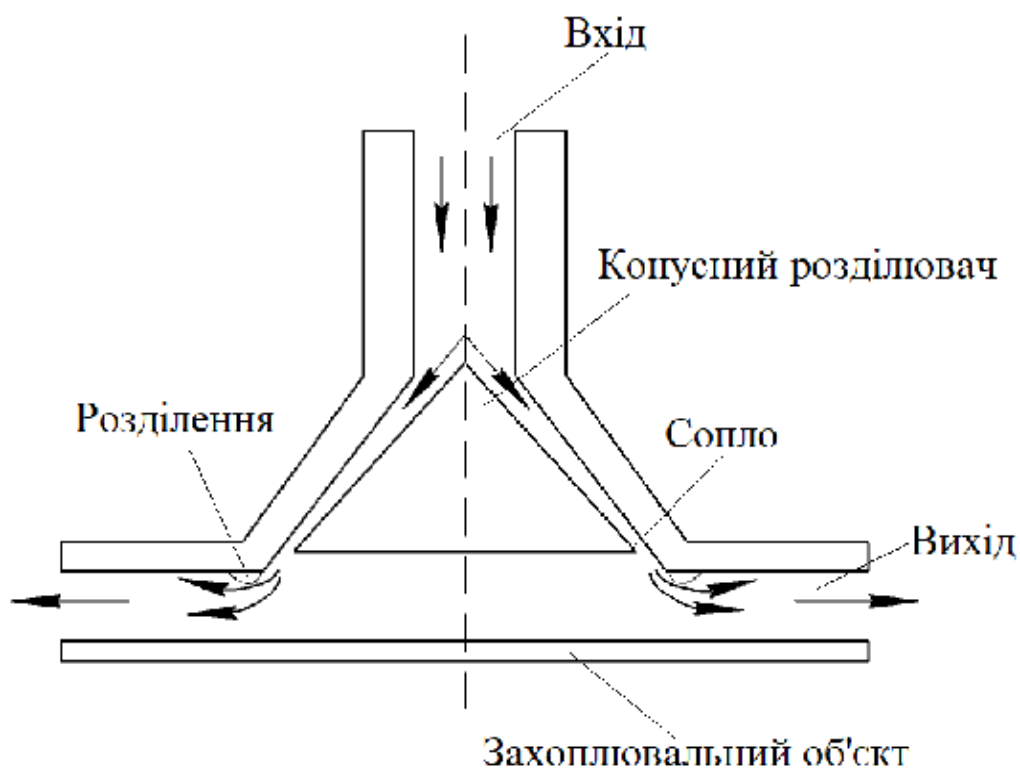


Рис. 1.4 Схема захоплювача Бернуллі з конусом кінцевої фрези.

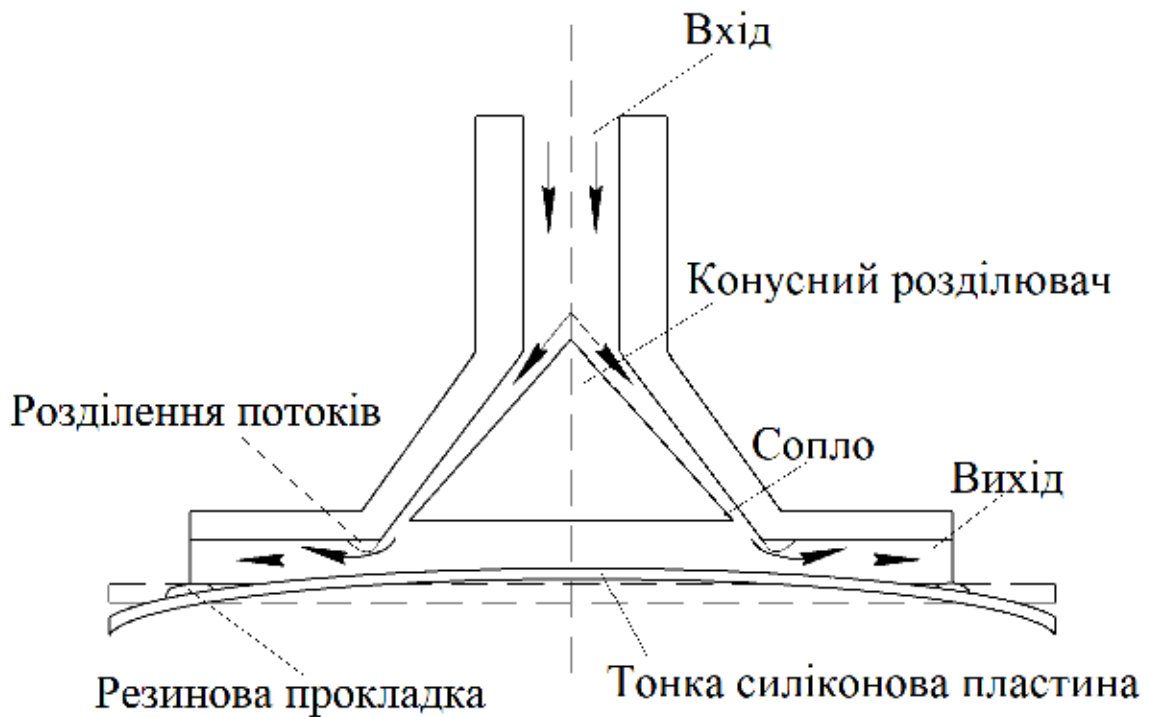


Рис. 1.5 Схема захоплювача Бернуллі з резиновою прокладкою

Кізеветтер та Груцек проаналізували використання ефекту Бернуллі при роботі з мікрочастинами. Ерзінканлі та його колеги [6,7] розширили використання захоплювача Бернуллі, для роботи з іншими нежорсткими матеріалами, наприклад продуктів харчування. Озчелик та інші робочі [8-10] виконували експериментальні роботи з тканинами, та іншими матеріалами використовуючи даний тип безконтактного робочого органу.[2]

Одним з перших приладів, що використовує транспортування об'єктів використовуючи ефект Бернуллі, є патент США 2905768 (1959) (рисунок 1.6), в якому повітряний напір, створює як надлишковий тиск, так і розрідження.

При піднесенні магнітної стрічки до центральної зони транспортування, при цьому зберігаючи невеликий проміжок між ними, внаслідок утвореного розрідження стрічка почне притягуватись, одночасно внаслідок надлишкового тиску утвореним іншим потоком повітря вона буде відштовхуватись для запобігання прилипанню до поверхні зони транспортування. Згідно патенту, проміжок який утворюється між стрічкою чи іншим об'єктом маніпулювання може бути змінений шляхом регулювання

сили потоку повітря на вході, за допомогою якого відбувається відштовхування. У патенті зазначено, що отвори на виході яких утворюється розрідження забезпечують захоплення, також він поєднує в собі захоплювач Бернуллі та утворення повітряної подушки.[3]

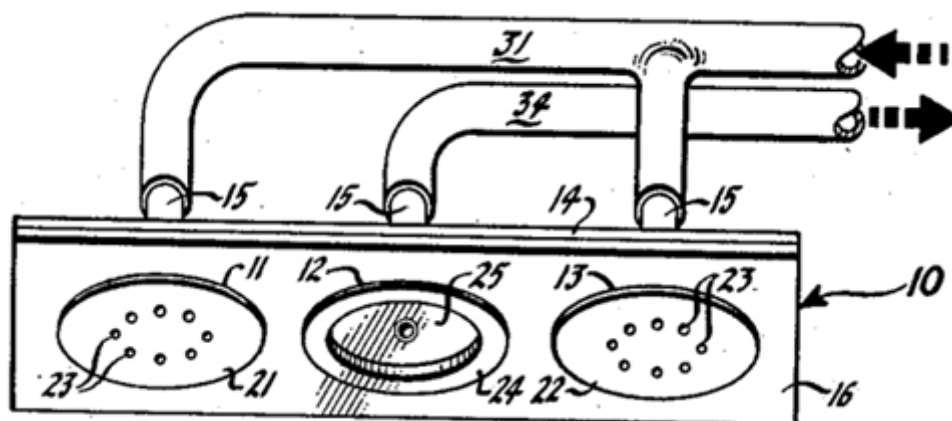


Рис. 1.6 Витяг з патенту США 2905768

Патент на пневматичний розділювач листів був затверджений в 1964 році, стверджував, що пристрій може працювати як з надлишковим, так і з вакуумним тиском повітря на виході з сопел. Подібні прототипи успішно розроблені для обробки кремнієвих пластин. При тому що за допомогою таких пристроїв відбувається їх захоплення без ударів, вони вимагають складних пристосувань, щоб уникнути рух пластин по горизонталі.

Ще одним варіантом підйимального пристрою запатентований в 1965 році, який отримав назву «Всмоктувальний захоплювач з повітряною подушкою» (рисунок 1.7). Цей пристрій використовує як надлишковий тиск, так і розрідження, як було описано вище, ще раз доводячи, що захоплення створюється завдяки утворенню розрідження. Знову ж таки завдяки утворенню надлишкового тиску створеного іншим потоком повітря, відбувається відштовхування ОМ, що запобігає контакту між їх поверхнею та поверхнею підйимального пристрою. Однак автор патенту не визнає ефективність пристрою, а також не згадує про ефект Бернуллі, залишаючи читачам самим оцінювати його вплив. Повітряний потік який потрапляє в цей пристрій, призначений не для утворення левітації, чи іншими словами

повітряної подушки, він утворює ефект захоплення, який в даному випадку є неефективним.[3]

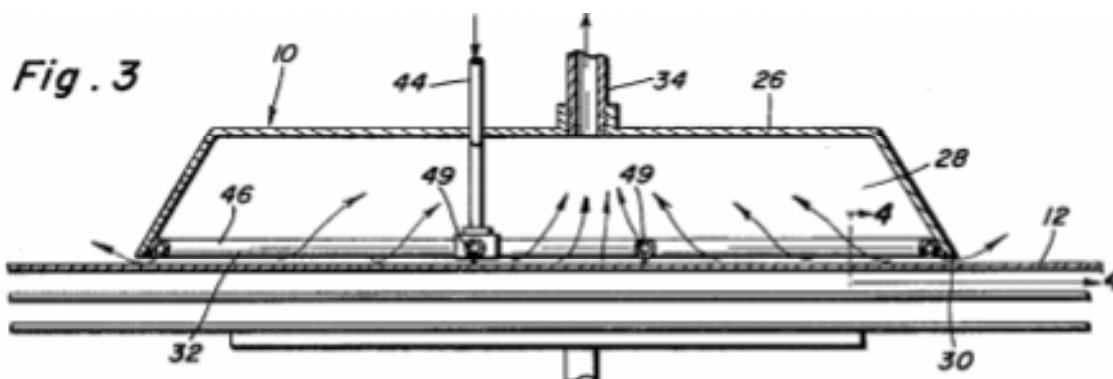


Рис. 1.7 Витяг з патенту США 3220723

Захоплювач з ефектом Бернуллі був запатентований Р.Г. Олссоном (рисунок 1.8). Цей пристрій також використовує безконтактне захоплення за допомогою повітря під тиском. Проте в цьому пристрої повітряний потік перенаправляється назовні невеликим централізованим диском. Суть його в тому щоб не виникало контакту повітряного потоку з поверхнею деталі. Це ще один спосіб безконтактного захоплення, без удару до поверхні пристрою.[3]

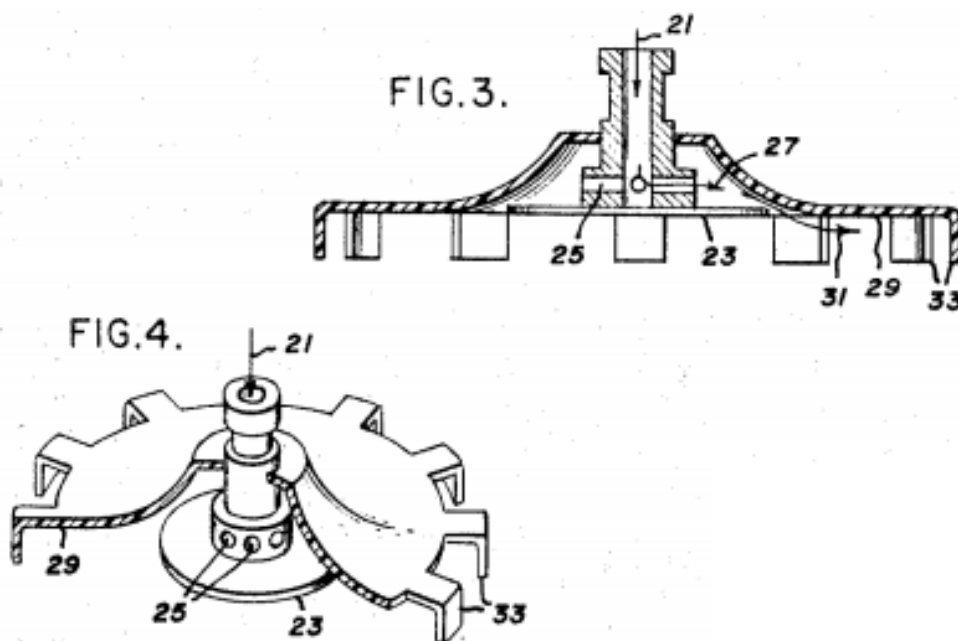


Рис. 1.8 Витяг з патенту США 3438668

Через місяця після створення попереднього патенту В.К. Маммель, в 1969 році запатентував ударний захоплювач .

Цей «Захоплювач рідини під тиском» (рисунок 1.9) виконує захоплення за допомогою потоку повітря, який регулюється клапаном, та утворює ефект удару. Патент передбачає використання пристрою для обробки кремнієвих пластин, та описує ефект Бернуллі та потоків повітря які для цього використовуються.

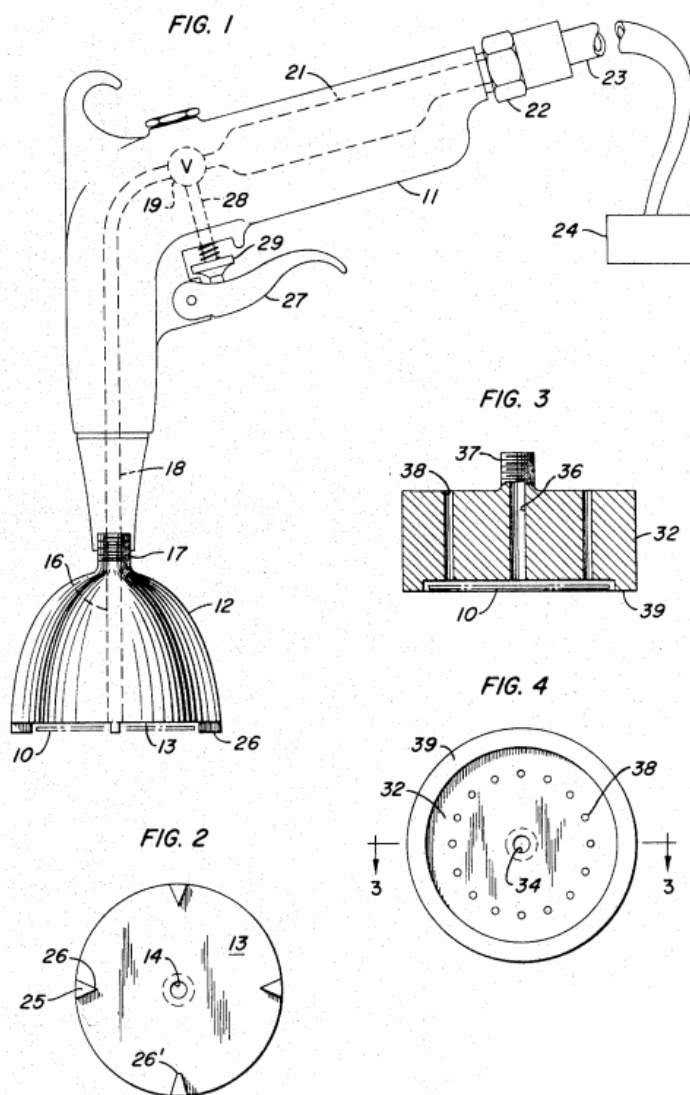


Рис. 1.9 Витяг з патенту США 3466079

Інший варіант захоплювального пристрою Бернуллі, який був опублікований в 1969 році використовує ефект зіткнення потоку повітря з затвором рідинного типу, замість традиційного клапану. На краях затвору

розміщені фіксатори які запобігають сповзанню пластини до поверхні якої відбувається удар. На рисунку 1.10 зображено спрощена насадка, а також дизайн фланця.[3]

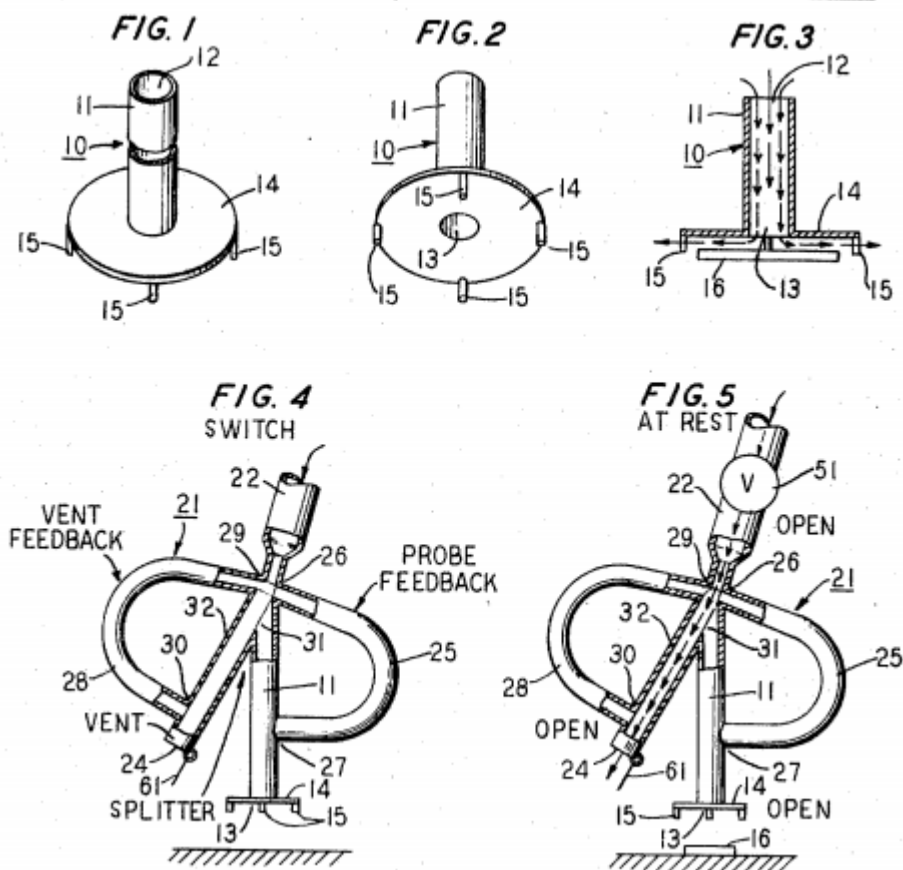


Рис. 1.10 Витяг з патенту США 3425736

Знизу наведені два варіанти захоплювача Бернуллі. Перший призначений для транспортування скляних пластин, проте конструкція самого захоплювача схожа до попередніх пристроїв, які призначені для транспортування плоских деталей, пластин. Це один з патентів затверджений в 2003 році. В другому патенті використовується серія перепон на зовнішній стороні фланця, для зменшення шуму. Об'єкт який внаслідок захоплення під великим тиском може спричинити удар, який може викликати свистячий звук в діапазоні 90 дБ. Цей пристрій намагається мінімізувати виникаючий шум (рисунок 1.11, 1.12).[3]

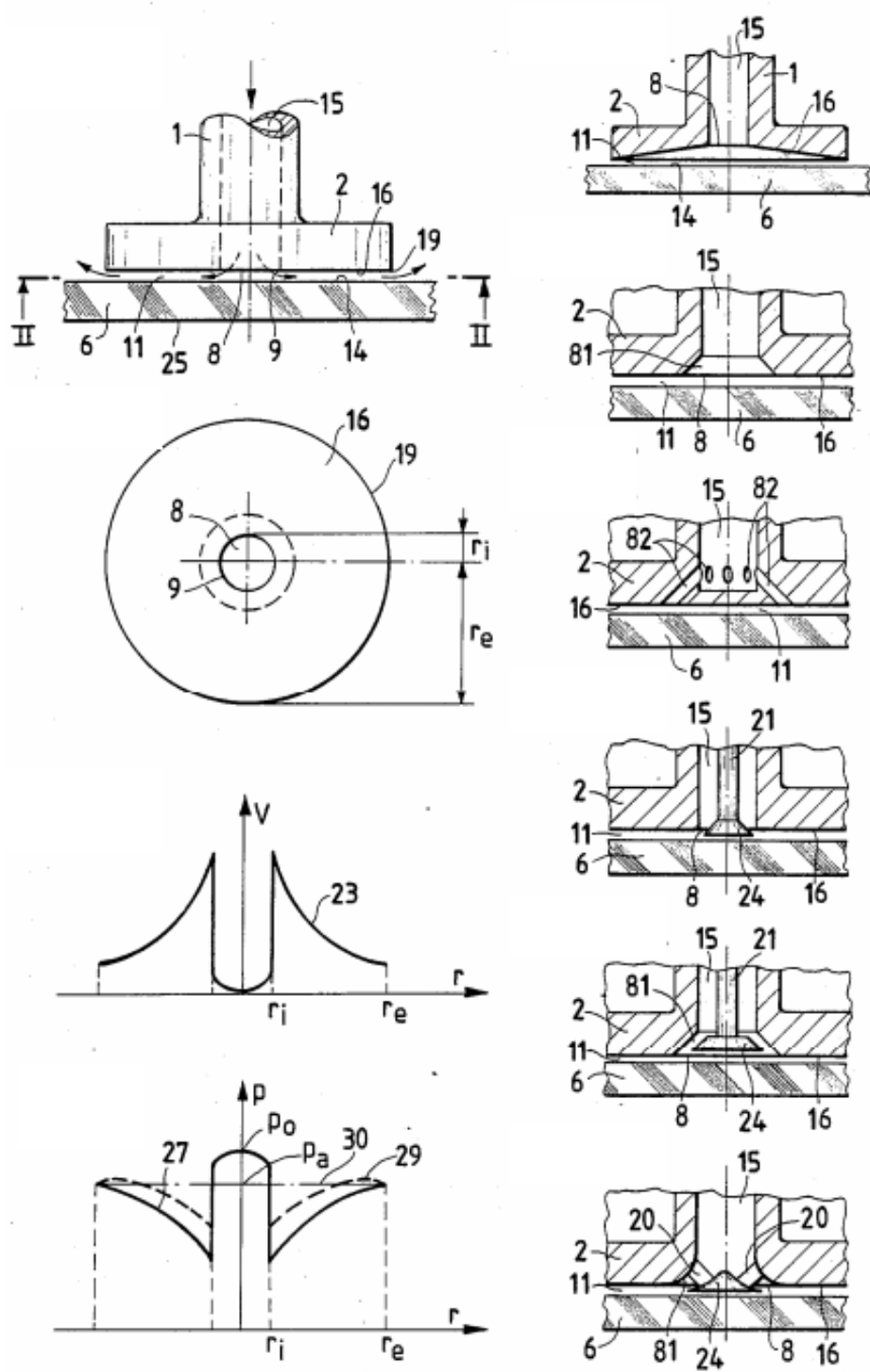


Рис. 1.11 Витяг з патенту США 4921520

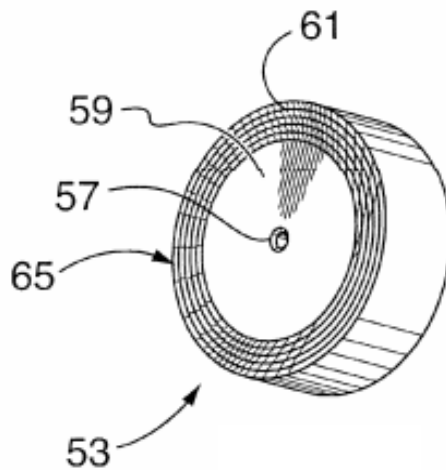
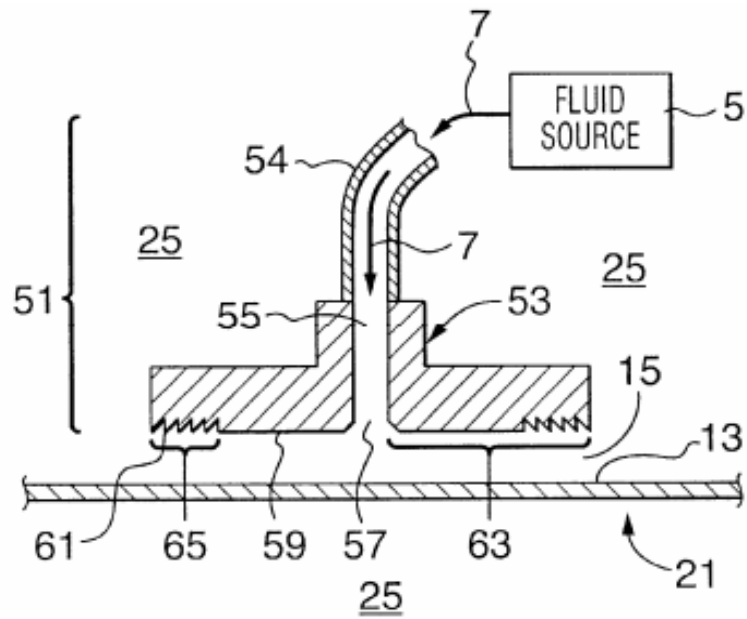


Рис. 1.12 Витяг з патенту США 6601888

Патент 1991 викликав великий інтерес, оскільки він включає в себе профілі тиску, завдяки чому може бути реалізовано декілька варіантів конструкції сопла.[3]

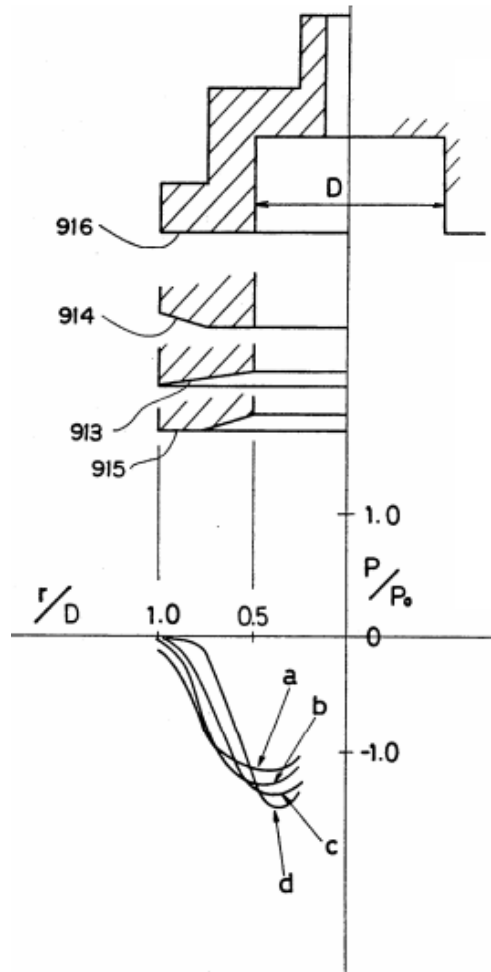


Рис. 1.13 Витяг з патенту США 5067762

Незважаючи на винаходи пристроїв для захоплення об'єктів маніпулювання за допомогою повітряного потоку та ефекту Бернуллі, існує мала кількість досліджень, які описують механізми, за допомогою яких можливий даний фізичний ефект. В додаток до відсутності детальних пояснень, існує також невелика кількість розрахунків які могли б довести потенціал даної техніки транспортування.[3]

1.5 Пневматичний контроль

Рахується, що основний принцип видування струменя з сопла на поверхню вимірювальної деталі був відомий вченим 19 століття, проте перше застосування цього принципу можна відслідкувати в технічній літературі минулого століття (1917 р.). В той час в якості середовища використовували

рідину, і тільки через 10 років система, яка використовувала стиснене повітря для інженерних вимірювальних систем була розроблена в Франції перед Другою Світовою війною компанією яка займалась виготовленням карбюраторів, якій був потрібен спосіб вимірювання жиклерів виготовлених карбюраторів, це були пневматичні вимірювальні пристрої низького тиску з водяним манометром в якості відлікового пристрою. В Австралії, США та Англії з'явилися пневматичні пристрої високого тиску з пружинними манометрами. Вимірювання повітрям – це перевірена технологія, яка удосконалювалась протягом половини століття.

Вимірювання з відомими нам механічними манометрами відбувається доволі просто, з іншої сторони вимірювання повітрям базується на використанні рідкої речовини або повітря, динаміку яких важко зрозуміти. Проте в таких вимірювачів є багато переваг по зрівнянню з механічними датчиками, і їх варто розглядати як спосіб вимірювання для багатьох випадків.

Повітряні вимірювачі здатні проводити вимірювання з більшими допусками, аніж механічні. Межі знаходяться близько 0,00005 дюйма; якщо ж потрібно проводити вимірювання з більшої точністю, вимірювання повітрям, забезпечує більший діапазон ніж механічні. В кращому випадку механічні манометри здатні вимірювати до 50 мільйонних, проте це вимагає особливої обережності. Повітряні вимірювачі з легкістю справляються з таким завданням.

Допустимо, потрібні межі складають близько 0,0001 дюйма, і механічних вимірювань буде достатньо. Повітряне вимірювання все ще має ряд переваг. Потік повітря під високим тиском автоматично очищує поверхню оброблюваної деталі від різного сміття.

Контакти та внутрішня робота механічних вимірювачів схильні до зносу. На повітряних вимірювачах практично нічого не зношується, або зношується дуже повільно. Відповідно, повітряні вимірювачі вимагають менш частого ремонту, і в випадку абразивних матеріалів, менш частого ремонту чи заміни.

На деяких добре відполірованих чи притертих деталях контакти механічного манометру можуть залишати видимі сліди. Контроль повітря, як безконтактна операція не залишає відміток на тонких поверхнях. По тій же причині повітряні вимірювачі більше підходять для використання на дуже тонкостінних деталях, виготовлених з м'яких матеріалів чи інших крихких деталях. Непереривні процеси, як і при виробництві любого виду листового прокату, прокатного чи екструдированого профілю, також виграє від безконтактного контролю.

З використанням пневматичного принципу вимірювання почали створюватись прилади для контролю в процесі обробки (прилади активного контролю) для оснащення напівавтоматичних шліфувальних станків та станків автоматів, які використовувались в серійному та масовому виробництві, а також для післяопераційного контролю та сортуванні деталей на розмірні групи.[4]

В пневматичних приладах для лінійний вимірювань починають застосовувати ежекторні сопла, основною перевагою яких є великий діапазон вимірювань, вони дозволяють безконтактно вимірювати розміри деталей з більшими допусками.[4] Широке застосування дросельно-ежекторні перетворювачі знайшли в приладах для активного контролю розмірів деталей з нерівною (рельєфною) поверхнею.[4]

Водночас з мембранними елементами пневмоавтоматики дросельно-ежекторні перетворювачі дозволяють використовувати струминну техніку. [Voloshina2] Необхідність використовувати ежектори в якості первинного перетворювача в вимірювальних пристроях, побудованих на струминних елементах, викликала тим, що на відміну від дросельного сопла характеристика дросельно-ежекторного сопла зберігає достатньо високу чутливість в області низьких тисків, впритул до нульового вихідного тиску, яке при великих проміжках може приймати навіть від'ємні значення. Це дозволило створити струминний перетворювач, який працює при високому робочому тиску та містить керуючому вході сигнал низького тиску, який маю

високу чутливість та малу погрішність спрацювання, що значно підвищує точність вимірювання. При поєднанні струминних елементів, які працюють при тисках живлення нижче атмосферного, з первинними дросельно-ежекторними перетворювачами діапазон вимірювань розширився в 3...5 рази.

Пневматичні прилади характеризуються тим що мають вкрай малі габарити первинних перетворювачів та простоту отримання сигналу вимірювальної інформації великої потужності, вони мають багато переваг – висока точність вимірювань, можливість сумування сигналів, можливість здійснення дистанційних вимірів; конструктивна простота пневматичного вимірювального оснащення. Прилади легко піддаються автоматизації та прості в експлуатації. Пневматичний принцип дозволяє здійснювати точні безконтактні виміри.

Необхідність наявності системи стиснутого повітря, спеціальної апаратури для його очистки та стабілізації тиску, а також відносно висока інерційність пневматичних приладів дещо звужують область їх застосування.

Для досягнення точного виміру розмірів, система виміру повітря опирається на фізичні закони, згідно яких потік та тиск прямо пропорційні проміжку між соплом та перешкодою і обернено пропорційні один одному.

Регулююче повітря проходить через дросель, а після через сопло. Коли сопло відкрите, через нього в атмосферу проходить потік з максимальним тиском, і навпаки якщо сопло закрите тиск спадає.

По мірі наближення перешкоди до передньої частини сопла потік повітря з сопла зменшується і виникає розрідження. Коли форсунка повністю закрита, мінімальний тиск дорівнює тиску подачі повітря. В цьому прикладі витрата повітряного потоку через сопло збільшується, а мінімальний тиск (розрідження) зменшується, тобто прямує до 0 рисунок1.13.[4]

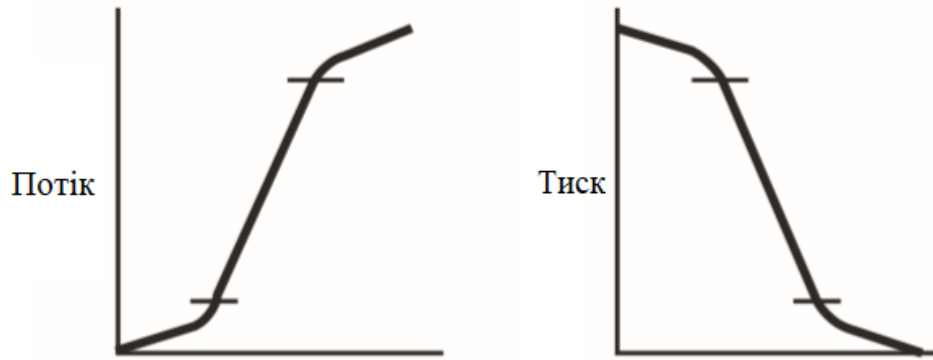


Рис. 1.14 Графічне зображення зміни тиску та потоку повітря в залежності від відстані між перешкодою та соплом.

На рисунку 1.15 зображений простий контур системи вимірювання повітрям, зміна проміжку між соплом та заготівкою прямо пропорційно впливає на значення витрати та тиску повітряного потоку. [5]

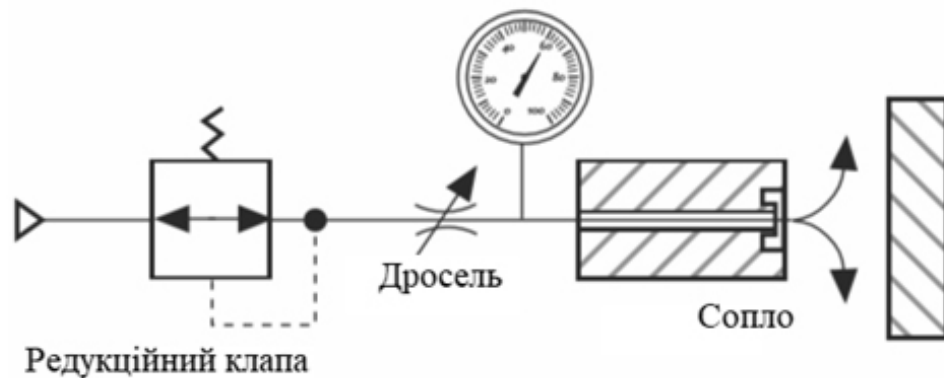


Рис. 1.15 Простий контур регулювання потоку повітря

В цьому контурі стиснене повітря яке спершу проходить через редукційний клапан, а потім через дросель виходить через сопло, і контактує з поверхнею наближеного об'єкта (деталі), і в залежності від відстані цієї поверхні до сопла, створює умови для утворення тиску певного значення. Зміну тиску в середині пристрою можна вимірювати з допомогою датчика тиску. Одним з недоліків даної схеми є те, що для неї потрібне стиснене

повітря з постійним строго контрольованим тиском; в іншому випадку покази будуть змінюватись пропорційно змінам вхідного тиску.[5]

На рисунку 1.15 зображена проста схема експериментальної установки для виміру значення тиску який утворюється між ежекторним соплом та головкою мікрометра. За допомогою даної схеми можна досліджувати різні установки які використовують вимірювання за допомогою повітря яке виходить крізь ежекторні сопла. За допомогою мікрометра ми можемо регулювати величину кільцевого проміжку між соплом та поверхнею, і за допомогою манометра вимірювати величину утворюваного тиску. [5]

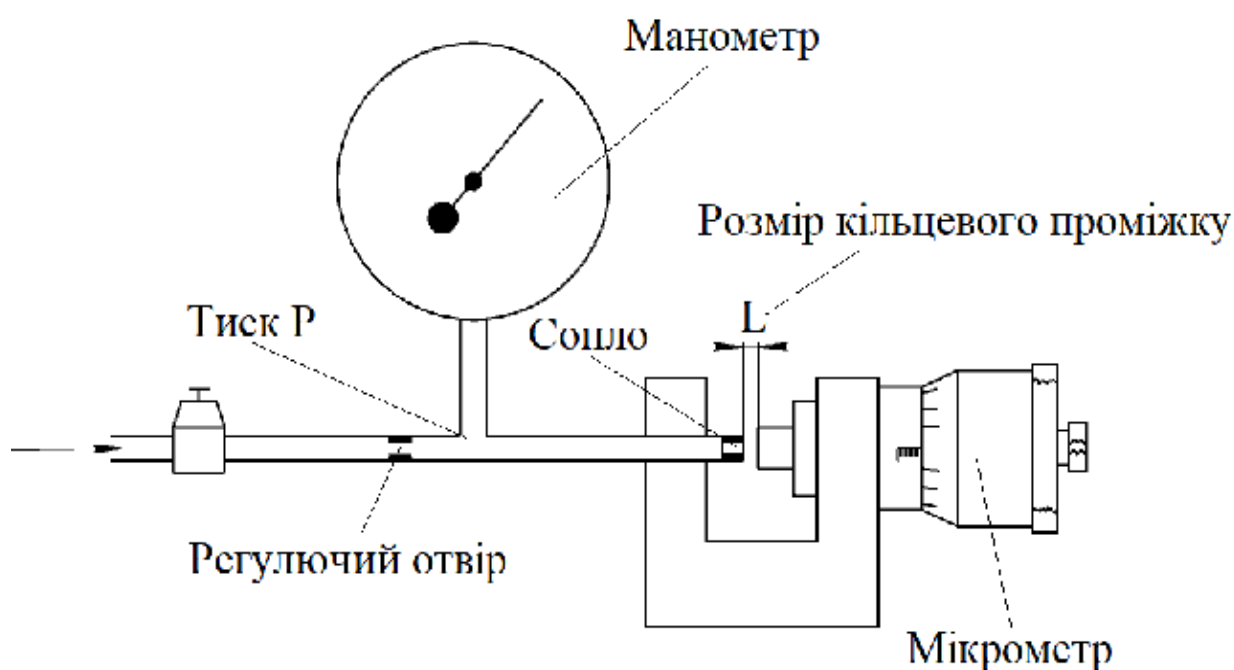


Рис. 1.16 а) Експериментальна установка виміру значення тиску між соплом та головкою мікрометра (Рисунок Барроуза)

Крива залежності тиску від величини кільцевого проміжку діаметром 0,55 мм (0,02 дюйма), та сопел 1 мм (0,04 дюйма), 1,5 мм (0,06 дюйма) та 2,0 мм (0,08 дюйма), показано на рисунку 1.55 б (тиск живлення 280 кН). [5]

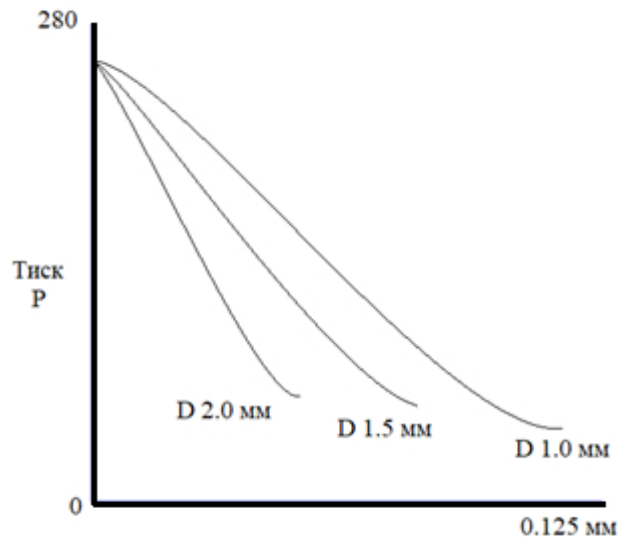


Рис. 1.15 б) Графік залежності тиску

Перед тим як проводити подальші теоретичні дослідження установки для вимірювання тиску, слід враховувати площину поперечного перерізу. Коли проміжок між поверхнею та ежекторним соплом рівний нулю, повітря не виходить з сопла і площа вихідного отвору дорівнює нулю. Коли ж проміжок між поверхнею та соплом дуже великий, площа виходу дорівнює площині отвору сопла D , L – величина кільцевого проміжку рисунок 1.16 [5]

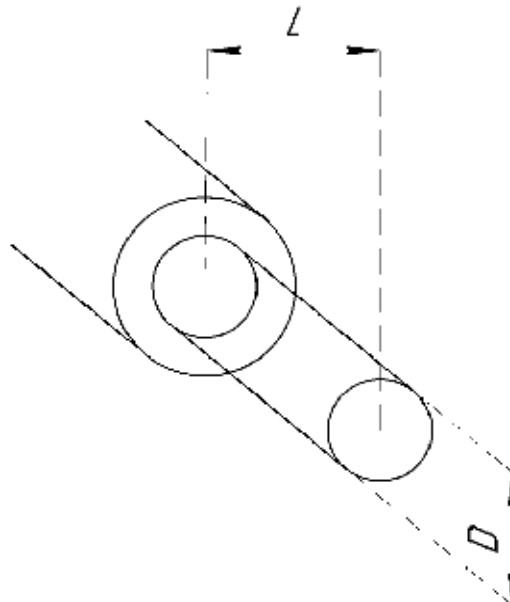


Рис. 1.16 Схематичне зображення площі поперечного перерізу

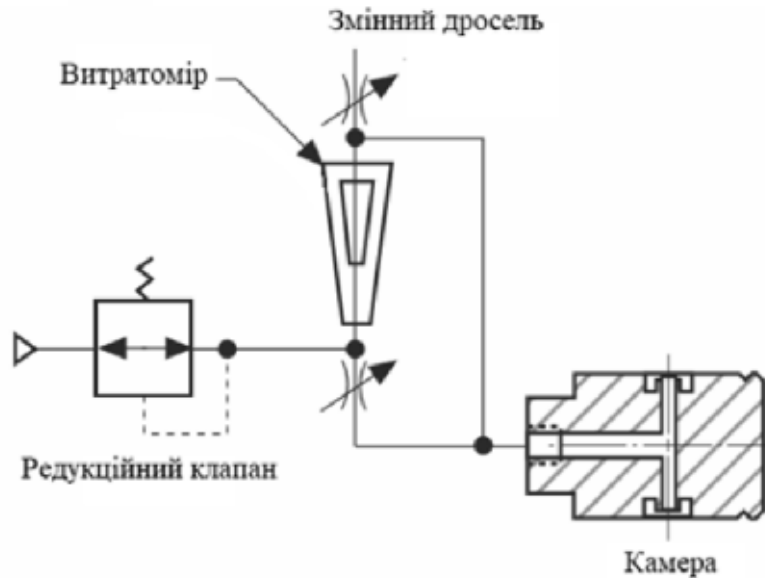


Рис. 1.17 Система виміру витрати

В загальному більшість повітряних вимірювачів вимірюють значення розрідження, яке накопичується в системі, коли прилад розташовується в безпосередній близькості від заготовки. В випадку вимірювання діаметру отвору, менший отвір означає більш близьке розташування поверхні деталі до сопел: це призводить до більш високого тиску повітря, яке компаратор манометра перетворює в розмірну величину. [5]

Деякі повітряні вимірювачі вимірюють швидкість потоку через систему, а не тиск: по мірі зменшення близькості приладу до заготовки потік також зменшується. Принцип потоку може бути ефективно застосований для виміру дуже маленьких наскрізних отворів, навіть вимірювачах які були розроблені по принципу вимірювання розрідження. Замість того щоб встановлювати прилади на кінці повітряного каналу, до нього підключається сама заготовка. Менші отвори обмежують потік повітря більше, ніж великі. Таким чином, заготовка стає по суті, власним вимірювальним засобом. Цей підхід працює з усім розповсюдженими типами манометрів розрідження: одноопірними манометрами, які вимагають двох користувачів для налаштування, а також манометри диференціального типу, які зазвичай використовує тільки один користувач. [5]

Витрата повітря пропорційна площині поперечного перерізу каналу, але площа вимірюється в залежності від квадрату діаметру. Відповідно, відгук датчика в цьому налаштуванні нелінійний. Тим не менш, це рідко викликає проблеми, тому що діапазон відхилень, який необхідно перевірити, зазвичай дуже малий, і датчик зазвичай встановлюється на верхній границі. Якщо вимагаються числові результати, можна використовувати спеціально відкалібровані циферблати, в той час як деякі цифрові компаратори допускають програмну коррекцію. [5]

1.5.1 Застосування пневматичного контролю

Потік повітря під високим тиском автоматично очищає поверхню оброблювальної деталі від більшості охолоджувальних рідин, стружки, піску підвищуючи точність та дозволяє позбутись оператору необхідності вручну очищати деталь. Повітряний потік також дозволяє автоматично очищувати самий канал вимірювального пристрою, і в загальному такий вимірювальний пристрій на відміну від класичних вимагає не такого частого обслуговування.

Дані пневматичні вимірювальні пристрої можуть зекономити час практично при виконанні любых задач по вимірюванні. Повітряні заглушки с окремим контурами можуть виконувати декілька розмірів одночасно на одній заготовці, наприклад для вимірювання діаметрів в верхній та нижній частині отвору для визначення абсолютних розмірів чи для перевірки конусності. Потоки можна розміщувати дуже близько один до одного для вимірювання близько розташованих об'єктів. [5]

Однак такі вимірювачі не є ідеальними. Їх високий рівень розширення робить вимір повітрям непрактичним для обробки деталей з шороховатістю. 50 мкм, тому що покази усереднюють максимум і мінімум шороховатої поверхні. Окрім того, більш важливим є те що прилади контролю тиску зазвичай мають відносно високу початкову вартість, тому їх в більшості випадків використовують на великих виробництвах. Виробництво чистого

стиснутого повітря також пов'язане з великими витратами, і цю вартість потрібно враховувати при загальних розрахунках. [5]

Повітряні вимірювачі часто простіші та дешевші в розробці, ніж класичні механічні. Їм не потрібні зв'язки для передачі механічного руху, тому форсунки можуть бути розташовані дуже близько один до одного і практично під любым кутом. Це дозволяє повітрю справлятися з завданнями, які при механічному контролі могли б бути важкими та дорогавартісними.

Вимірювання прямолінійності чи конусності отворів це базове завдання, яке з легкістю виконується за допомогою повітряних вимірювачів.

Для точного виміру повітря вимагається належне обслуговування приладу та увага при подачі повітря. Хоча виробнича подача повітря може бути не під контролем компресорів користувача приладу, а повітряні лінії можуть використовуватись десятками інших користувачів – користувач приладу повинен переконатись, що повітря, яке надходить, чисте, сухе та достатньо стабільне при тиску.

Повітряні виміри часто використовуються для виміру розміру чи форми внутрішнього та зовнішнього діаметрів. Стакани з двома соплами, які направлені на зустріч один одному, часто використовуються для внутрішніх вимірювань, а повітряні кільця з двома соплами використовуються для виміру зовнішніх розмірів. [5]

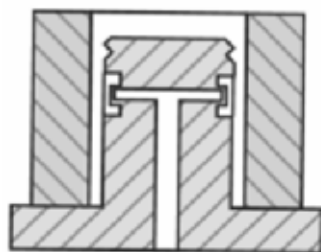


Рис. 1.17 Вимірювання внутрішнього діаметру

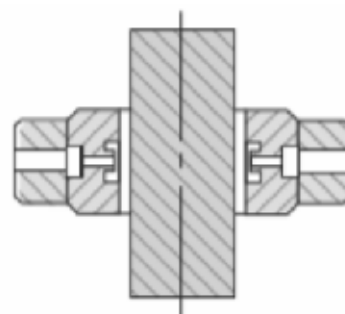


Рис. 1.18 Вимірювання зовнішнього діаметру

Дві форсунки рисунок 1.17 на протилежних сторонах заготовки, які діють на різні її сторони, будуть точно вимірювати діаметр деталі, навіть якщо вона ексцентрична відносно валу. Манометр відображає, різницю тиску. Відповідно більш високий тиск з одної чи іншої сторони вказує на зміщення заготовки від середньої лінії.

Декілька сопел однаково розташованих по колу пристрою, що дозволяє виміряти середній розмір. Зазвичай використовується для тонкостінних чи некруглих деталей, в такому випадку використовуються чотири, шість чи більше сопел, в залежності від розмірів пристрою рисунок 1.19. [5]



Рис. 1.19 Вимірювання середнього розміру

Пневматичні пристрої можуть визначати округлість деталі. Для двох точок при простіших об'єктах рисунок 1.2, можна використовувати стандартний двосекційний пневмоприлад. Якщо вимірювальний об'єкт є складної форми, містить декілька виступів, потрібно використовувати непарну

кількість сопел в залежності від кількості виступів, рисунок 1.21. [5]

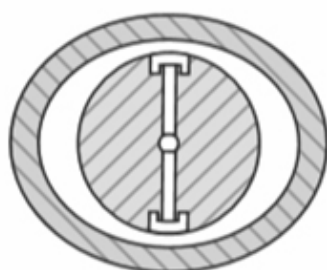


Рис. 1.20 Вимірювання округлості за допомогою двох сопел



Рис. 1.21 Вимірювання округлості за допомогою трьох сопел

Зазвичай вимірювання повітрям, або контроль тиском застосовують для динамічного виміру прямолінійності чи вигину внутрішнього діаметру. В цьому випадку спеціально розроблена заглушка, спрощує та пришвидшує перевірку прямолінійності деталі, однак для вимірювання внутрішнього діаметру даний варіант не підходить. [5]

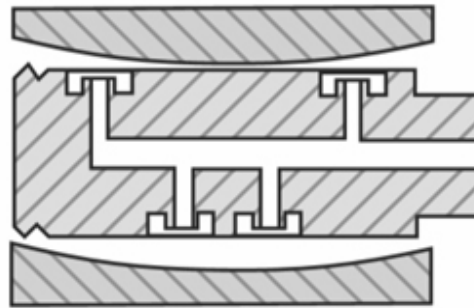


Рис. 1.22 Вимірювання прямолінійності внутрішньої площини деталі

Для визначення перпендикулярності деталі, наприклад отвору до поверхні, використовуються повітряні форсунки у вигляді англійської літери «Z», які вимірюють зміну утвореного розрідження, та порівнюють отримані значення які залежать степені перпендикулярності в протилежних точках вимірювання рисунок 1.23.

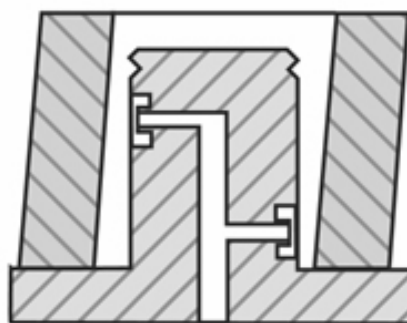


Рис. 1.23 Вимірювання перпендикулярності деталі

Все що вимагається – це один інструмент з форсунками на протилежних сторонах діафрагми датчика. Датчик реєструє тільки різницю в тисках між

форсунками, порівнявши які можна зробити висновок про конусність заготовки. [5]



Рис. 1.24 Вимірювання кутових відхилень (конусності) шляхом порівняння діаметрів на різних висотах заготовки

Вимірювання розміру заглиблення зручно виконувати з допомогою плоских приладів. Пневматичний вимірювальний пристрій не тільки оприділяє розмір заглиблення, але використовуючи заготівку, можна також вияснити чи паралельні поверхні заглибини рисунок 1.25. [5]

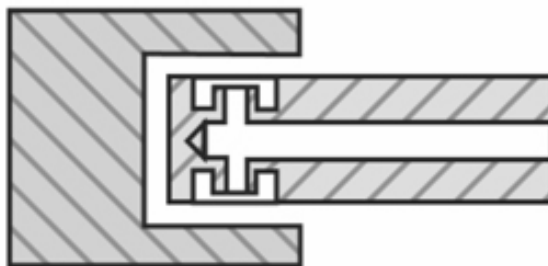


Рис. 1.25 Вимірювання розміру заглиблення заготовки

Для вимірюванні плоскості всередині непорушної плити встановлено повітряне сопло. Після того деталь переміщується по соплу. Цей процес забезпечує зручний та швидкий метод точного виміру плоскості рис 1.23. [5]

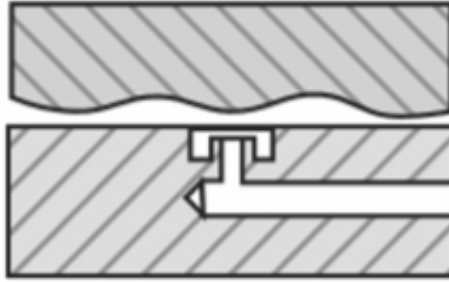


Рис. 1.26 Вимірювання плоскості заготовки

Правильний догляд за приладом змушує всього лиш підтримувати його чистим та сухим зовні та всередині. Забруднюючі речовини, такі як стружка, бруд, охолоджувальна рідина, та мастило, можуть збиратись з заготівок, а вода та масло можуть надходити з самого джерела повітря. Хоча повітряний потік має тенденцію очищувати більшість повітряних каналів самостійно, деякі забруднення можуть відбутись в основній чи вимірювальній форсунках. Навіть скупчення в декілька мільйонних часток дюйма можуть порушити вимірювання. При необхідності датчик слід оглядати та очищувати. Повторне вимірювання яке дає інші результати, є ознакою забруднених форсунок. [5]

Повітря важко підтримувати чистим та сухим. Осушувачі повітря не зовсім підходять. Сам процес стиску повітря виробляє вологу, а необхідність компресора в змащуванні призводить до утворення масляної перегородки в контурі. Для усунення таких забруднень слід використовувати спеціальну конструкцію на каналі повітря, щоб очистити його до того як він надійде до виходу сопла.

Однією з причин неточних показів манометра – витік повітря. Для цього потрібно ретельно перевіряти герметичність каналів подачі.

Номенклатура пневматичних засобів для автоматизації лінійний вимірювань досить велика. Переваги пневматичних засобів дозволяють часте застосування при вимірюванні відхилень від правильної геометричної форми та розташування поверхонь, які зводять до суми або різниці декількох параметрів. Створення високоточних мініатюрних вторинних датчиків та

удосконалення первинних перетворювачів дозволяють сьогодні створювати швидкодіючі пневматичні засоби вимірювання. Тому можна стверджувати, що пневматичні засоби для автоматизації контролю та управління технологічними процесами не тільки збережуться найближчого часу, але й будуть удосконалюватись, захоплюючи нові області застосування.

РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Огляд методів розрахунку турбулентних течій

Не дивлячись на інтенсивний розвиток комп'ютерних технологій та вражаючі успіхи, досягнуті за останні роки, як у галузі побудови ефективних числових алгоритмів, призначених для вирішення завдань гідромеханіки та тепломасообміну, так і в розробці відповідного програмного забезпечення (генератори сіток, інтерактивні системи введення даних та системи для візуалізації результатів розрахунків), проблема чисельного моделювання турбулентності, як і раніше, все ще залишається незмінною. На відміну від ламінарних течій однофазного середовища (рідини або газу), розрахунок яких, завдяки зазначеним вище досягненням, став багато в чому звичайною процедурою, надійне передбачення характеристик складних турбулентних течій, що представляють найбільший практичний інтерес з цілого ряду причин (принципово тривимірний нестационарний характер, стохастична природа і виключно широкий просторово-часовий спектр турбулентності) все ще залишається швидше мистецтвом, ніж суворої наукою. Разом з тим, загальний прогрес обчислювальної гідродинаміки і тепломасопереносу не міг не позначитися і на стані проблеми чисельного моделювання турбулентності. Розглянемо різні підходи, що застосовуються для розрахунку турбулентних течій.

2.1.1 Пряме чисельне моделювання (Direct Numerical Simulation - DNS).

Суть цього підходу полягає в безпосередньому вирішенні тривимірних нестационарних рівнянь Нав'є-Стокса з використанням просторових сіток і кроків інтегрування за часом, достатніх для вирішення всіх істотних для даної течії, в тому числі, і короткохвильових просторово-часових неоднорідностей. Очевидно, що цей підхід є максимально суворим, так як він базується лише на одному, досить обґрунтованому припущенні про можливість застосування

рівнянь Нав'є-Стокса для опису турбулентних течій. Однак, не менш очевидне і те, що для його чисельної реалізації необхідно використовувати дуже дрібні сітки, кількість вузлів яких має різко збільшуватися з ростом числа Рейнольдса.

Дійсно, в рамках цього підходу необхідно вирішити найбільш дрібні вихори, що мають характерний розмір $\eta_k = (v^3/\varepsilon)^{1/4}$. Залежність кількості вузлів сітки в одному напрямку від числа Рейнольдса можна оцінити таким чином.

$$N \sim L/\eta_k \sim v^{-3/4} \sim \text{Re}^{3/4} \quad (2.1)$$

Оскільки DNS вимагає тривимірного нестационарного розрахунку, вартість розрахунку пропорційна загальній кількості вузлів сітки і кількості кроків за часом пропорційна Re^3 . Це означає, що при збільшенні числа Рейнольдса в 2 рази витрати збільшуються приблизно на порядок.

Ці жорсткі вимоги частково пом'якшуються при використанні високоточних спектральних методів чисельного інтегрування рівнянь Нав'є-Стокса, які часто використовуються для DNS. Однак ці методи не застосовуються до розрахунку течій зі складною геометрією. Зазначені обставини призводять до того, що на практиці DNS застосовується тільки для розрахунку простих турбулентних течій при низьких (порядку одиниць на 10^3 і нижче) числах Рейнольдса. При цьому основним завданням розрахунку є не власне отримання даних про характеристики усереднено течії (вони, як правило, відомі), а отримання детальної інформації про структуру турбулентності, а також обчислення окремих членів, що входять в ті чи інші моделі турбулентності.

Очевидно, що в найближчій перспективі застосування прямого чисельного моделювання для вирішення прикладних завдань є не можливо.

2.1.2 Метод моделювання великих вихорів (Large Eddy Simulation - LES)

Підхід LES сформувався на початку 80-х років. Ідея LES полягає в тому, що на відміну від «глобального» усереднення рівнянь Нав'є-Стокса проводиться їх «фільтрація» тільки від короткохвильових (з довжинами хвиль порядку і менше розмірів розрахункової сітки, що використовується) турбулентних неоднорідностей. При цьому процедура фільтрації довільної функції f полягає в її добутку на функцію "фільтра", яка має деякий характерний лінійний масштаб Δ , і в подальшому інтегруванні отриманого результату по всьому розглянутому обсягом V . Таким чином, відфільтровані і актуальні значення функції f визначаються виразами:

$$f(r,t) = \int_V G(r,r') f(r',t) dr'^3, \quad f = \bar{f} + f', \quad (2.2)$$

де $G(r, r')$ - функція фільтра, r - координата розглянутої точки потоку, f - актуальне значення функції, а \bar{f} , - f' її відфільтроване і пульсаційне значення відповідно.

Після заміни основних змінних в рівнянні Нав'є-Стокса на суму відповідних відфільтрованих і пульсаційних величин і застосування операції фільтрації до отриманих рівнянь, виходить система рівнянь подібна по виду з рівняннями Рейнольдса. Однак фізичний зміст цих двох систем абсолютно різний. Опускаючи деталі, відзначимо лише, що процедура фільтрації по суті рівносильна осередненій функції \bar{f} за обсягами з характерним розміром Δ^3 , в результаті чого вся інформація про турбулентні структури з розмірами меншими Δ (тобто пульсаційних або подсіткових складових f') втрачається, а довгохвильові структури (відфільтровані складові \bar{f}) практично не спотворюються.

При цьому вплив відфільтрованих («підстінкових») структур на довгохвильові структури турбулентного потоку, які вирішуються в рамках

LES точно, описується за допомогою напівемпіричних моделей, які аналогічні за своєю суттю традиційним моделям (ці моделі називаються підстінковими). Принципова перевага LES полягає в тому, що, завдяки відносній однорідності і ізотропності мелкомасштабної турбулентності опис її характеристик за допомогою підстінкової моделі виявляється набагато точнішим, ніж моделювання всього спектру турбулентних пульсацій (рисунок 2.1). Основною причиною цього є те, що великі структури часто виявляються недостатньо випадковими, в цьому випадку не до кінця виправданим є використання статистичних моментів для опису їх властивостей, а саме ці величини моделюються в рамках таких підходів.

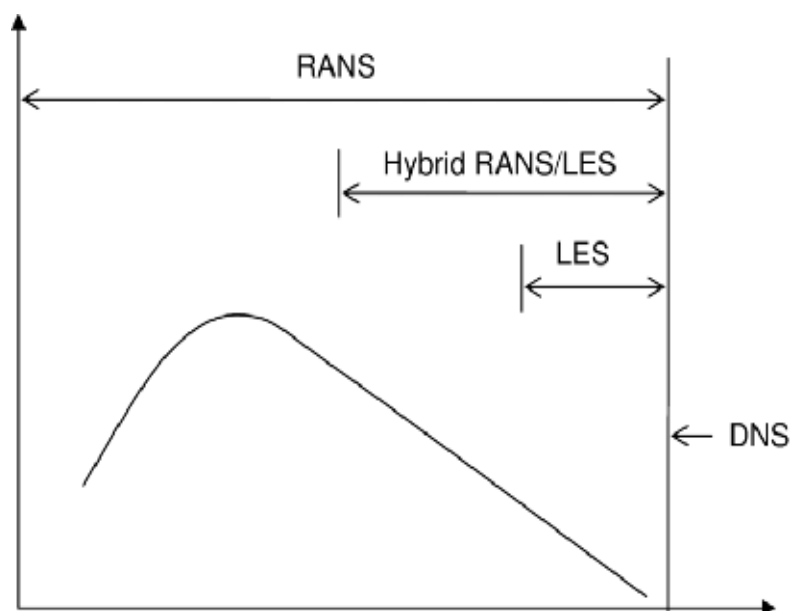


Рис. 2.1 - Енергетичний спектр турбулентності

Платою за зазначені важливі переваги LES є значне збільшення обчислювальних витрат, пов'язане з необхідністю, як і в випадку DNS, проведення тривимірних нестационарних розрахунків на досить дрібних сітках навіть в тих випадках, коли необхідна осереднена течія являється двовимірною і стаціонарною. З іншого боку, зі зрозумілих причин (дрібномасштабна частина спектру моделюється, а не розраховується "точно") обчислювальні ресурси необхідні для реалізації LES виявляються набагато меншими, ніж для DNS.

Останнім часом набув поширення підхід MILES. У цьому підході підсіточна модель не використовується, а її «дисипативні» функції виконує сіткова дисипація. Відповідно, цей підхід вимагає ретельного підбору.

2.1.3 Застосування рівнянь Рейнольдса, замкнених за допомогою моделей турбулентності (Reynolds-averaged Navier–Stokes - RANS).

Система рівнянь Рейнольдса може бути отримана шляхом усереднення за часом нестационарних тривимірних рівнянь Нав'є-Стокса. При цьому мається на увазі, що часовий інтервал, за яким здійснюється усереднення, набагато більше характерних часових масштабів турбулентності, з одного боку, і набагато менше характерного макро масштабу часу розглянутого течії, з іншого.

Ця система є незамкненою, оскільки в неї входить невідомий тензор так званих рейнольдсових напруг $\tau_{ij}^T = \overline{(\rho u_i u_j')}$. В силу симетричності цього тензора, невідомими є тільки шість його компонент. Для замикання системи рівнянь Рейнольдса необхідно визначити зв'язок між тензором рейнольдсових напруг і параметрами усередненого течії. Цей зв'язок називається модель турбулентності.

Величезний досвід, накопичений при експлуатації напівемпіричних моделей турбулентності, привів до ясного усвідомлення того, що надії на створення універсальної моделі турбулентності придатною для розрахунку всіх або, принаймні, більшості турбулентних течій, що здавалися цілком реальними ще в 70-80-х роках минулого століття, ледве здійсненими. Це, в свою чергу, призвело до значного зсуву акцентів в дослідженнях, присвячених моделюванню турбулентності. Так, все більше уваги стало приділятися альтернативним (котрі використовують RANS) підходам, однак, в силу виняткової обчислювальної трудомісткості цих підходів, основним інструментом для розрахунку складних турбулентних течій, що

представляють практичний інтерес, як і раніше залишається Напівемпірична Теорія Турбулентності.

Слід зазначити, що в рамках цього підходу, рівняння Рейнольдса можуть вирішуватися в двовимірній або тривимірній постановках, стаціонарними або нестаціонарними. Крім того, в деяких завданнях можуть бути використані спрощені рівняння: наближення пристінкової області, наближення вузького каналу, параболізовані рівняння. Вибір системи рівнянь залежить від розглянутої задачі і повинен відповідати розглянутому типу течії (приклади: пристінкова область, канал, струмінь, циліндр).

Зокрема, іноді спочатку двовимірні завдання вирішуються в тривимірній нестаціонарній постановці (такий підхід в зарубіжній літературі називається URANS). При цьому найбільші когерентні структури виявляються дозволеними і характер рішення нагадує LES. Однак в силу відсутності достатнього обґрунтування цей підхід в даний час оцінюється неоднозначно.

2.1.4 Гібридні підходи. Метод моделювання відокремлених вихорів.

Поряд з вище розглянутими, трьома основними сучасними підходами до моделювання турбулентних течій, в даний час розробляється ряд проміжних підходів, що поєднують в собі ті чи інші елементи RANS, LES і DNS.

Найбільш широкого поширення набули підходи, які поєднували RANS і LES. При використанні LES переважна більшість вузлів сітки (до 90%) припадає на пристінні ділянки течії (тобто на пристінковій області), оскільки при наближенні до стінки характерний масштаб вихорів істотно зменшується. У той же час основні переваги LES перед RANS проявляються на деякому віддаленні від стінки, в областях де існують когерентні структури. У той же час більшість сучасних напівемпіричних моделей турбулентності дуже добре описують пристінкову область, оскільки вони, як правило, на нього налаштовані. Це призвело до створення різних гібридних підходів, що використовують RANS близько стінок і LES далеко від них.

Серед них слід відзначити запропонований в 1997 р метод Моделювання Від'єднання Вихорів (Detached Eddy Simulation - DES), оскільки в ньому вдало поєднуються сильні сторони RANS (економічність і надійність розрахунку безвідривно течій) з можливістю розрахунку течій з великими зонами відриву, що забезпечується LES. В результаті з його допомогою вже сьогодні вдається з високим ступенем точності розрахувати досить складні відривні течії, чисельне моделювання яких в рамках LES поки неможливо через обмежені можливості обчислювальної техніки.

Ідея методу DES дуже проста і полягає в використанні рівнянь Рейнольдса тільки в тих областях потоку, де локальний розмір використовуваної обчислювальної сітки Δ недостатній для вирішення турбулентних структур з лінійними масштабами порядку l_{turb} (характерний локальний масштаб турбулентності) і в використанні методу LES в решти населених пунктів області потоку, де $\Delta < l_{turb}$.

Конкретна реалізація цієї ідеї базується на використанні моделі турбулентної в'язкості Спаларта-Алмараса. Зокрема, фігурує в дисипативному члені цієї моделі в якості лінійного масштабу турбулентності, відстань до стінки d пропонується замінити величиною, яка визначається співвідношенням:

$$\tilde{d} = \min\{d, C_{DES} \Delta\} \quad (2.3)$$

де C_{DES} - константа моделі DES, а розмір сітки Δ визначається як максимальний з трьох її кроків Δ_x , Δ_y і Δ_z в даній точці потоку.

Стосовно пристінних відривних течій таке визначення \tilde{d} призводить до того, що в населеній дрібними турбулентними вихорами області приєднаної пристінкової області з характерною для нього сильно анізотропною сіткою ($\Delta_x \approx \Delta_y \approx \Delta_z$) виконується нерівність $d < C_{DES} \Delta$, і в якості масштабу використовується справжня відстань до стінки d , тобто реалізується стандартний підхід, заснований на рівняннях Рейнольдса, замкнених за допомогою моделі турбулентності Спаларта-Алмараса. У відривній області,

населеної порівняно великомасштабними ("від'єднаними") вихорами, має місце зворотна ситуація ($d > C_{DES}\Delta$), в результаті чого в якості масштабу турбулентності в дисипативному члені SA моделі використовується величина $C_{DES}\Delta$. У цьому випадку дана модель переходить в диференціальну підсіткову модель турбулентності.

Таким чином, гібридний характер методу DES впливає безпосередньо з його формулювання: в області приєднаної пристінкової області метод функціонує в режимі рівнянь Рейнольдса, а в області відриву («від'єднаних вихорів») - автоматично переходить в LES. При цьому досягається органічне поєднання кращих якостей обох підходів, а саме, висока точність і економічність рівнянь Рейнольдса в області приєднання пристінкової області і універсальність LES в відривній області потоку. Крім того, хоча DES, як і LES, на відміну від рівнянь Рейнольдса, є принципово тривимірним нестационарним підходом, необхідні для його реалізації сітки в пристінній області збігаються з сітками, необхідними для вирішення рівнянь Рейнольдса, тобто є на багато порядків меншими, ніж відповідні сітки, необхідні для вирішення дрібних пристінних вихорів в рамках LES. При цьому в міру подрібнення сітки метод DES асимптотично наближається до методу LES і далі - до DNS.

2.1.5 Інтегральні методи.

Для повноти огляду, необхідно згадати про так звані інтегральні методи розрахунку турбулентних течій. Фактично ці методи є узагальненням величезної кількості експериментальних даних для певних класів течій. Збагачені найпростішою теорією (типу рівнянь пристінкової області) вони є потужним інструментом для проведення промислових розрахунків. Основним недоліком цих методів є їх не універсальність (наприклад для пристінкової області).

На рисунку 2.1 нижче наведено підсумок найпоширеніших підходів до вирішення турбулентних потоків [9]. Обчислювальна вартість моделювання

CFD зростає від RANS до DNS із збільшенням кількості ступенів вільності, необхідних для вирішення потоку. Як наслідок обчислювальних витрат, підходи до вирішення масштабу, такі як DNS та LES, як правило, застосовуються до простих геометрій та академічних конфігурацій, тоді як гібридні RANS-LES, URANS та RANS можна застосовувати до складних промислових проблем.

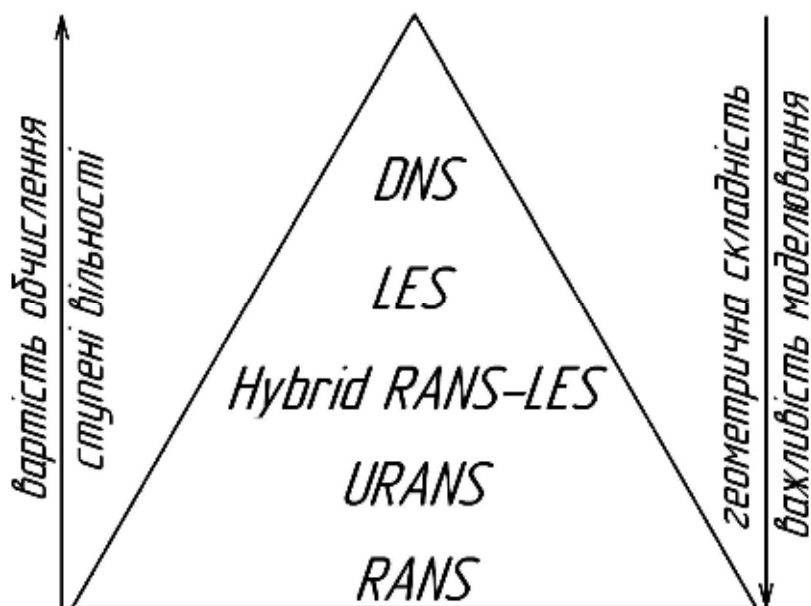


Рис. 2.1 Моделі турбулентності в CFD від RANS до DNS

2.2 Моделі турбулентності

Моделі турбулентності в обчислювальній динаміці рідини (Computational Fluid Dynamics - CFD) - це методи, як дозволяють врахувати ефект турбулентності, при моделюванні потоків рідин. Для більшості моделювань необхідна модель турбулентності, оскільки турбулентні потоки переважають у природі та в промислових потоках і зустрічаються в більшості інженерних застосунках.

2.2.1 Класифікація моделей.

Для визначення турбулентних напруг використовуються моделі турбулентності - алгебраїчні або диференціальні співвідношення. Цих моделей дуже багато, але жодна з них не є ідеальною. Причина такого різноманіття -

відсутність ідеальності і пошуки нових, більш точних або універсальних моделей. Спектр моделей турбулентності дуже широкий: від простих алгебраїчних зв'язків до складних моделей рейнольдсових напруг, що містять 7 і більше диференціальних рівнянь. Однак серед усього розмаїття моделей можна виділити кілька основних груп (обговорення основних груп моделей і їх коротка характеристика)

1. Алгебраїчні моделі.
2. Моделі з одним диференціальним рівнянням.
3. Моделі з двома диференціальними рівняннями.
4. Моделі, які не використовують гіпотезу Буссінеска.

У даній роботі розрахунок проводився з використанням моделі турбулентності - Shear Stress Transport (SST). SST-модель являє собою комбінацію k - ϵ і k - ω моделей турбулентності з двома рівняннями, які використовують ідею пристінкових функцій, тому спершу розглянемо їх.

2.2.2 Моделі з двома рівняннями

У моделях з двома рівняннями, в доповнені до рівнянь Нав'є - Стокса для середнього потоку використовуються два рівняння переносу для двох властивостей турбулентності. Перший тип зазвичай відповідає кінетичній енергії турбулентності (k), а другий - будь-який інший з множини, що включають: швидкість розсіювання кінетичної енергії турбулентності (ϵ), питому швидкість розсіювання (ω), масштаб довжини (l), добуток $k \sim l$, на шкалі часу τ , добуток k і τ , серед іншого. Цей клас моделей є найкращим в галузі і, схоже, залишиться таким в осяжному майбутньому. Моделі з двома рівняннями вихрової в'язкості, як і раніше залишаються найкращим вибором для загальних розрахунків CFD, при цьому найбільш широко використовуються стандартні k - ϵ моделі і k - ω . Для такої переваги немає особливих причин, але, по крайній мірі, ці моделі застосовувалися настільки широко, що ми заздалегідь знаємо їх поведінку.

2.2.3 Пристінкові функції.

Ідея пристінкових функцій полягає в тому, що при постановці граничних умов на стінці використовується закон стінки. Це дозволяє сформулювати граничні умови рівнянь для швидкості уздовж стінки і турбулентних характеристик (для моделей типу k-ε це необхідно зробити і для k і для ε.). Традиційно прийнято два підходи для постановки граничних умов за допомогою пристінкових функцій. У першому випадку визначаються потоки шуканих величин через стінку і безпосередньо використовуються при вирішенні рівнянь методом кінцевих об'ємів. У другому визначаються значення цих величин в вузлах на деякій відстані від стінки. Вибір підходу в значній мірі визначається способом вирішення рівнянь (звичайно-різностний або кінцевооб'ємний), способом зберігання даних (cell centred або vertex based), а також причинами суб'єктивного характеру. Багаторічний досвід використання пристінкових функцій показав, що перший підхід трохи більш універсальний, ніж другий.

2.2.4 Модель k-ε

Модель k - ε, безумовно, є найбільш широко використовуваною і перевіреною моделлю з двома рівняннями, з багатьма покращеннями, внесеними за ці роки[9]. Стандартна k - ε модель Лаундер і Шарми задається наступним чином:

Рівняння кінематичного вихровий в'язкості (ν_t):

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}. \quad (2.4)$$

Рівняння кінетичної енергії турбулентності (k):

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{(\nu + \nu_t)}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] - \varepsilon + \tau_{ij} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j}. \quad (2.5)$$

Рівняння швидкості розсіювання(дисипації) турбулентності (ε):

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{(\nu + \nu_t)}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \tau_{ij} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k}, \quad (2.6)$$

де $\sigma_k = 1.0$ і $\sigma_\varepsilon = 1.3$ - числа Прандтля для k і ε відповідно. Решта константи моделі: $C_\mu = 0,09$, $C_{\varepsilon 1} = 1,44$, $C_{\varepsilon 2} = 1,92$. Стандартна модель k - ε дуже добре підходить для передбачення турбулентних зсувних течій в багатьох застосунках, що представляють інженерний інтерес. Однак ця модель не може точно прогнозувати потоки з несприятливими градієнтами тиску і додатковими деформаціями (наприклад, кривизна лінії струму, перекіс, обертання [10]). В результаті він дає погані результати для відривних течій, в той час як його досить складно інтегрувати через в'язкий підслой. Незважаючи на вищезгадані недоліки, модель k - ε рекомендується для хоча б грубої оцінки поля потоку і для таких випадків, як горіння, багатофазні потоки і потоки з хімічними реакціями [10].

2.2.5 Модель k - ω

Іншою «успішною» моделлю, яка також широко використовується, є модель k - ω . Первісний вигляд моделі був запропонований Колмогоровим в 1942 [117]. Поліпшена версія моделі була розроблена групою Імперського коледжу під керівництвом професора Б. Сполдинга [11]. Подальший розвиток і застосування моделі k - ω було виконано багатьма вченими і інженерами, але найбільш важлива розробка належить Вілкокс [12]. У цій статті найостанніша версія моделі (k - ω - модель Wilcox (2006)) представлена нижче:

Рівняння кінематичної вихрової в'язкості (ν_t):

$$\nu_t = \frac{k}{\bar{\omega}}, \quad \bar{\omega} = \max \left\{ \omega, C_{\text{lim}} \sqrt{\frac{2S_{ij}S_{ij}}{\beta^*}} \right\}, \quad C_{\text{lim}} = \frac{7}{8}. \quad (2.7)$$

Рівняння кінетичної енергії турбулентності (k):

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \sigma^* \frac{k}{\omega} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] - \beta^* k \omega + \tau_{ij} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j}. \quad (2.8)$$

Рівняння питомої швидкості дисипації (ω)

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \omega}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \sigma \frac{k}{\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] - \beta \omega^2 + \frac{\sigma_d}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} + a \frac{\omega}{k} \tau_{ij} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j}. \quad (2.9)$$

Допоміжні співвідношення та коефіцієнти замикання моделі визначаються наступним чином:

$$a = 0.52, \quad \beta = \beta_0 f_\beta, \quad \beta_0 = 0.0708, \quad \beta^* = 0.09, \quad \sigma = 0.5, \quad \sigma^* = 0.6, \quad (2.10)$$

$$\sigma_{d0} = 0.125,$$

$$\sigma_d = \begin{cases} 0, & \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \leq 0 \\ \sigma_{d0}, & \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} > 0, \end{cases} \quad f_\beta = \frac{1+85\chi_\omega}{1+100\chi_\omega}, \quad \chi_\omega \equiv \left| \frac{\Omega_{ij}\Omega_{jk}S_{ki}}{(\beta^*\omega)^3} \right|,$$

де
C_{li}
m -
мі
цн

$$\Omega_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right),$$

ість обмежувача напруги, f_β - функція розтягування вихорів, χ_ω безрозмірний параметр розтягування вихорів і Ω_{ij} - тензор середнього обертання. Модель $k - \omega$ є кращою за стандартну модель $k - \epsilon$ з ряду причин. Наприклад, він забезпечує більш високу точність для пристінкових шарів з несприятливим градієнтом тиску і може бути легко інтегрований в в'язкий підслой без будь-яких додаткових функцій демпфірування. Крім того, остання версія $k - \omega$ моделі Вілкокса (2006) набагато точніша для течій з вільним зрушенням і відривних течій. Згідно оглядової статті Ментера [13], модель як і раніше страждає недоліками при застосуванні до потоків з межами набігаючого потоку (наприклад, струменя).

2.2.6 Модель Ментера

Саме Ментеру належить ідея про об'єднання двох типів моделей ($k - \epsilon$ - далеко від стінок, $k - \omega$ - поблизу до стінок).

Крім того, відомо, що в значній частині пристінкового шару дотичне напруження пропорційне кінетичної енергії турбулентності (Ментер використовує назву SST і Shear Stress Transport)[14]. Для безградієнтної пристінкової області (рівноваженої) це гіпотеза Невзглядова-Драйдена

$$\tau = \rho a_1 k, \quad (2.10)$$

а для нерівноважного

$$\tau = \rho \frac{P_k}{\varepsilon} a_1 k \quad (2.11)$$

Найбільша технічна складність при створенні такої "комбінованої" моделі полягає в формулюванні функцій, які автоматично перемикають модель з однієї "гілки" на іншу. Ментер це зробив в такий спосіб.

$$\begin{aligned} \rho \frac{Dk}{Dt} &= \nabla \cdot ((\mu + \sigma_k \mu_T) \nabla k) + P_k - \rho \beta^* \omega k \\ \rho \frac{D\omega}{Dt} &= \nabla \cdot ((\mu + \sigma_\omega \mu_T) \nabla \omega) + \rho \frac{\gamma}{\mu_T} P_k - \rho \beta \omega^2 + (1 - F_1) D_{k\omega} \end{aligned} \quad (2.12)$$

Тут:

$$\begin{aligned} \mu_T &= \frac{a_1 k}{\max(a_1 \omega, \Omega F_2)}, F_2 = \tanh(\arg_2^2), \arg_2 = \max\left(\frac{2\sqrt{k}}{0.09\omega d}, \frac{500v}{d^2 \omega}\right), \\ \phi &= F_1 \phi_1 + (1 - F_1) \phi_2, \phi = \{\sigma_k, \sigma_\omega, \beta\}, \\ F_1 &= \tanh(\arg_1^4), \arg_1 = \min\left[\max\left(\frac{\sqrt{k}}{0.09\omega d}, \frac{500v}{d^2 \omega}\right), \frac{4\rho\sigma_{\omega 2} k}{CD_{k\omega} d^2}\right], \\ CD_{k\omega} &= \max(D_{k\omega}, 10^{-20}), D_{k\omega} = \frac{2\rho\sigma_{\omega 2}}{\omega} (\nabla k) \cdot (\nabla \omega). \end{aligned} \quad (2.13)$$

Константи моделі:

$$\begin{aligned} \sigma_{k1} &= 0.85, \sigma_{\omega 1} = 0.5, \beta_1 = 0.075, \\ \sigma_{k2} &= 1.0, \sigma_{\omega 2} = 0.856, \beta_2 = 0.0828, \\ \beta^* &= 0.09, \kappa = 0.41, a_1 = 0.31, \gamma = \beta/\beta^* - \sigma_\omega \kappa^2 / \sqrt{\beta^*}. \end{aligned}$$

За підсумками десятирічного досвіду експлуатації цієї моделі в ній було зроблено єдина зміна - в рівнянні для kP_k обмежується значенням .

2.3 Методика чисельного моделювання струминних захоплювальних пристроїв

Математична модель протікання повітря в радіальному проміжку між взаємодіючими поверхнями СЗП та ОМ базується на осереднених по Рейнольдсу рівняннях Нав'є-Стокса (Reynolds averaged Navier-Stokes equations) (RANS). Нехтуючи масовими силами система рівнянь матиме наступний вигляд:

рівняння нерозривності потоку:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \cdot V_j)}{\partial x_j} = 0, \quad (2.14)$$

рівняння імпульсу:

$$\rho \frac{\partial V_i}{\partial t} + \rho \cdot V_j \cdot \frac{\partial V_i}{\partial x_j} = \frac{\partial P_{ji}}{\partial x_j}, \quad (2.15)$$

рівняння енергії:

$$\rho \frac{\partial E}{\partial t} + \rho \cdot V_j \cdot \frac{\partial E}{\partial x_j} = -\frac{\partial q_j}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} (P_{ji} \cdot V_i); \quad (2.16)$$

рівняння стану ідеального газу:

$$\rho = \frac{P_a + P}{R \cdot T}; \quad (2.17)$$

де i, j – індекси, що приймають значення 1, 2, 3; ρ – густина повітря; t – час; x – координата; V – вектор швидкості руху повітря; p – надлишковий тиск повітря; P – тензор напружень; E – повна питома енергія повітря; q – вектор густини теплового потоку, що враховує перенесення тепла за рахунок теплопровідності і дифузії; R – газова стала; T – абсолютна температура повітря.

Для проведення моделювання система рівнянь (2.14-2.17) повинна замикається моделлю турбулентності. Для опису турбулентності вибрано, створену Ментером модель переносу напружень зсуву (Shear Stress Transport) (SST). Пізніше SST-модель турбулентності доповнено моделями переходу [21, 22], що дозволяють спрогнозувати положення ламінарно-турбулентного переходу.

Моделі переходу базуються на використанні коефіцієнта переміжності γ , значення якого в заданій точці визначається відношенням часу протягом якого спостерігається турбулентний режим до загального часу спостереження. Отже, при $\gamma=0$ режим ламінарний, при $\gamma=1$ – турбулентний, а область з проміжними значеннями γ є перехідною. Крім цього запропонована в [22] γ - $Re\theta$ модель містить додаткове рівняння переносу для критичного числа Рейнольдса втрати імпульсу \tilde{Re}_{θ_i} , що дозволяє врахувати вплив градієнта тиску на положення ламінарно-турбулентного переходу.

В статті [23] запропоновано модель переходу з одним диференціальним рівнянням для величини γ (γ -модель):

$$\frac{\partial(p\gamma)}{\partial t} + \frac{\partial(pV_j\gamma)}{\partial x_j} = P_\gamma - E_\gamma + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\gamma} \right) \frac{\partial \gamma}{\partial x_j} \right] \quad (2.18)$$

де P_γ , E_γ – відповідно генераційний та дисипаційний члени, що управляють ламінарно-турбулентним переходом; μ – молекулярна динамічна в'язкість газу; μ_t – турбулентна динамічна в'язкість газу; $\sigma_\gamma = 1.0$ – модельна константа.

На відміну від моделі γ - $Re\theta$ в даній моделі відсутнє рівняння переносу для $Re\theta$, що дозволило суттєво покращити збіжність ітерацій та зменшити час розрахунків.

В γ -моделі переходу використовують видозмінені рівняння моделі SST:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho V_j k) = \tilde{P}_k + P_k^{\text{lim}} - \tilde{D}_k + \frac{\partial}{\partial x_j} \left((\mu + \sigma_k \mu_t) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) \quad (2.19)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho V_j \omega) = \alpha \frac{P_k}{\nu_t} - D_\omega + Cd_\omega + \frac{\partial}{\partial x_j} \left((\mu + \sigma_\omega \mu_t) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) \quad (2.20)$$

$$\tilde{P}_k = \gamma P_k \quad (2.21)$$

$$\tilde{D}_k = \max(\gamma, 0.1) \cdot D_k \quad (2.22)$$

$$\mu_t = \rho \frac{a_1 \cdot k}{\max(a_1 \cdot \omega, F_2 \cdot S)} \quad (2.23)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \right); \quad S^2 = 2S_{ij}S_{ij} \quad (2.24)$$

де k – кінетична турбулентна енергія; ω – питома швидкість дисипації кінетичної енергії турбулентності; P_k , D_k – оригінальні генерація та дисипація моделі SST; P_k^{lim} – додатковий член, що забезпечує правильний приріст турбулентної в'язкості в перехідній області при дуже низькому рівні турбулентної в'язкості набігаючого потоку; ν_t – турбулентна кінематична в'язкість газу; σ_k , α , a_1 – емпіричні константи моделі; F_2 – емпірична функція; S – інваріант тензор швидкостей деформацій.

Генераційний член в рівнянні (2.18) має вигляд:

$$P_\gamma = F_{\text{length}} \rho S \gamma (1 - \gamma) F_{\text{onset}} \quad (2.25)$$

де F_{length} – емпірична кореляція, яка контролює довжину перехідної ділянки (приймають $F_{\text{length}}=100$); F_{onset} – функція, що контролює положення початку переходу.

Дисипаційний член, що відповідає за реламінаризацію:

$$E_\gamma = c_{a2} \rho \Omega \gamma F_{turb} (c_{e2} \gamma - 1) \quad (2.26)$$

де $c_{a2}=0.06$, $c_{e2}=50$ – емпіричні константи; $\Omega = \sqrt{2\Omega_{i,j}\Omega_{i,j}}$ – інваріант тензор

завихреності; $F_{turb} = e^{-\left(\frac{R_T}{2}\right)^4}$; $R_T = \frac{\rho k}{\mu \omega}$.

Положення початку процесу ламінарно-турбулентного переходу контролюється наступними функціями:

$$F_{onset1} = \frac{Re_v}{2.2 Re_{\theta c}}, \quad Re_v = \frac{\rho d_\omega^2 S}{\mu} \quad (2.27)$$

$$F_{onset2} = \min(F_{onset1}, 2.0); \quad (2.28)$$

$$F_{onset3} = \max\left(1 - \left(\frac{R_T}{3.5}\right)^3, 0\right); \quad (2.29)$$

$$F_{onset} = \max(F_{onset2} - F_{onset3}, 0); \quad (2.30)$$

де d_ω – відстань до найближчої стінки.

Значення критичного числа Рейнольдса втрати імпульсу $Re_{\theta c}$ розраховується за допомогою алгебраїчного співвідношення, що використовує локальні змінні [23]:

$$Re_{\theta c} = f(TU_L, \lambda_{\theta L}). \quad (2.31)$$

Генерацію P_k розраховують за допомогою формули Като-Лаундера:

$$P_k = \mu_t S \Omega. \quad (2.32)$$

Додатковий член P_k^{lim} визначають наступним чином:

$$P_k^{\text{lim}} = 5C_k \max(\gamma - 0.2, 0)(1 - \gamma)F_{on}^{\text{lim}} \max(3C_{SEP}\mu - \mu_t, 0)S\Omega ; \quad (2.33)$$

$$C_k = 1.0, \quad C_{SEP} = 1.0 ;$$

$$F_{on}^{\text{lim}} = \min \left(\max \left(\frac{\text{Re}_V}{2.2 \cdot \text{Re}_{\theta c}^{\text{lim}}} - 1, 0 \right), 3 \right) ; \quad \text{Re}_{\theta c}^{\text{lim}} = 1100 . \quad (2.34)$$

РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Конструкція струминних захоплюючих пристроїв для безконтактного маніпулювання

В даному проекті головним об'єктом дослідження є безконтактний струминний захоплювач. Для отримання оптимальних характеристик потрібно розробити та дослідити ряд конструкцій, та вибрати ті конструкції в результаті дослідження та аналізу яких ми отримаємо потрібні нам характеристики для маніпулювання потрібними заготовками та об'єктами.

При розробці струменевих захоплюючих пристроїв потрібно передусім звертати увагу на вимоги технологічного процесу, а також на конструктивні характеристики об'єктів маніпулювання. З цього виникає необхідність дослідження струминних захоплювачів та розробки технічних вимог до їх конструкцій.[6]

При проектування струменевих захоплювальних пристроїв потрібно враховувати вимоги технологічного процесу, а також фізико-механічні властивості та конструктивні особливості об'єктів маніпулювання, що вимагає дослідження технічних характеристик даних захоплювальних пристроїв та розробки технічних вимог до їх конструкції.[6]

Якщо річ йде про маніпулювання циліндричних деталей, слід застосовувати струменеві захоплювальні пристрої, що зображені на рисунку 3.1 - 3.3. Ці пристрої характеризуються підвищеною точністю центрування об'єктів маніпулювання, більшою надійністю в роботі, відсутністю механічних контактів з циліндричною поверхнею об'єктів.

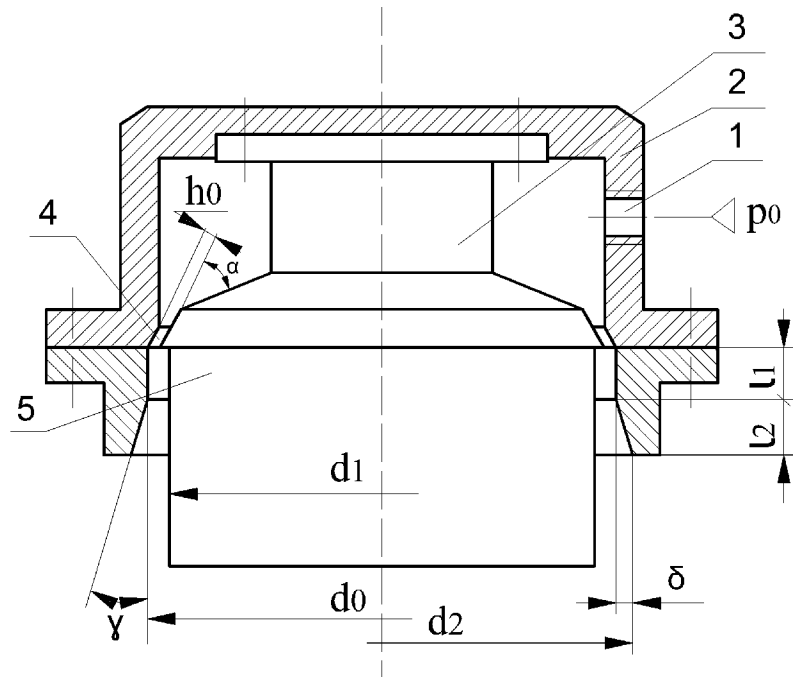


Рис. 3.1 Конструктивна схема струменевого захоплювача для об'єктів типу «диски»

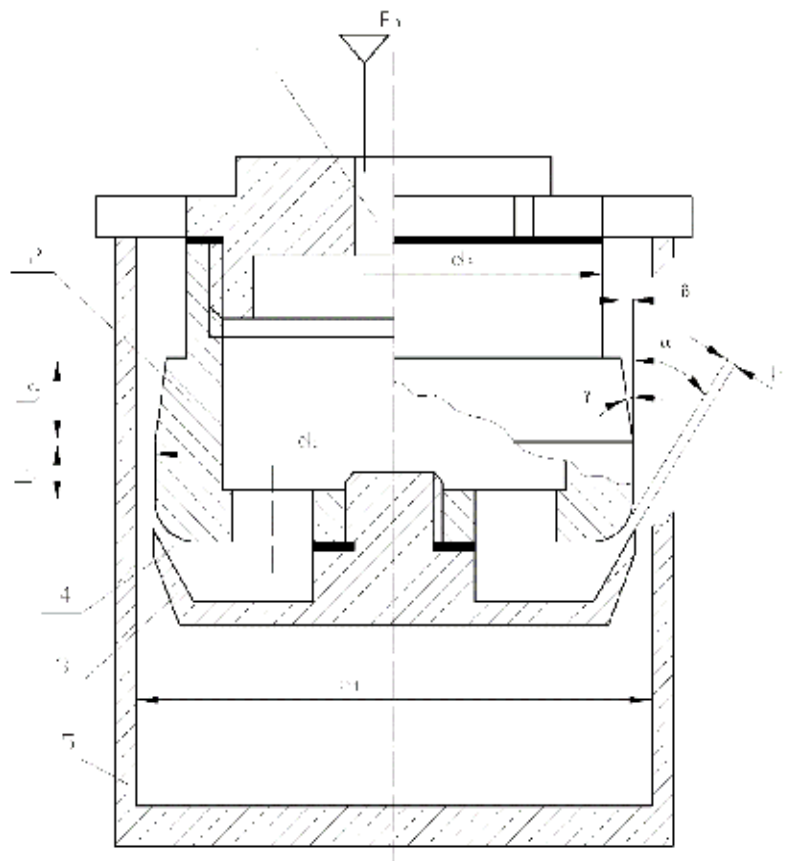


Рис. 3.2 Конструктивна схема струменевого захоплювача для об'єктів з глухими циліндричними отворами

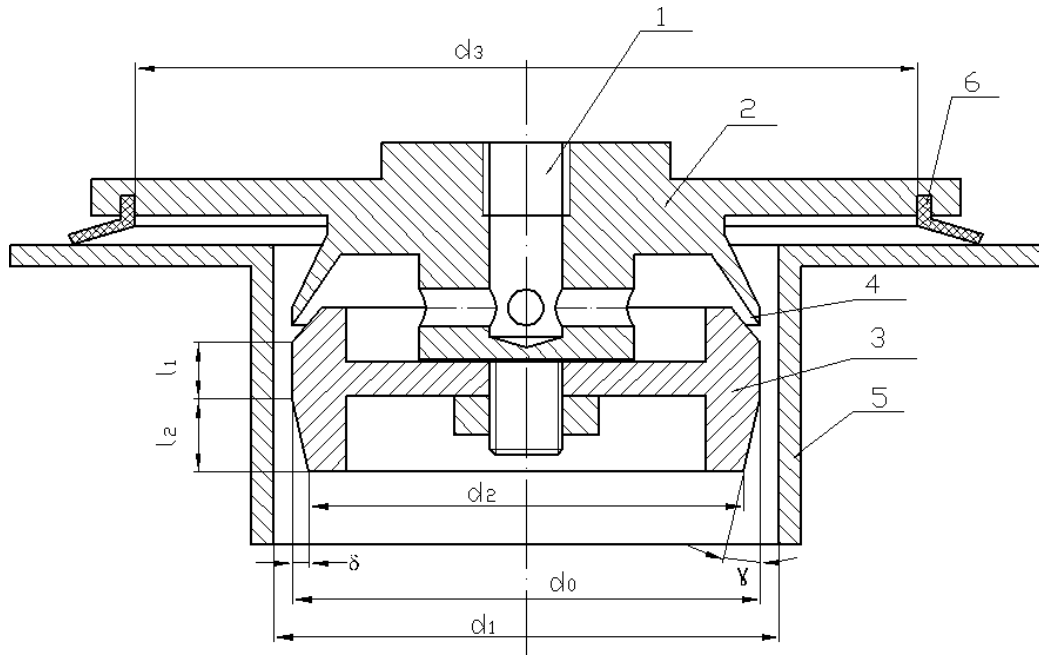


Рис. 3.3 Конструктивна схема струменевого захоплювача для об'єктів з наскрізними циліндричними отворами

Дані захоплювачі складаються з порожнинного корпусу 2 з отвором 1 який використовується для підводу стисненого повітря, а також спеціальної вставки 3, яка закріплена у центральній порожнині так, що між фаскою порожнини та конічною периферією вставки 2 утворюється кільцеве сопло 4.

Основною характеристикою даних захоплювачів є здатність їх активної поверхні взаємодіяти з циліндричною поверхнею об'єкта маніпулювання. Ця поверхня представляє собою послідовну комбінацію циліндричної та конічної поверхні з довжинами l_1 і l_2 . В результаті такого конструктивного виконання забезпечується підвищення їх силових характеристик, а також полегшення процесу захоплення об'єктів маніпулювання в тих випадках коли відбувається неточне позиціонування промислового робота.

Принцип роботи даних захоплювальних пристроїв однаковий. Через отвір 1 в камеру захоплювача від джерела надходить стиснуте повітря, яке випускається через сопло 4 в атмосферу, при чому газовий циліндричний потік рухається паралельно осі захоплювача та циліндричного об'єкта.

Повітря яке виходить через сопло, розширюється, та протікає в проміжку між зовнішньою або внутрішньою поверхнею захоплювача та поверхнею об'єкта маніпулювання 5. При цьому спостерігається явище ежекції, коли тиск у внутрішній порожнині зменшується, та в результаті стає меншим за атмосферний.

В результаті утвореного розрідження об'єкт починає рухатись до захоплювача, при цьому він центрується кільцевим потоком відносно осьової лінії та притискується до конічної вставки 3 (рисунок.3.1), або упорів (рисунок 3.2), або ж ущільнюючої гумової манжети 6 (рисунок 3.3).

Першим етапом завантажувально-розвантажувальних операцій є захоплення заготовки захоплювальним пристроєм, при цьому етапі спосіб фіксації об'єкта в захоплювачі в великій мірі визначає точність його центрування, і тим самим визначає подальші дії роботизованої системи. Під час визначення положення заготовки необхідно забезпечити певні вимоги: захоплювальний пристрій повинен надійно утримувати об'єкт маніпулювання, протидіяти силам які можуть заважати його транспортуванню, щоб забезпечити початкову точність його центрування; виключити можливість пошкодження поверхні об'єкта під час етапів його захоплення та розвантаження.

При виборі початкових положень захоплення слід враховувати геометричну форму об'єкта, способу захоплення, похибки позиціонування робота або усунення невизначеності. Також одним з критеріїв, який враховується при виборі місця захоплення на об'єкті маніпулювання, є мінімальність моменту інерції відносно осі захоплювача.

Під час обслуговування процесів обробки та складання, завжди актуальною є точність встановлення об'єктів. Тому до таких захоплених пристроїв ставляться спеціальні вимоги: вимоги до точності базування об'єктів на власному торці; точність центрування об'єктів відносно осі захоплювача. [6]

Аналіз процесу захоплення об'єктів в захоплювач, а також попадання в отвори інших деталей при зборці, показує, що точність та надійність виконання цих операцій визначається такими похибками: похибкою центрування об'єкта відносно торця захоплювача; сумарною похибкою позиціювання всіх виконавчих механізмів маніпулятора; похибки розміщення затискного пристрою. Ці три складові похибок складають так звану систему «робот-захоплювач-об'єкт». В ідеалі коли осі всіх трьох елементів співпадають, відповідні похибки $\delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = 0$. На практиці ж точність повторного позиціювання маніпулятора δ_1 не дорівнює нулю і являє собою радіус сфери, описаної навколо точок кінцевого положення. В ці точки маніпулятор попадає з одного і того початкового положення при однакових навантаженнях і початкових умовах, та при керуванні однією і тією ж програмою. Значення точності повторного позиціювання δ_1 лежать в діапазоні від 2 мм до 0,01 мм, і навіть до 0,005 мм. Коли вісь захоплювача, затискного пристрою та об'єкта розташовують в одній площині, похибки δ_1, δ_2 та δ_3 сумуються і складають максимальну похибку. Розподіл похибок таким чином не завжди обов'язковий, і носить імовірнісний характер.

Промислові роботи є частиною виробничого процесу, так як вони призначені для обслуговування дорогого основного устаткування, вони повинні бути стабільними, безпечними в роботі, та зручними в обслугованні. Такі ж самі вимоги ставляться до струменевих захоплювачів, так як вони також є складовою частиною робота.

Виходячи з наведених вище вимог до струминних захоплювачів, їх проектування проводиться з врахуванням середовища в якому вони повинні працювати, а також з врахуванням шкідливого впливу якими можуть виступати екстремальні температури, вологість, удари, вібрації, контакт з різними хімічними речовинами і т.д. Однією з головних особливостей струминних захоплювачів є наявність (безконтактного захоплення) контакту повітря з поверхнею захоплювального об'єкта, що надає їм можливість роботи

з нагрітими заготовками без власної шкоди, а також при розвантаженні металообробних верстатів, де негативним фактором можуть виступити залишки металевої стружки та різні змащувальні та охолоджувальні речовини. [6]

Варто зазначити що надійність струменевих захоплювальних пристроїв можна визначити і експериментальним шляхом, під час якого потрібно визначити величину ймовірності безвідмовної роботи захоплювача.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) є однією з характеристик струменевих захоплювальних пристроїв, який визначає частину енергії, яка витрачається на корисну роботу, тобто на сам процес захоплення об'єкта.

При розрахунку конструктивних параметрів струминних захоплювальних пристроїв слід враховувати, щоб вони забезпечували максимальні силові характеристики, а також слід внести вплив відцентрових сил та сил які виникають при прискоренні та гальмуванні маніпулятора, щоб забезпечити відносно міцне та стабільше утримання об'єкту маніпулювання щоб уникнути можливих пошкоджень чи виникненню інших негативних ситуацій. [6]

Захоплюючий пристрій який кріпиться на кінці маніпулятора по можливості повинен бути легким, так як його маса може в цілому впливати на функціонування робота. Наприклад впливати на швидкість переміщення руки робота та його робочих рухів, і насамперед на його точність переміщення. Тому зменшення габаритів захоплювального пристрою дозволить знизити його масу, а також зекономить робочий простір роботизованої комірки. Розрахунок граничного навантаження промислового робота пов'язаний з розрахунком моменту інерції останньої ланки маніпулятора, а самн того навантаження яке розташоване на деякій відстані від приєднувального фланця. Слід зауважити що зміна розмірів захоплюючого пристрою впливає на те, об'єктами яких розмірів він зможе маніпулювати. При проектуванні захоплювального пристрою слід врахувати те що він повинен вміти працювати з найбільшим спектром об'єктів різної форми та розмірів. В

конструкції струменевих захоплювачів можливо зазделегідь передбачити можливість їх швидкого переналагодження на об'єкти з різними формами та розмірами. Для цього можна використати змінні кільця, насадки, накладки та ін. Також можливо провести автоматичну заміну струменевих захоплювачів, при цьому кожен захоплювач буде забезпечувати роботу з певною кількістю об'єктів, таким чином можна буде працювати з великою кількістю деталей різних форм та розмірів. [6]

Під час захоплення об'єкту струменеві захоплювальні пристрої можуть виконувати і додаткові функції. Це може бути сушіння заготовки, розігрів, миття, а при потребі струменеві захоплювачі можуть проводити пневматичний контроль та орієнтацію об'єктів в процесі маніпулювання.

Виходячи з вище описаних вимог до струменевих захоплювальних пристроїв слід виділити найголовніші, а саме:

- здатність до переналагодження або автоматичної заміни захоплювача та окремих його частин;
- маси та габаритів;
- надійність втримування та фіксації об'єкті;
- багатофункціональності.

3.2 Струминні захоплювальні пристрої з ежекторними соплами для пневматичного контролю розмірів об

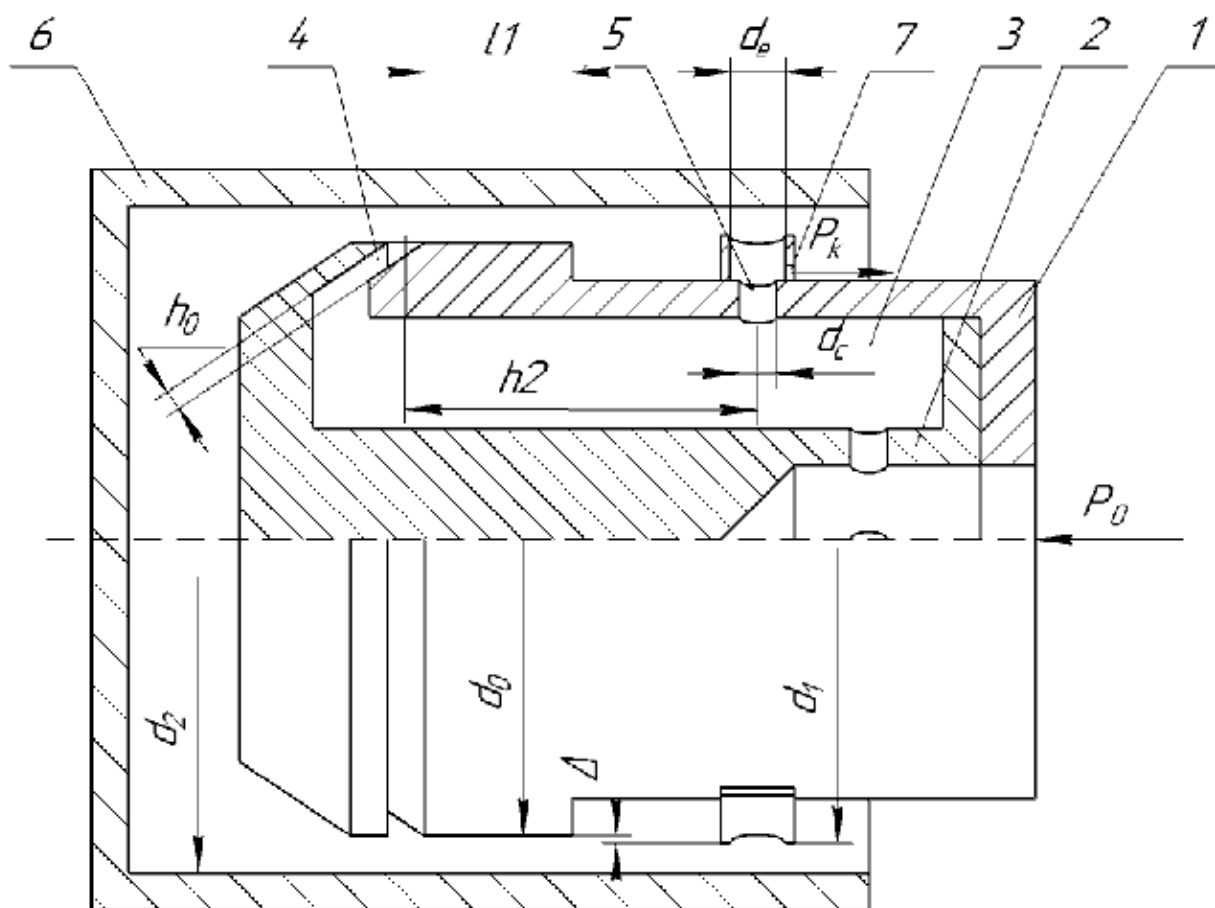


Рис. 3.4 Конструктивна схема струминного пристрою для захоплення та контролю внутрішнього діаметру ОМ

На рисунку 3.4 показаний струминний захоплювальний пристрій, що поєднує функції захоплення, центрування відносно власної осі та проведення активного безконтактного контролю внутрішнього діаметру об'єкту маніпулювання з внутрішнім глухим отвором. Струминний захоплювач конструктивно простий і забезпечує високі експлуатаційні показники по надійності та довговічності роботи при збереженні на весь час його служби постійно високої точності вимірювання. Даний захоплювач характеризується

підвищеною точністю центрування об'єктів маніпулювання, відсутністю механічних контактів з циліндричною поверхнею об'єкта.

Пристрій складається з корпусу 1, в якому закріплена вставка 2, що утворює з ним закриту камеру 3 для підводу стисненого повітря. Між зовнішньою фаскою корпусу 1 та внутрішньою фаскою вставки 2 утворюється регульована кільцева конічна щілина 4 для виходу стисненого повітря з камери 3 в атмосферу. У тілі корпусу 1 у напрямку витікання повітряного потоку з кільцевої конічної щілини 4, перпендикулярно до його осі виконана парна кількість симетричних ежекторних сопел 5. Для забезпечення високої точності вимірювання та вантажопідймальності струминного захоплювача необхідно щоб активні поверхні ежекторних сопел 5 виступали відносно бічної поверхні корпусу 1 на відстань Δ . Допускається їх 2-х рядне розташування для вимірювання конусності поверхні об'єкту та 2-х парне розміщення симетричних сопел у ряді при вимірюванні вісесиметричності по взаємноперпендикулярних діаметрах. У соплах 5 перпендикулярно до їх власної осі виконані отвори 7, в яких кріпляться давачі для перетворення тиску у напругу (на рисунку не вказані). Найбільш придатними для реалізації перетворення є п'єзокерамічні давачі, котрі найкраще відповідають вимогам чутливості та малогабаритності.

Пристрій у режимі захоплення працює за наступним принципом. У камеру 3 підводиться стиснуте повітря від магістралі, яке витікає через щілину 4 в атмосферу. При захопленні об'єкту маніпулювання 6, повітря в кільцевому проміжку між бічною поверхнею корпусу 1 та внутрішньою поверхнею об'єкта утворює суцільний кільцевий потік викликаючи за рахунок ежекції пониження абсолютного тиску на торці вставки 2 до величини меншої за атмосферний. Під дією аеродинамічної сили заготовка притягується до торця вставки 2 та в процесі переміщення центрується кільцевим потоком повітря відносно осі захоплювального пристрою. При цьому, внутрішня циліндрична поверхня об'єкту маніпулювання перекриває ежекторні сопла 5, викликаючи в них зростання абсолютного тиску до рівня P_k .

Сила притягання F об'єкта маніпулювання захоплювачем буде залежати від величини вакууму $p_{1\epsilon}$ в порожнині об'єкта і визначатиметься співвідношенням:

$$F = p_{1\epsilon} \frac{\pi d_1^2}{4} + F_m \quad (3.1)$$

де $p_{1\epsilon} = p_{am} - p$; p – значення абсолютного тиску в порожнині об'єкта; F_m – сила в'язкого тертя потоку повітря до циліндричної поверхні об'єкта маніпулювання; d_1 – зовнішній або внутрішній діаметр об'єкта маніпулювання;

Для того щоб визначити величину розрідження $p_{1\epsilon}$ на поверхні об'єкта, складемо рівняння кількості руху для вихідного перерізу 1-1 кільцевого сопла 4 і перерізу 2-2 кільцевого концентричного проміжку (рисунок 3.3), припустивши, що розподіл швидкостей в цих перерізах – рівномірний, а рівняння відповідає інтервалу часу рівному $1c$:

$$G(V_0 - V_1) = S_1(p_{11} - p_1) + F_{m\Sigma} \quad (3.2)$$

де G – масові витрати повітря через сопло; V_0, V_1 – швидкості потоку повітря у вихідному перерізі кільцевого сопла 5 і кільцевому концентричному проміжку відповідно; ρ_0 – густина повітря у вихідному перерізі кільцевого сопла 5; $S_0 = \pi d_0 h_0$ - площа поперечного перерізу потоку на виході з кільцевого сопла 5; $S_1 = \frac{\pi}{4} |d_1^2 - d_0^2|$ - площа поперечного перерізу потоку в проміжку утвореному поверхнями захоплюваного пристрою та об'єкта. d_0 - діаметр захоплювача; $F_{m\Sigma}$ - сумарна сила в'язкого тертя потоку повітря до кільцевого концентричного проміжку.

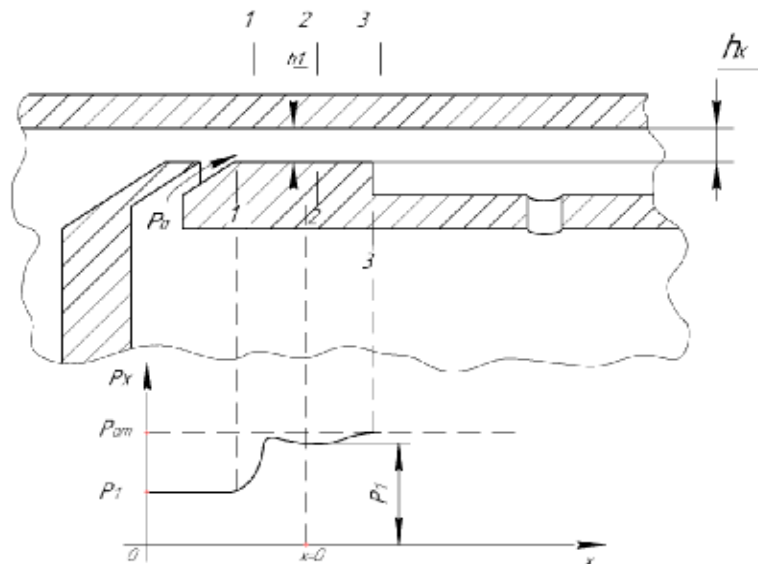


Рис. 3.5 Схема для визначення параметрів газового потоку

Загальна сума в'язкого тертя потоку повітря до циліндричних поверхонь кільцевого концентричного проміжку:

$$F_{m\Sigma} = \tau_1 S_{kn} \quad (3.3)$$

де $\tau_1 = \lambda_1 \frac{\rho_{am} V_1^2}{8}$ - напруження в'язкого тертя; λ_1 - коефіцієнт в'язкого тертя; $S_{kn} = \pi l_1 (d_0 + d_1)$ - площі активних циліндричних поверхонь, що утворюють собою кільцевий проміжок; l_1 - довжина активної циліндричної поверхні захоплювального пристрою; $\rho_{am} = 1,23 \text{ кг/м}^3$ - густина потоку повітря в кільцевому проміжку, приймаємо за густину атмосферного повітря.

Через рівняння нерозривності потоку:

$$G = V_0 S_0 \rho_0 = V_1 S_1 \rho_{am} \quad (3.4)$$

можемо виразити швидкість:

$$V_1 = V_0 \frac{S_0 \rho_0}{S_1 \rho_{am}} \quad (3.5)$$

в такому випадку формула для сили тертя прийматиме наступний вигляд:

$$F_{m\Sigma} = \frac{\pi \lambda_1 V_0^2 \rho_0^2 S_0^2 l_1 (d_0 + d_1)}{8 \rho_{am} S_1^2} \quad (3.6)$$

Підставивши (3.5) і (3.6) в (3.4), після групування членів

отримаємо рівняння:

$$V_0^2 \rho_0 \left[1 - \frac{\rho_0 S_0}{\rho_{am} S_1} \left(1 + \frac{\pi \lambda_1 l_1 (d_0 + d_1)}{8 S_1} \right) \right] = (p_{11} - p_1) \frac{S_1}{S_0} \quad (3.7)$$

Щоб обчислити значення абсолютного тиску P_{11} в перерізі 2-2 (рисунок 3.3), потрібно скористатись рівнянням Бернуллі для перерізів 2-2 та 3-3.

Так як розрідження в даній зоні потоку та зміна абсолютного тиску є не значними, доцільним буде знехтувати стискуваність повітряного потоку. В такому випадку рівняння Бернуллі прийме вигляд:

$$\frac{p_{11}}{\rho_{am}} + \frac{V_1^2}{2} = \frac{p_{am}}{\rho_{am}} + \frac{V_2^2}{2} + E_{2-3} \quad (3.8)$$

де V_2 – швидкість потоку повітря на виході з кільцевого проміжку в атмосферу; E_{2-3} – втрати питомої енергії потоку на ділянці між перерізами 2-2 і 3-3.

Диференціал від втрат питомої енергії потоку dE на відрізку dx можливо визначити по залежності:

$$dE = \lambda_{2cp} \frac{V_x^2}{2} \frac{dx}{D_{cx}} \quad (3.9)$$

λ_{2cp} – середнє значення коефіцієнта в'язкого тертя повітря, що відповідає координаті $x = l_2/2$; $V_x = V_0 \frac{S_0 \rho_0}{S_x \rho_{am}}$, $D_{cx} = 2h_x$ - відповідно швидкість потоку повітря та гідравлічний діаметр потоку в перерізі з координатою x .

$$S_x \approx \pi d_1 h_x$$

$$h_x = h_1 + \delta_x, \quad h_1 = \frac{|d_1 - d_0|}{2}$$

Якщо врахувати, що $\delta_x = \frac{\delta}{l_2} x$, значення площі та гідравлічного діаметра можемо виразити формулами:

$$S_x \approx \pi d_1 \left(h_1 + \frac{\delta}{l_2} x \right) \quad (3.10)$$

$$D_{zx} = 2 \left(h_1 + \frac{\delta}{l_2} x \right)$$

Підставивши отриману залежність в (3.9), отримуємо рівняння

$$E_{2-3} = \frac{\lambda_{2cp}}{4\pi^2} \frac{V_0^2 \rho_0^2 S_0^2}{\rho_{am}^2 d_1^2} \int_0^{l_2} \frac{1}{\left(h_1 + \frac{\delta}{l_2} x \right)^3} dx \quad (3.11)$$

$$E_{2-3} = \frac{\lambda_{2cp}}{8\pi^2} \frac{V_0^2 \rho_0^2 S_0^2}{\rho_{am}^2 d_1^2} \frac{l_2}{\delta} \left(\frac{1}{h_1^2} - \frac{1}{(h_1 + \delta)^2} \right) \quad (3.12)$$

Врахувавши рівняння нерозривності потоку (3.4), а також інші залежності (3.10,3.12), з рівняння 3.8 можемо визначити величину тиску в перерізі 2-2

$$p_{11} = p_{am} - \frac{V_0^2 \rho_0^2 S_0^2}{2\rho_{am} S_1^2} \left(1 - \frac{h_1^2}{(h_1 + \delta)^2} - \frac{\lambda_{2cp}}{4} \frac{l_2}{\delta} \left(1 - \frac{h_1^2}{(h_1 + \delta)^2} \right) \right) \quad (3.13)$$

Підставивши (3.13) в (3.7) отримаємо:

$$\begin{aligned} & V_0^2 \rho_0 \left[1 - \frac{\rho_0 S_0}{\rho_{am} S_1} \left(1 + \frac{\pi \lambda_1 l_1 (d_0 + d_1)}{8 S_1} - 0,5 \left(1 - \frac{h_1^2}{(h_1 + \delta)^2} - \frac{\lambda_{2cp}}{4} \frac{l_2}{\delta} \left(1 - \frac{h_1^2}{(h_1 + \delta)^2} \right) \right) \right) \right] = \\ & = (p_{am} - p_1) \frac{S_1}{S_0} \end{aligned} \quad (3.14)$$

Швидкість потоку V_0 у вихідному перерізі сопла можна визначити за наступною формулою:

$$V_0 = \varphi \sqrt{2 \frac{k}{k-1} \left(\frac{p_0}{\rho_k} - \frac{p_1}{\rho_0} \right)}$$

де $k=1,4$ – коефіцієнт Пуассона для повітря; ρ_k – густина повітря в камері захоплювального пристрою; φ – коефіцієнт швидкості, який для кільцевого сопла з плавним входом буде дорівнювати 0,95.

Оскільки для адіабатного процесу $\frac{\rho_0}{\rho_k} = \left(\frac{p_1}{p_0}\right)^{\frac{1}{k}}$ та приймаючи

$\frac{\rho_0}{\rho_{am}} \approx 1$ рівняння для визначення p_1 прийматиме такий вигляд:

$$\left[\left(\frac{(p_{am} - p_1)(k-1)S_1}{2k\varphi^2 S_0 \left[1 - \frac{\rho_0 S_0}{\rho_{am} S_1} \left(1 + \frac{\pi \lambda_1 l_1 (d_0 + d_1)}{8 S_1} - 0,5 \left(1 - \frac{h_1^2}{(h_1 + \delta)^2} - \frac{\lambda_{2cp} l_2}{4 \delta} \left(1 - \frac{h_1^2}{(h_1 + \delta)^2} \right) \right) \right] \right) + p_1 \right)^{\frac{1}{k-1}} p_1^{\frac{1}{k}} - p_0 = 0 \right] \quad (3.15)$$

Число Рейнольдса можемо визначити за допомогою формули:

$$Re = \frac{\rho_{am} V_1 D_z}{\mu_\delta} = \frac{\rho_{am} V_1 |d_1 - d_0|}{\mu_\delta} \quad (3.16)$$

де $\mu_\delta = 1,71 \cdot 10^{-5} + 4,94 \cdot 10^{-8} t$ – коефіцієнт динамічної в'язкості повітря, кг/(с·м) [6]; t – температура середовища, °С.

Після врахування рівняння (3.4), та підставивши (3.16) в формулу для визначення коефіцієнту в'язкого тертя:

$$\lambda_1 = 0,11 K_n \left(\frac{\Delta}{D_z} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \quad (3.16)$$

отримаємо:

$$Re = \frac{4G}{\pi \mu_\delta (d_1 + d_0)} \quad \text{та} \quad \lambda_1 = 0,121 \left(\frac{\Delta}{|d_1 - d_0|} + \frac{17\pi \mu_\delta (d_1 + d_0)}{G} \right)^{0,25}$$

Також можемо отримати λ_{2cp} , яка відповідає координаті $x = \frac{l_2}{2}$

$$\lambda_{2cp} = 0,121 \left(\frac{\Delta}{|d_1 - d_0| + \delta} + \frac{17\pi\mu_0(d_1 + d_0 - \delta)}{G} \right)^{0,25}$$

Величину сили F_m в'язкого тертя потоку до циліндричної поверхні об'єкта маніпулювання можна знайти за формулою:

$$F_m = \frac{2\lambda_1 G^2 d_1 (l_1 + l_2)}{\pi \rho_{am} (d_1^2 - d_0^2)^2} \quad (3.17)$$

В результаті здійснення розрахунків, були отримано силову характеристику для захоплювального пристрою (рисунок 3.6) з такими конструктивними параметрами: $h_0=0,1$ мм; $d_0=45$ мм; $l_1=5$ мм; $l_2=0$ мм; $\delta=0$ мм, було отримано характеристику(рисунок 3.6) при цьому, в розрахунках силових характеристик захоплювача з циліндричною активною поверхнею було прийнято $l_2=0$ і $\delta=0$.

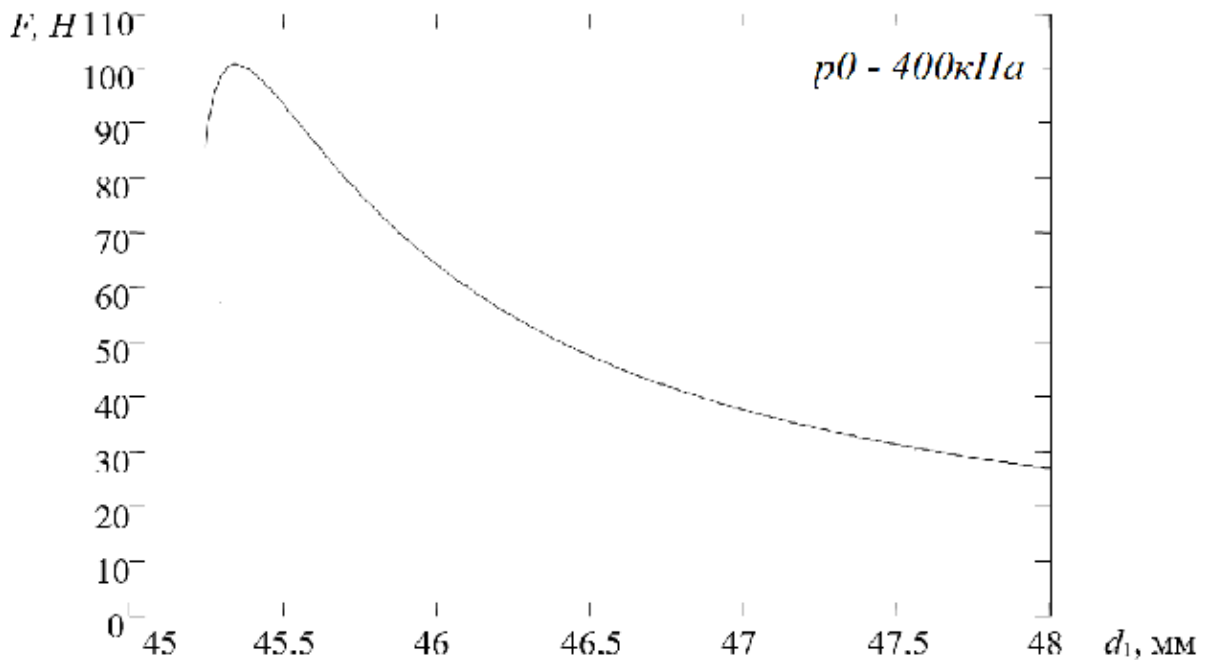


Рис. 3.6 Графіки залежності сили притягання F від діаметра об'єкта маніпулювання

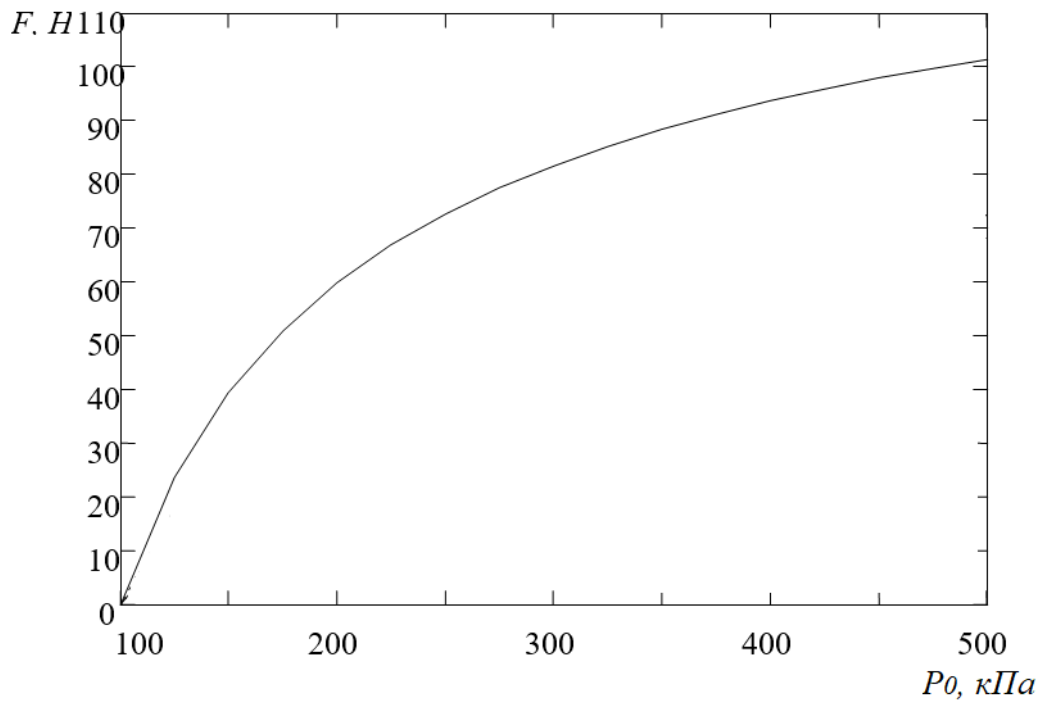


Рис. 3.7 Графіки залежності сили притягання F від тиску живлення
 Струминний пристрій залежно від конструктивного виконання (рисунок 3.8) забезпечує різні експлуатаційні характеристики (відстань захоплення ОМ, максимальна сила притягання при оптимальному значенні відстані між захоплювачем та ОМ) та можливості здійснення пневматичного контролю.

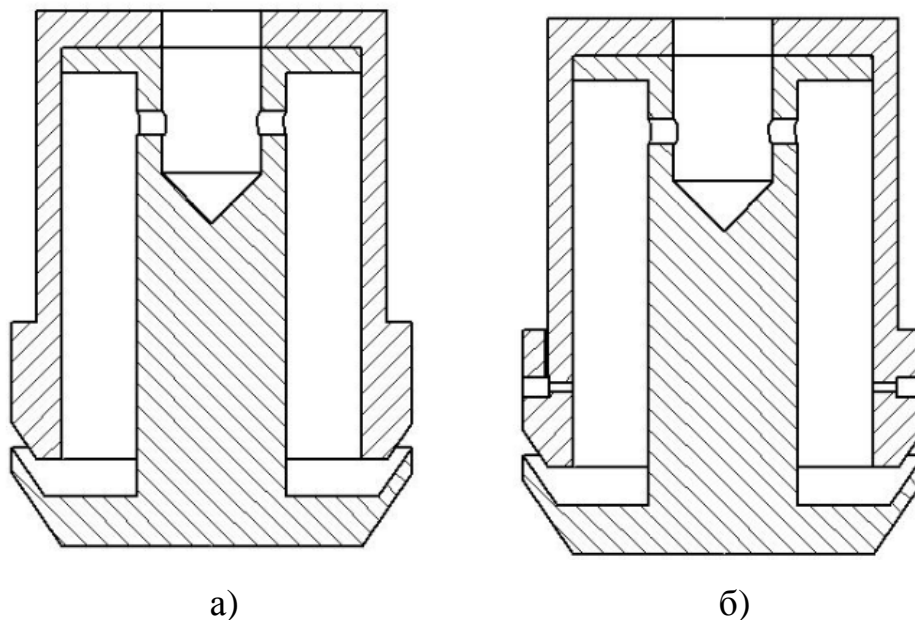


Рис. 3.8 Варіанти конструкції струминного пристрою

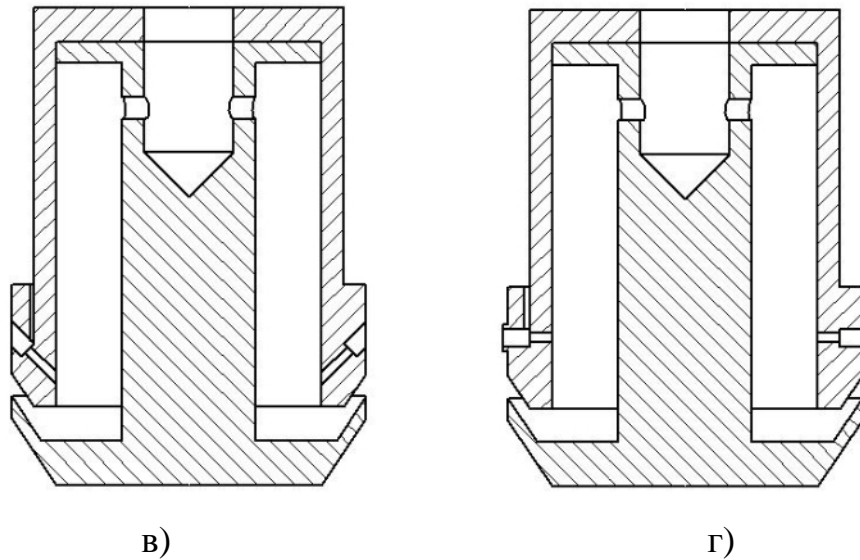


Рис. 3.8 Варіанти конструкції струминного пристрою

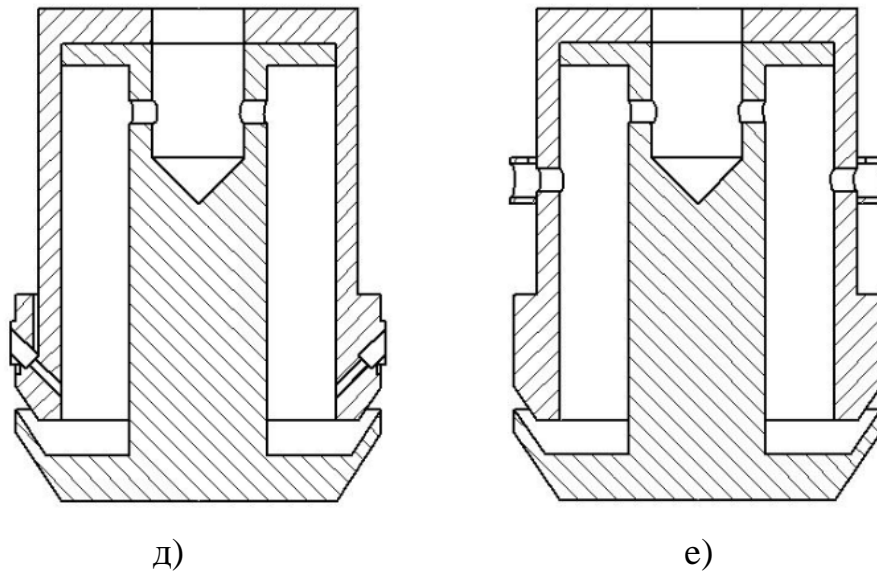


Рис. 3.8 Варіанти конструкції струминного пристрою

Під час дослідження струминних захоплювачів було представлено ряд конструкцій. В якості базової конструкції було обрано конструкцію струминного захоплювача зображеної на рисунку 3.8(а) яка забезпечувала тільки функцію захоплення ОМ, без можливості пневматичного контролю, та мала наступні конструктивні параметри: $h_0=0,1$ мм; $d_0=32,62$ мм; $l_1=5$ мм; $l_2=0$ мм; $\delta=0$ мм.

Тому було представлено варіанти конструкцій, з додатковими ежекторними соплами, які відповідно до конструкції виконані під різними

кутами, для забезпечення більшої вантажопідйомності та можливості вимірювання.

На рисунку 3.8 (б), було додано два ежекторні сопла, які розташовувались під кутом 45 градусів відносно осі корпусу, також конструкція в якій сопла розташовувались перпендикулярно відносно осі корпусу, та відповідно мали наступні конструктивні параметри: $d_e=0.96$ мм, $d_c=0,6$ мм. Проте таке їх розміщення та відношення діаметрів не надавало необхідну точність вимірювання та вантажопідйомність.

Тому в ході дослідження було зміщено ежекторні сопла на відстань $\Delta = 0.25$ мм, від поверхні корпусу, для забезпечення більшої точності вимірювання, вантажопідймальності та лійнінності характеристики, а також інше відношення діаметрів сопел $d_e/d_c^2 (0.5/79)$ (рисунок 3.3 г, д, е).

Оскільки конструкції в яких розміщення сопел перпендикулярно відносно корпусу, показали кращі характеристики, було проведено дослідження варіантів конструкцій в яких сопла були розташовані на різній відстані h_2 відносно конічних щілин, а також з виступом Δ відносно поверхні (рисунок 3.9).

При дослідженні характеристик даних конструкцій було визначено що конструкція рисунок 3.9 (в) в результаті, надає кращі характеристики, відповідно більшу вантажопідймальність та більший діапазон вимірювання. Дана конструкція була вибраною для подальшого аналізу, та дослідження.

Також було проведено дослідження впливу діаметру ежекторного сопла. Аналіз цього впливу супроводжувався зміною розміру діаметру сопла, а саме з 0,79 мм. (початкове значення) до 1.00 мм. (рисунок 3.10).

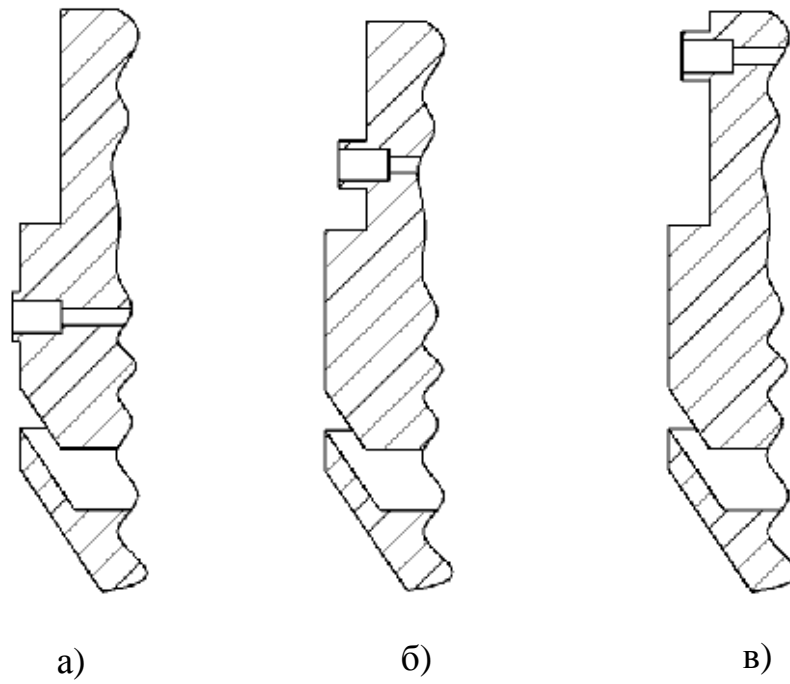


Рис. 3.9 Варіанти конструкцій розміщення сопел розташованих на різній відстані відносно кінцевих щілин

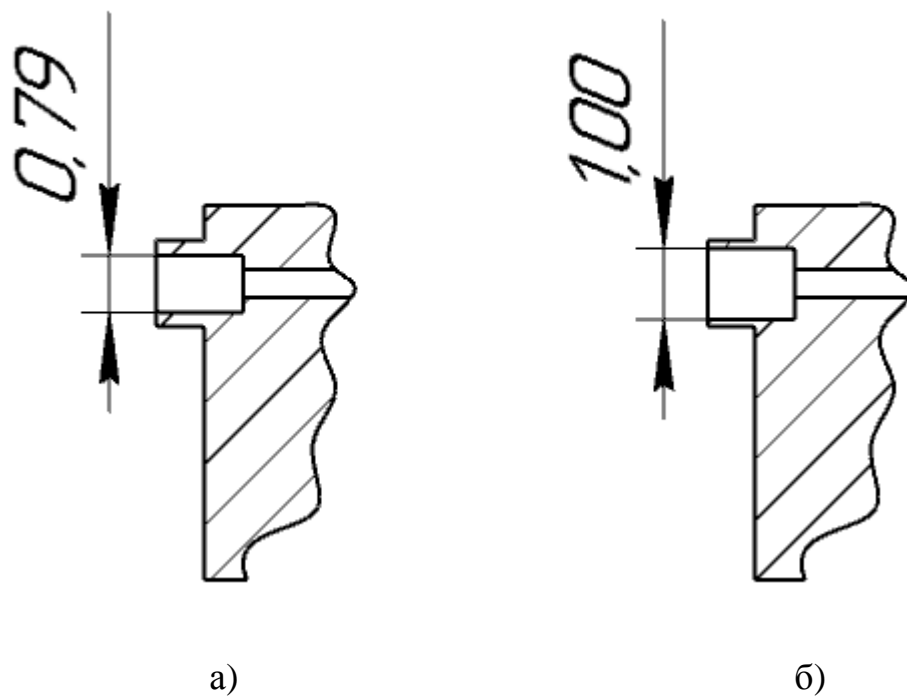


Рис. 3.10 Варіанти ежекторних сопел

Отже, оптимальна конструкція струминного пристрою зображена на рисунку 3.11

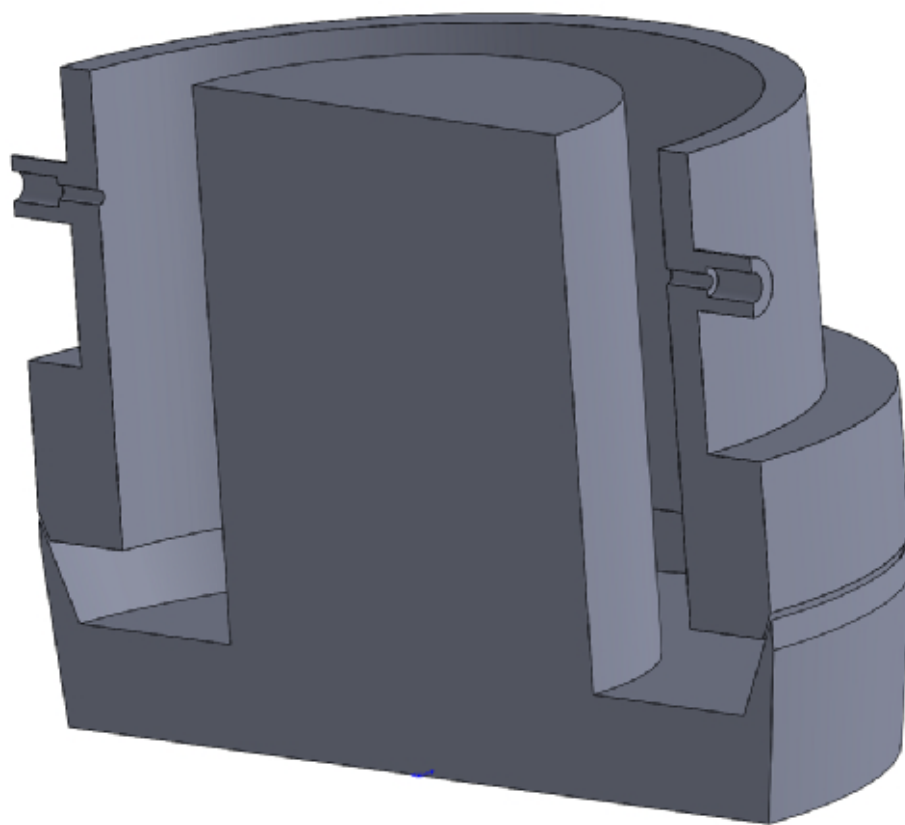


Рис. 3.11 Оптимальна конструкція струминного пристрою.

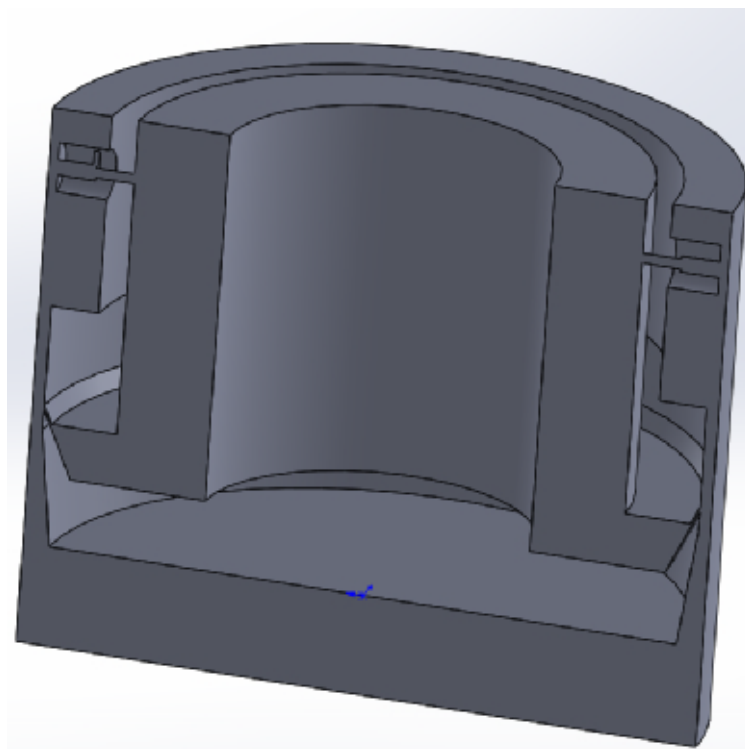
РОЗДІЛ 4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

4.1 Дослідження базової конструкції.

Для вибору оптимальної конструкції струминного захоплювального пристрою який би забезпечував найбільшу вантажопідіймальність та точність вимірювання потрібно провести ряд досліджень.

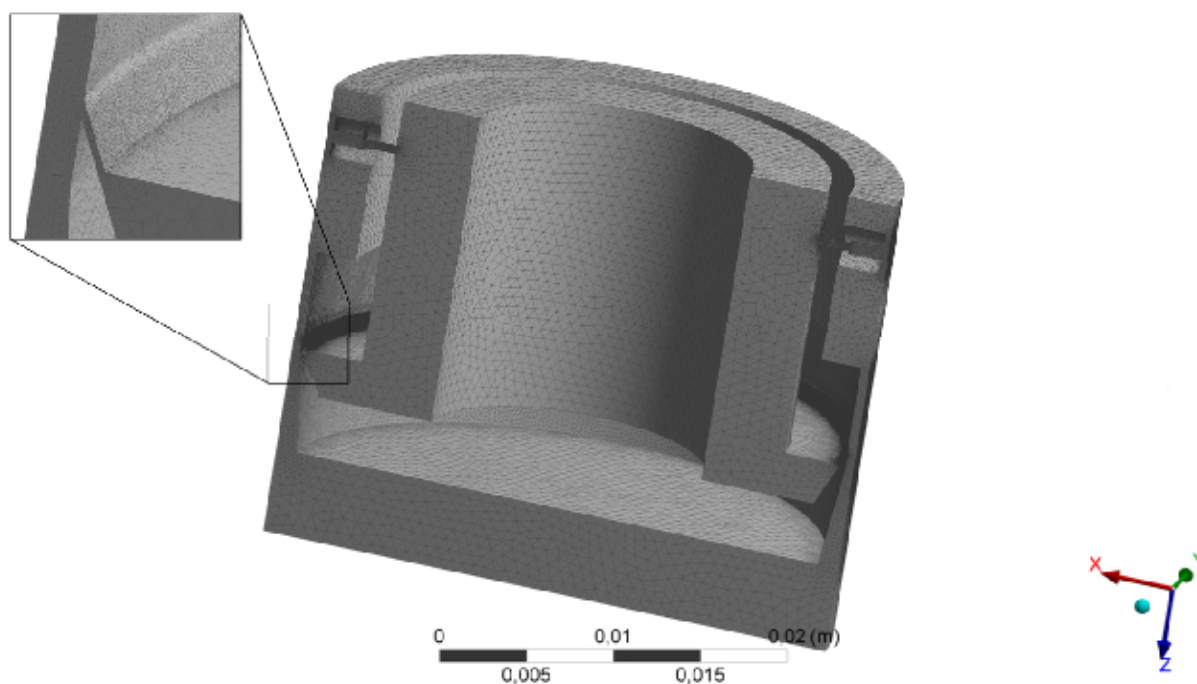
На першому етапі було проведено дослідження базової конструкції струминного захоплювача (рисунок 3.8, а), з використанням пакету Ansys CFX – CFD, який призначений для моделювання течій рідин та газів.

Приклад виконання геометричної моделі об'єкта показаний на рисунку 4.1,а. Модель виконувалася для розрахунку розрідження яке утворюється на дні камери. Сітка будується або в додатку пакету CFX-Mesh або в універсальному сітковому пакеті ANSYS ICEM CFD. У прикладі отримана сіткова модель (рисунок 4.1, б).



а)

Рис. 4.1. Геометрична модель потоків повітря, виконана в SolidWorks (а) та схема кінцево-елементного розбиття розрахункової області



б)

Рис. 4.1. Геометрична модель потоків повітря, виконана в SolidWorks (а) та схема кінцево-елементного розбиття розрахункової області

Далі в препроцесорів визначається «фізика завдання» - задається INLET контур, через який відбувається подача повітря; OUTLET контур, через який повітря виходить; регіони типу SYMMETRY, які відображають симетрію. Контури по черзі виділяються курсором, і на них задаються граничні умови.

На рисунку 4.1(а) геометричної моделі потоків, внутрішня ділянка стає контуром INLET, з тиском на вході 300кПа та температурою 290°К. Контуром OUTLET на моделі стає зовнішня ділянка, для якого задано тиск 0Па та температура 290°К. Задана контур SYMMETRY для зменшення часу обрахунку, оскільки модель є симетричною. Розрахунок проводився з використанням моделі турбулентності – Shear Stress Transport, модель турбулентного переходу (Transition Turbolence) – Gamma Theta Model. Після

задання граничних умов отримана гранична схема розрахунку, яка показана на рисунку 4.2.

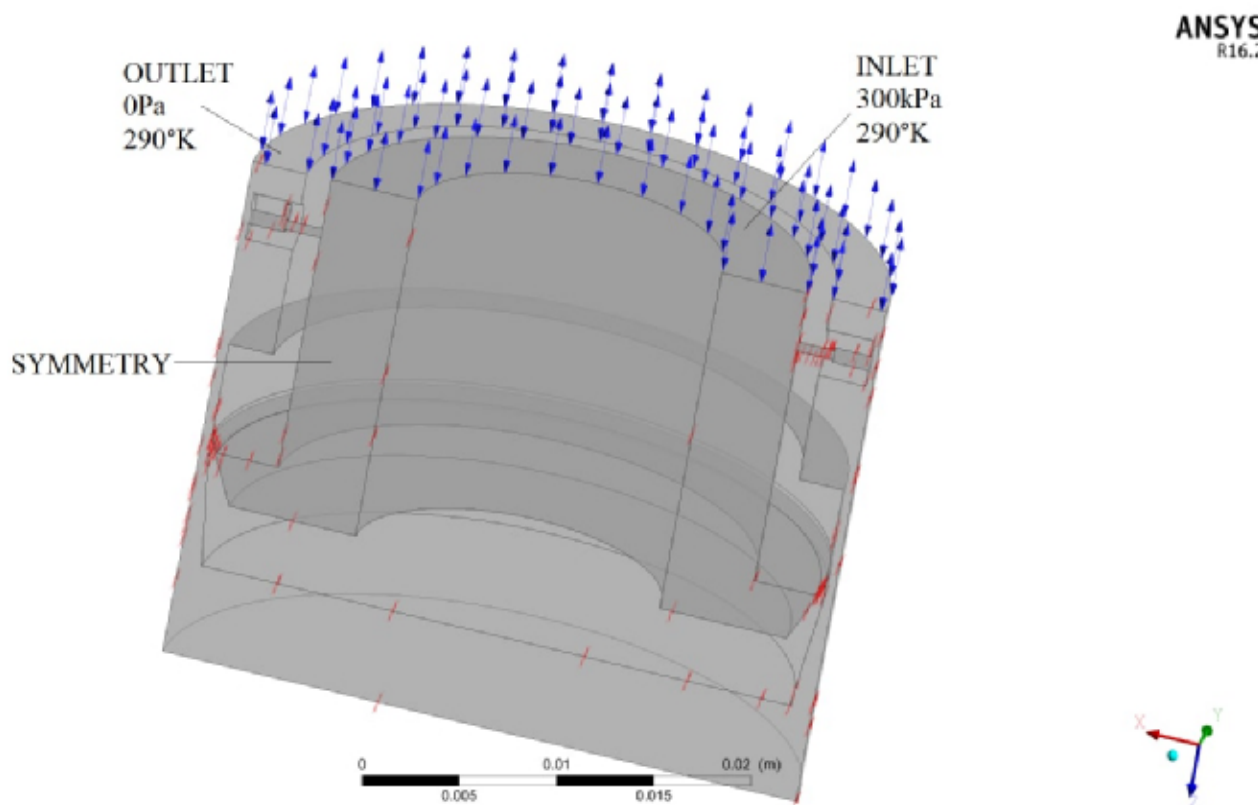


Рис. 4.2. Розрахункова схема моделі після задання граничних умов

Після задання наступних граничних умов (таблиця 1), було отримано наступні результати (рисунок 4.3, 4.4).

Таблиця 1 - Граничні умови

№	Назва умови	Значення умови
1	Температура на вході	290К
2	Температура на виході	290К
3	Вхідний тиск	300 кПа
4	Вихідний тиск	0 Па
5	Модель турбулентності	SST

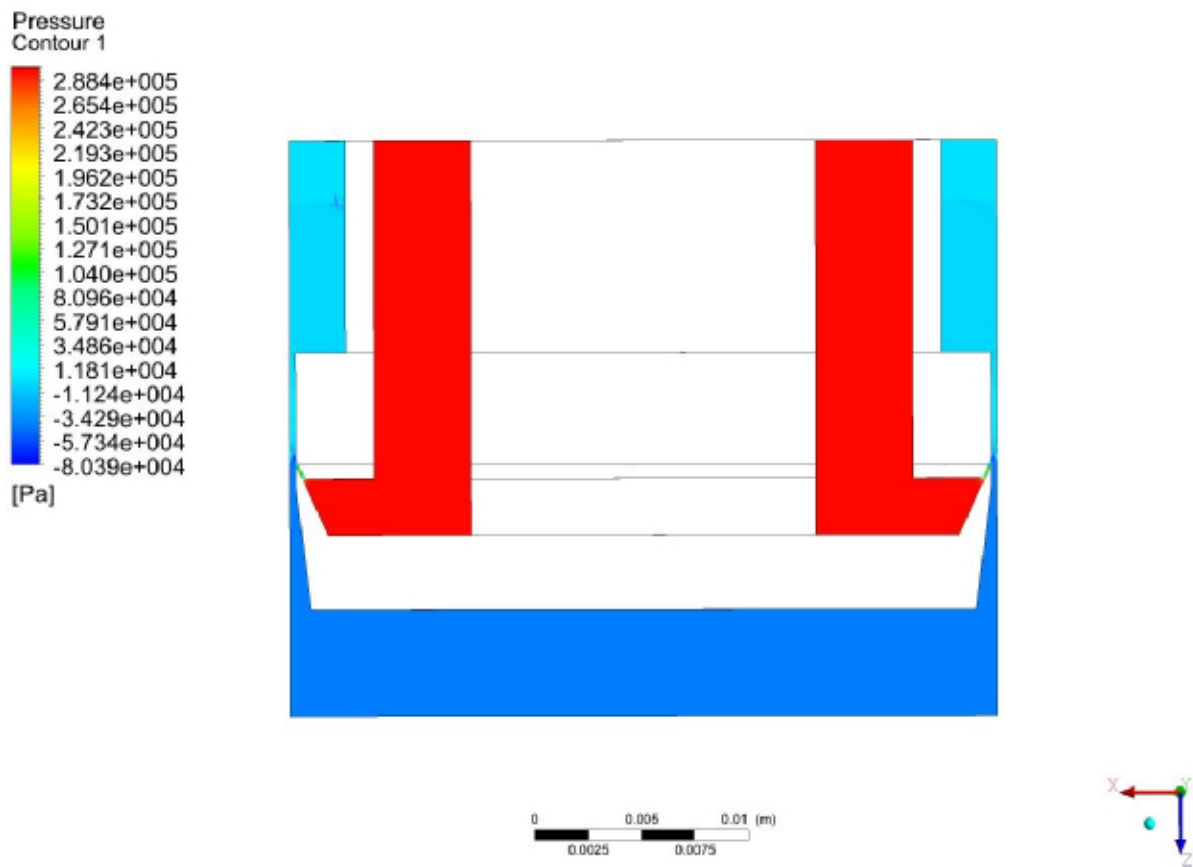


Рис. 4.3 Результати моделювання контурів тиску для базової конструкції.

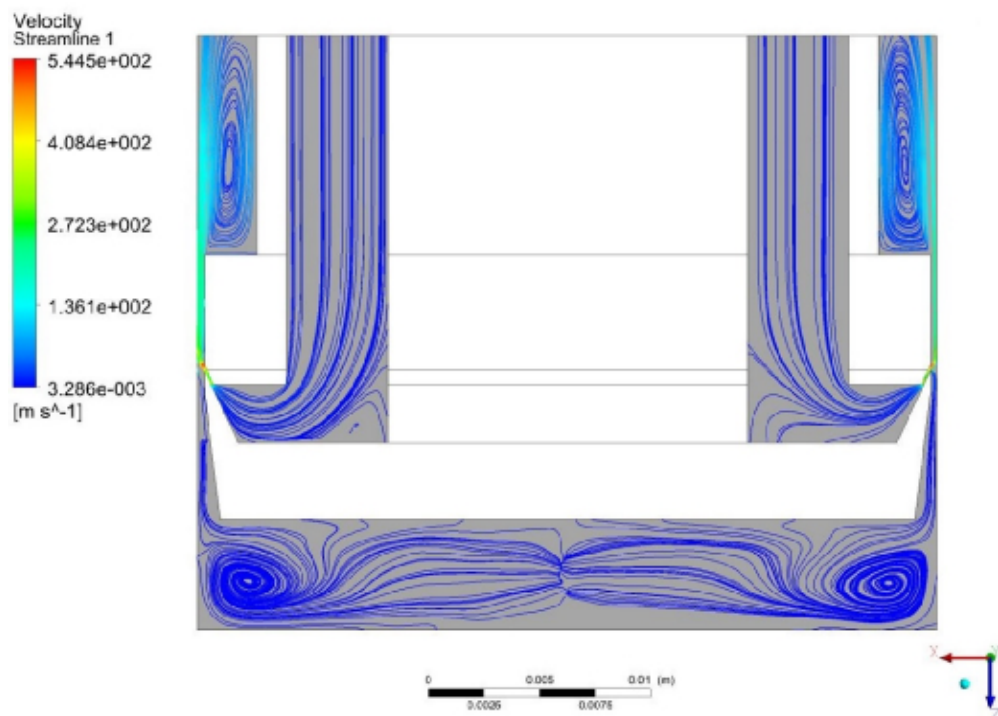


Рис. 4.4 Результати моделювання ліній течії та розподілу швидкостей для базової конструкції

Згідно результатів моделювання, завдяки явищу ежекції на торці захоплювального пристрою (в порожнині між захоплювачем та об'єктом маніпулювання) утворене розрідження. Тому дана конструкція буде використана в якості базової для модернізації.

4.2 Дослідження конструкції з давачами

Наступним етапом можна перейти до впровадження ежекторних сопел. В результаті було отримано варіант конструкції зображений на рисунку 3.8 б), при значенні $h_2 = 2,48$ мм. Після моделювання даної конструкції було отримано наступні результати (рисунок 4.5, рисунок 4.6).

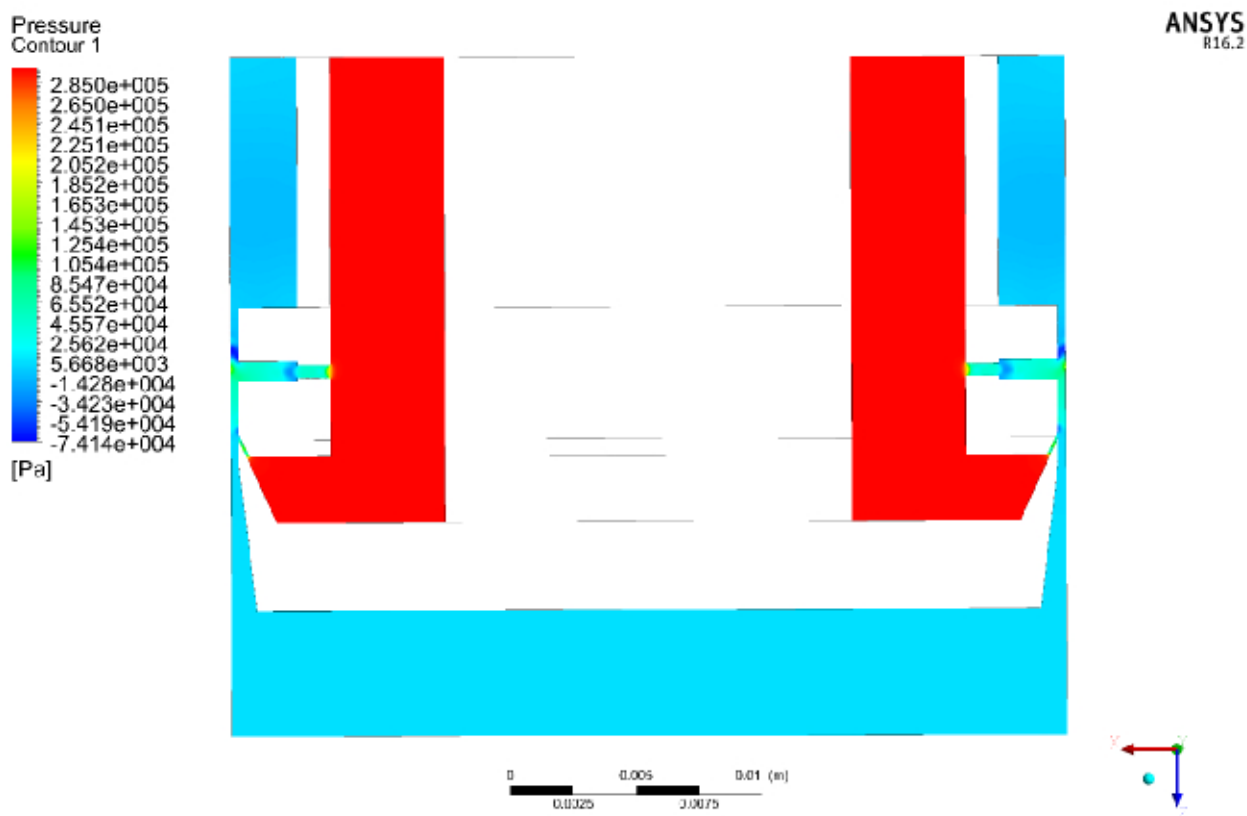


Рис. 4.5 Результати моделювання контурів тиску для конструкції з перпендикулярним вимірювальним соплом

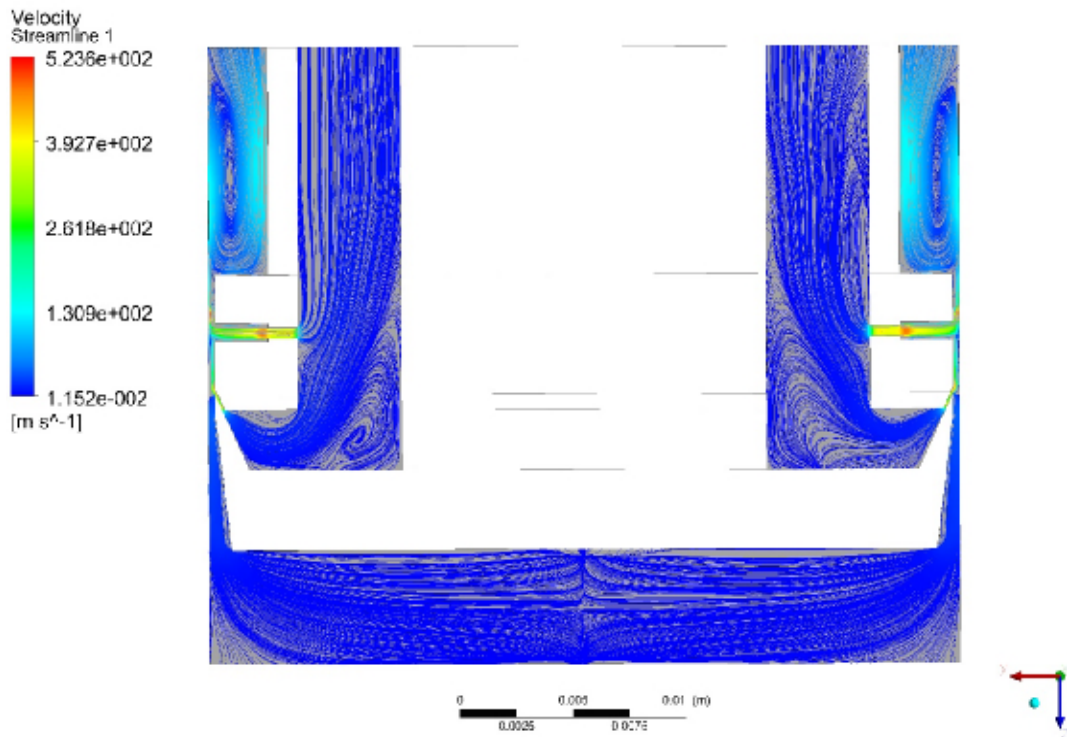


Рис 4.6 Результати моделювання ліній течії та розподілу швидкостей для конструкції з перпендикулярним вимірювальним соплом

Згідно з отриманих результатів можна зробити висновок, що конструкція показала себе гірше в порівнянні з базовою, оскільки при таких самих заданих параметрах (таблиця 1) розрідження на дні камери є меншим.

Тому наступним кроком було вирішено дослідити конструкцію в якій ежекторні сопла розташовуються під кутом 45 градусів відносно осі захоплювача, та $h_2 = 4.23$ мм (рисунок 3.8 в). Результати моделювання зображено на рисунках 4.7 та 4.8.

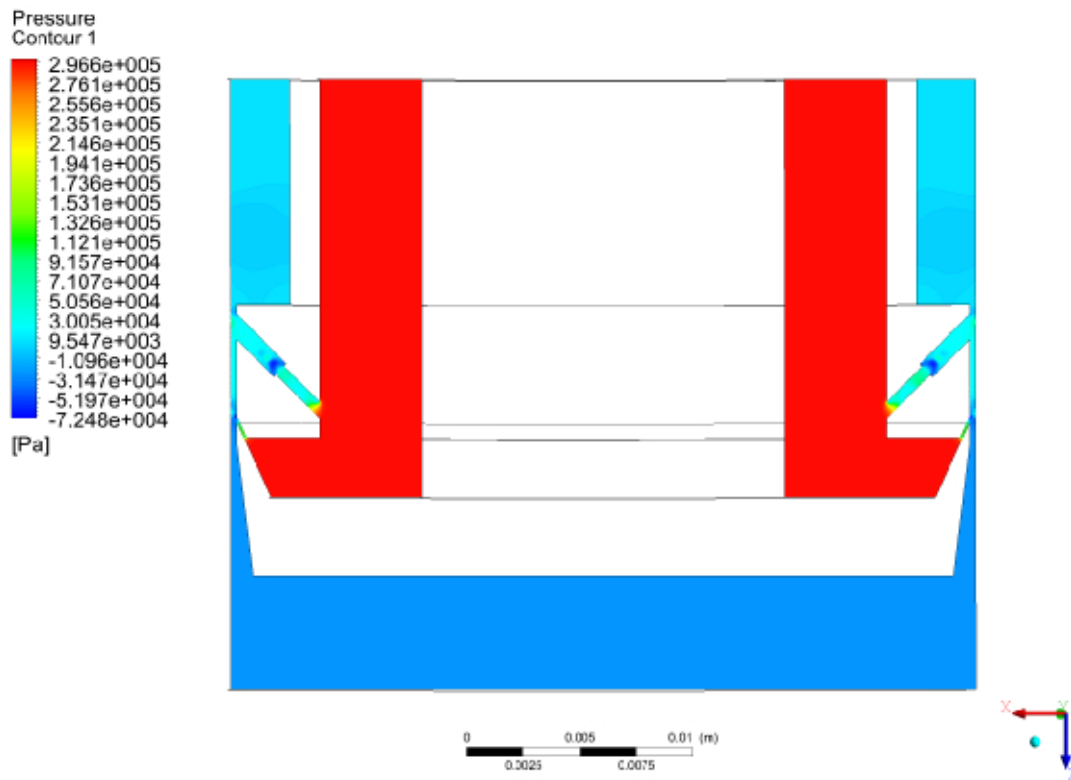


Рис. 4.7 Результати моделювання контурів тиску для конструкції з нахиленим вимірювальним соплом

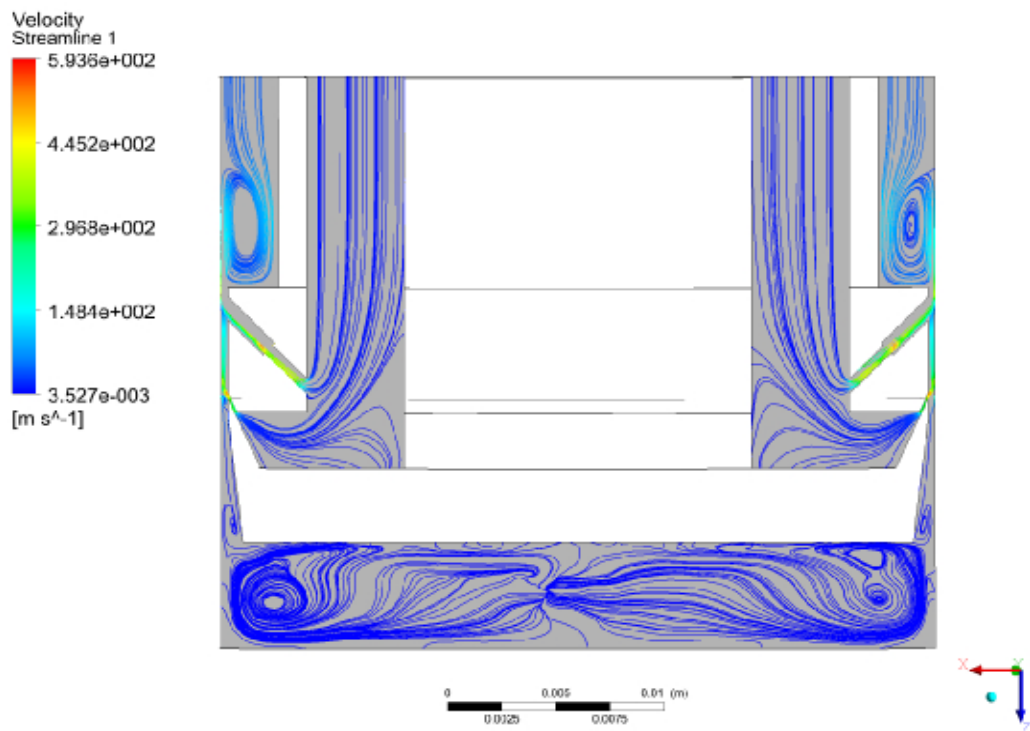


Рис. 4.8 Результати моделювання ліній течії та розподілу швидкостей для конструкції з нахиленим вимірювальним соплом

Проаналізувавши отримані результати та порівнявши їх з результатами моделювання базової конструкції, можна зробити висновок що розрідження в порожнині камери є практично однаковим в порівнянні з базовою конструкцією. Тому було досліджено поведінку даної конструкції при різних умовах, а саме при роботі в діапазоні кільцевого проміжку від $0.2...0.6\text{мм} \pm 0.05\text{мм}$. Характеристика приведена на рисунку 4.9.

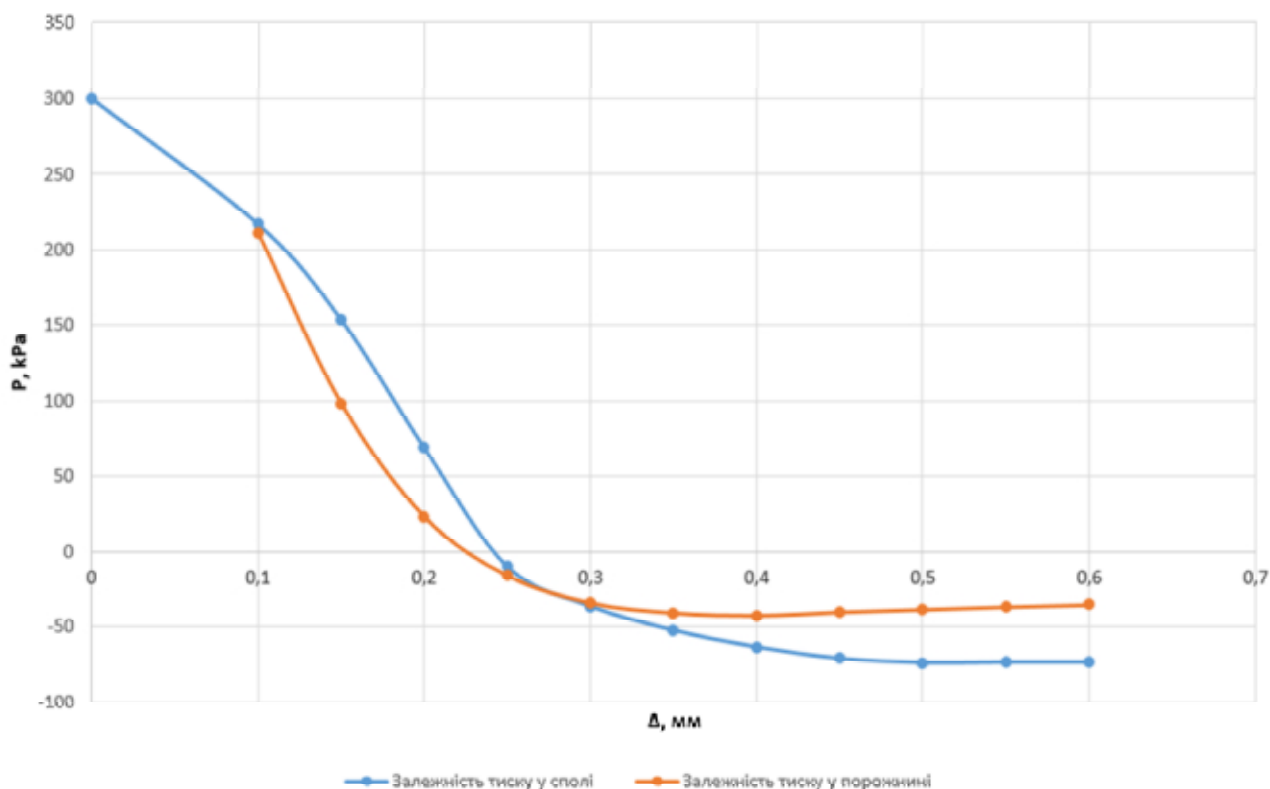


Рис. 4.9 Результати моделювання, щодо впливу концентричного проміжку Δ на значення тиску повітря у вимірювальному соплі та у порожнині об'єкта маніпулювання (конструкція рис. 3.8 в)

Для величини зазору в межах $0,15...0,25\text{мм}$ залежність тиску практично лінійна. Лінійність функції у цій зоні дозволяє проводити вимірювання величини діаметру заготовки з найменшою похибкою. Проте за даним графіком зона лінійності не співпадає з зоною максимального розрідження у порожнині. Тому було висунуто пропозицію виконання ежекторних сопел на заданій відстані від корпусу захоплювача (0.25мм). Варіанти даної конструкції представлені на рисунках 3.8 г, д, е.

Було проведено дослідження даних конструкцій, результати яких представлені на рисунках 4.10 та 4.11.

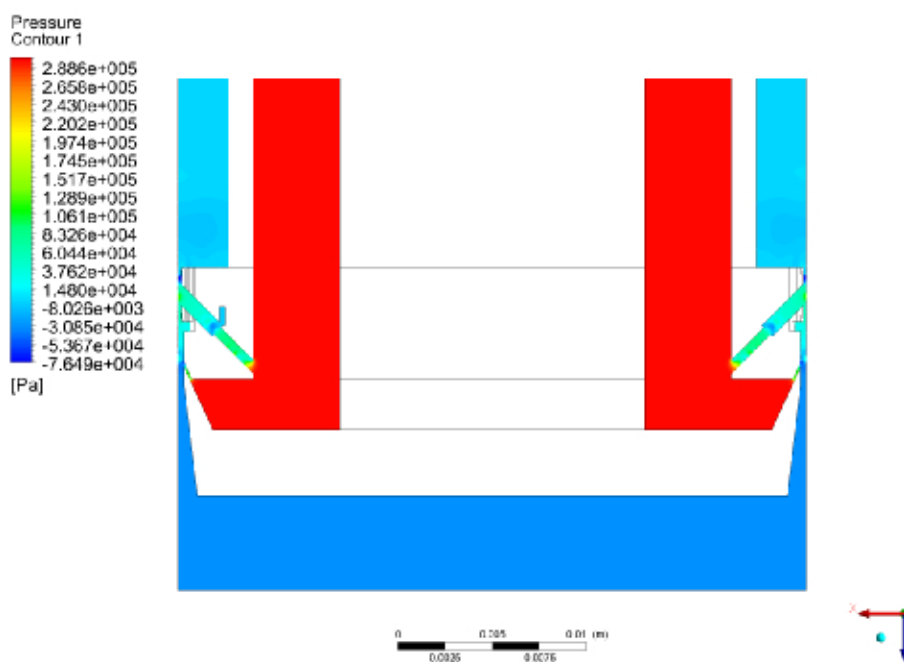


Рис 4.10 Результати моделювання контурів тиску для конструкції з нахиленим вимірювальним соплом та зміщеною його базовою поверхнею

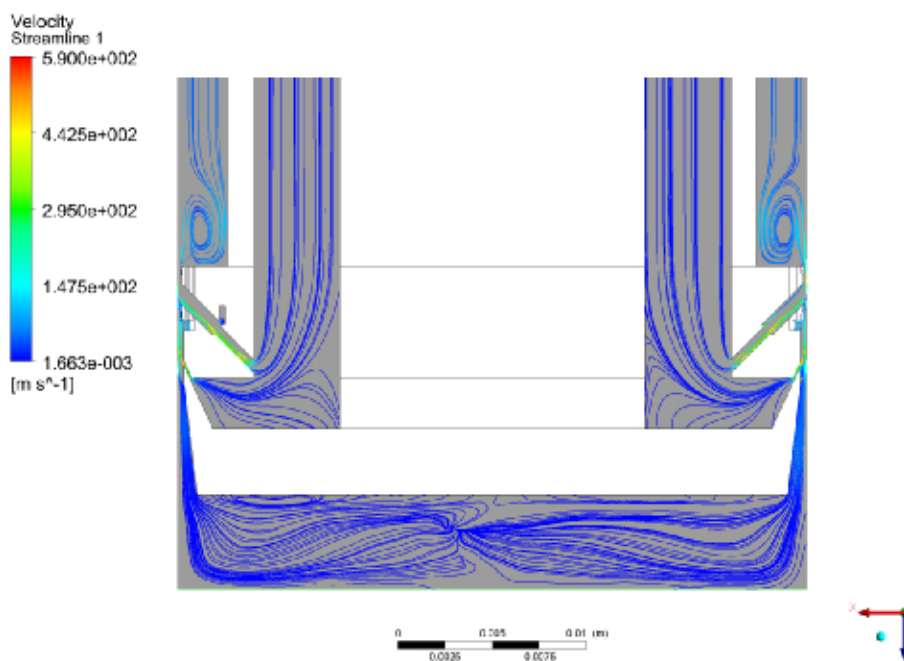


Рис 4.11 Результати моделювання ліній течії та розподілу швидкостей для конструкції з нахиленим вимірювальним соплом та зміщеною його базовою поверхнею

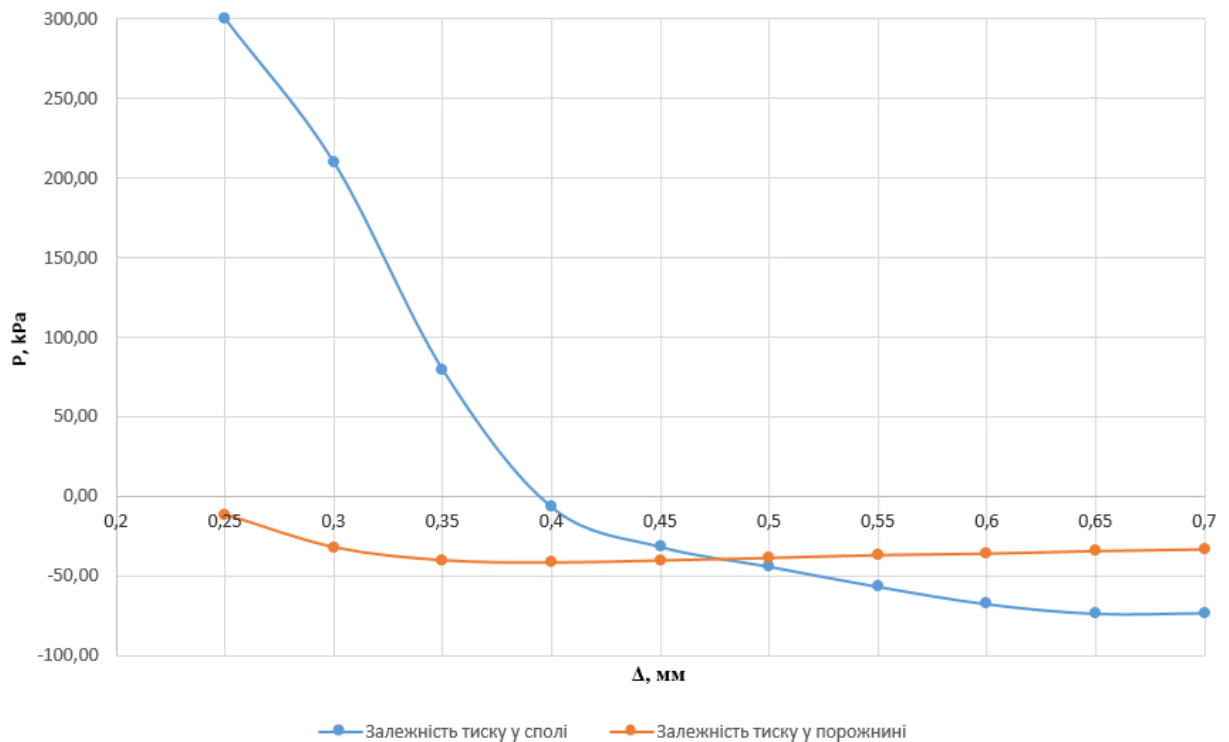


Рис 4.12 Результати моделювання, щодо впливу концентричного проміжку Δ на значення тиску повітря у вимірювальному соплі та у порожнині об'єкта маніпулювання (конструкція рис. 3.8 г)

В даному графіку представлено значення тиску у соплі та на дні порожнини, що утворюється між захоплювачем та об'єктом маніпулювання, в залежності від проміжку який утворюється між зовнішньою поверхнею захоплювача та внутрішньою поверхнею об'єкта.

Зона лінійності спостерігається в діапазоні від 0.3мм до 0.4мм. Максимальне розрідження утворилось на дні порожнини при зазорі у 0.4мм і дорівнює -41 130 Pa.

Так як згідно отриманих результатів зона лінійності в даному випадку спостерігається в проміжку від 0.3мм до 0.4мм, де сила притягання є меншою, у порівнянні з максимальною величиною, дана конструкція не є оптимальною. Тому в наступному етапі дослідження ми досліджували характеристики конструкції на рисунках 4.13 та 4.14 при $h_2 = 3,7$ мм.

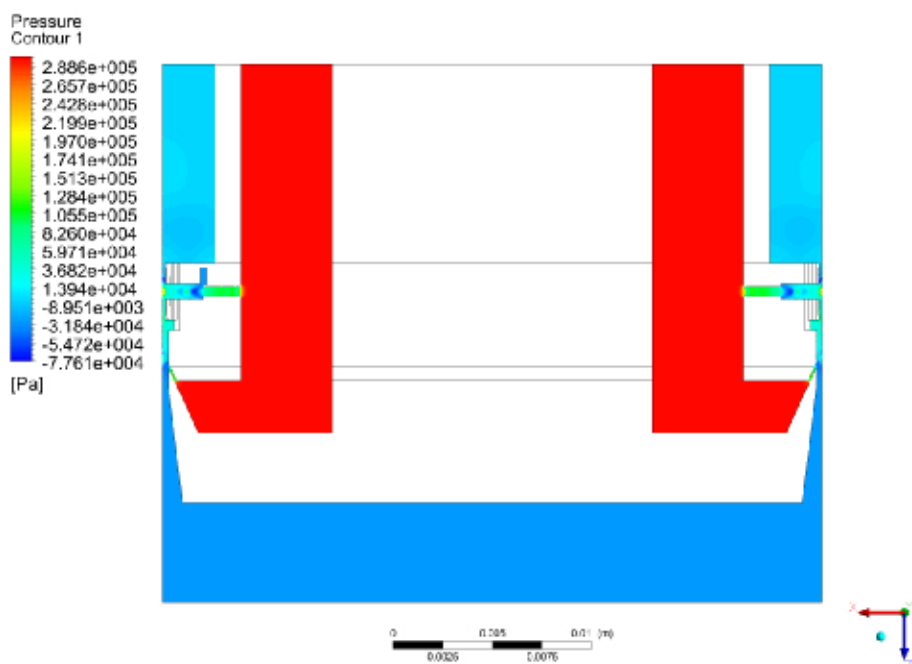


Рис 4.13 Результати моделювання контурів тиску для конструкції з перпендикулярним вимірювальним соплом та зміщеною його базовою поверхнею

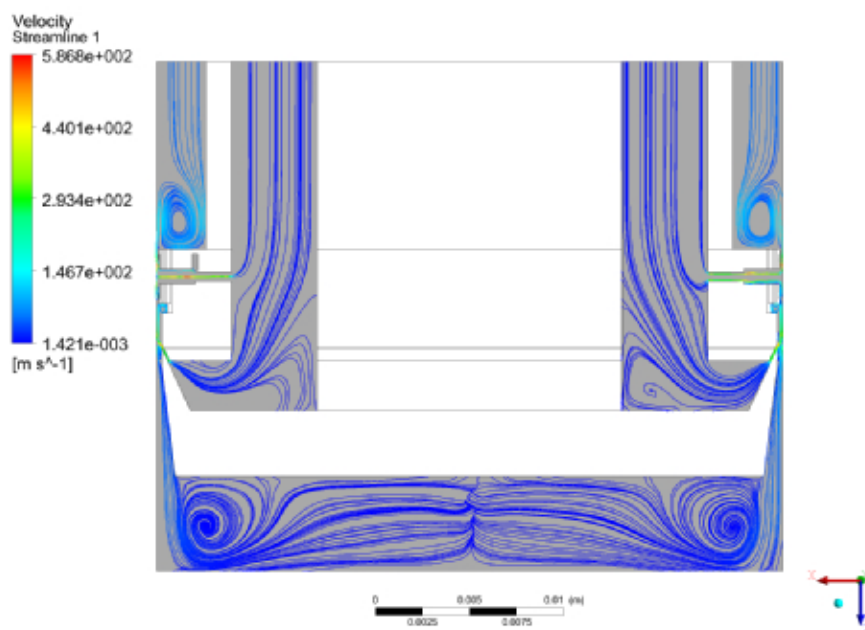


Рис 4.14 Результати моделювання ліній течії та розподілу швидкостей для конструкції з перпендикулярним вимірювальним соплом та зміщеною його базовою поверхнею

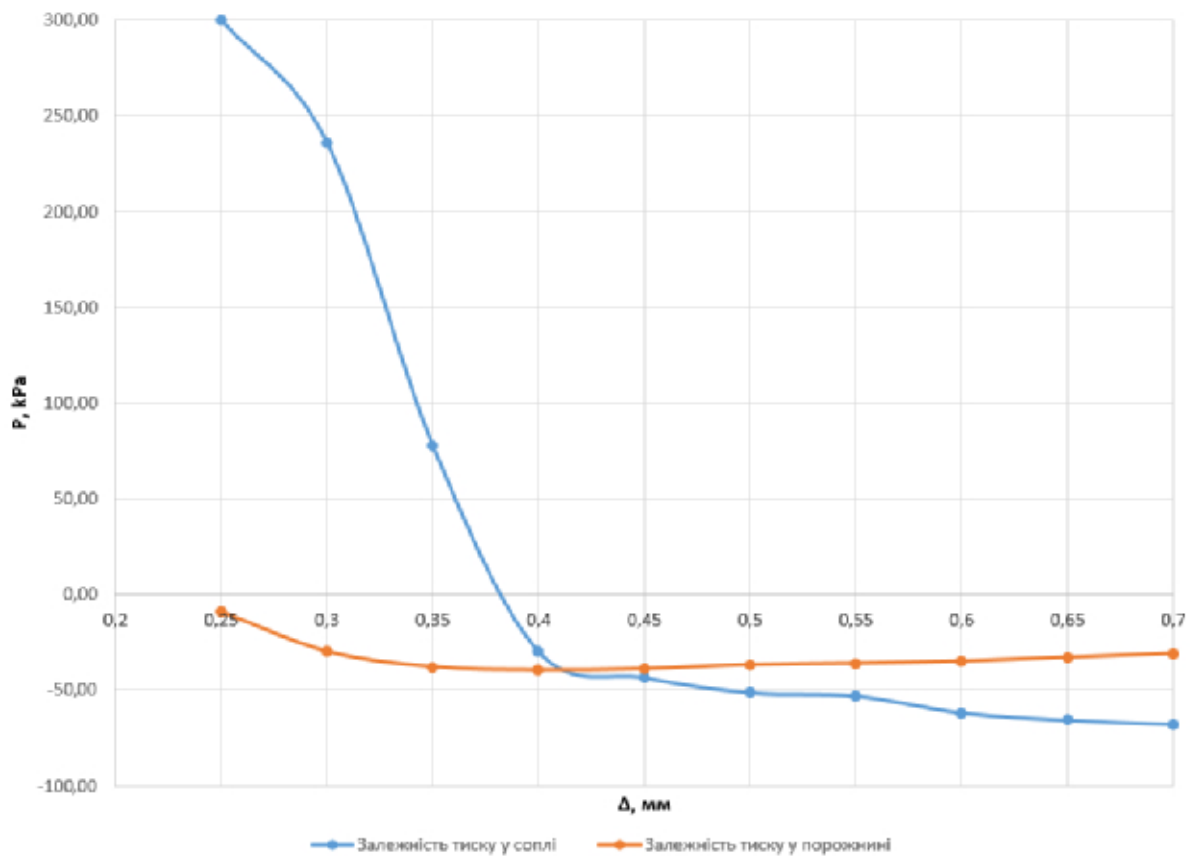


Рис. 4.15 Результати моделювання, щодо впливу концентричного проміжку Δ на значення тиску повітря у вимірювальному соплі та у порожнині об'єкта маніпулювання (конструкція рис. 3.8 г)

Після отримання результатів моделювання, для даної конструкції також був складений графік характеристики. У даному випадку, спостерігається лінійність у діапазоні 0,3...0,4мм, що майже сходиться з зоною максимального розрідження яке становить -39441 Pa.

Наступним об'єктом дослідження було вибрано конструкцію (рисунок 3.8 е) в якій ежекторні сопла розташовувались вище конічних отворів на 12,14

мм. В результаті моделювання в програмному пакеті Ansys було отримано наступні результати (рисунок 4.16 та 4.17).

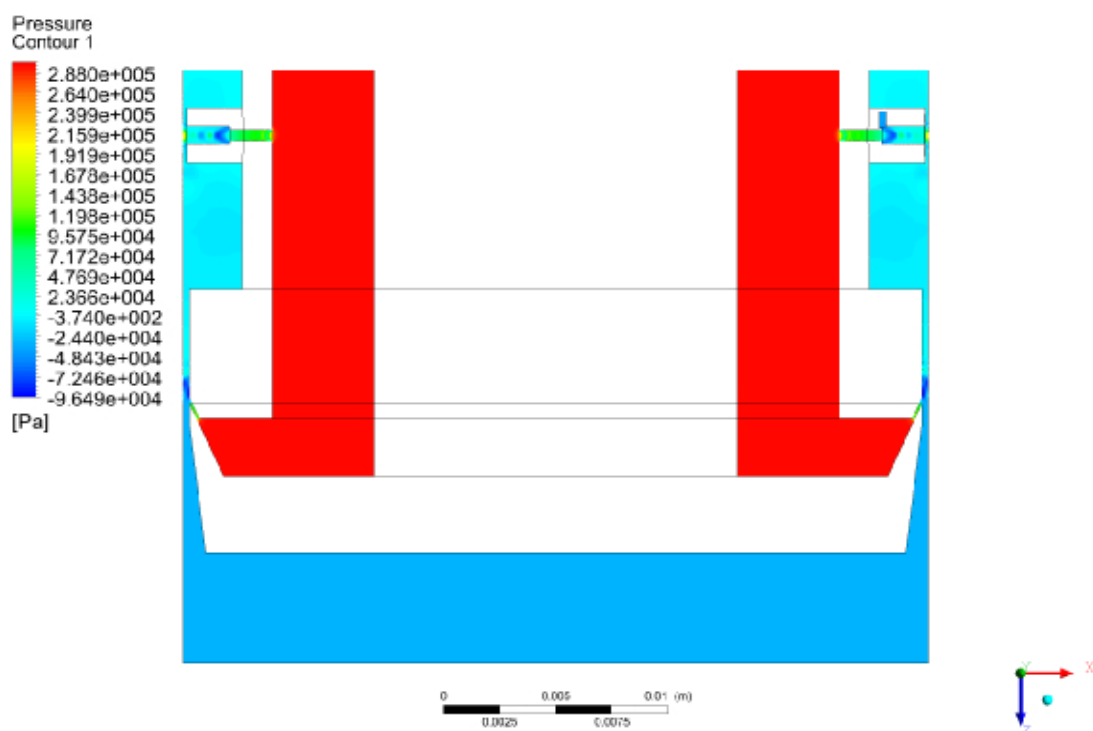


Рис. 4.16 Результати моделювання контурів тиску для конструкції з перпендикулярним виміррювальним соплом та зміщеною його віссю відносно активної поверхні захоплювача

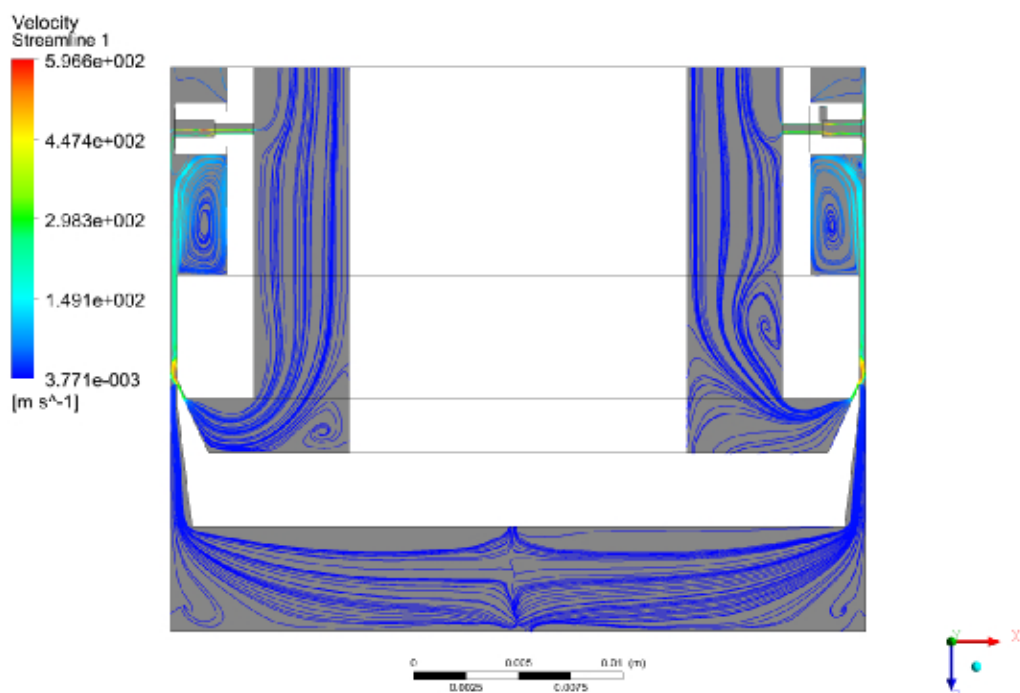


Рис. 4.17 Результати моделювання ліній течії та розподілу швидкостей для конструкції з перпендикулярним вимірювальним соплом та зміщеною його віссю відносно активної поверхні захоплювача

Так як розрахунки проводились знову ж таки при різних значеннях кільцевого проміжку (0.25 - 0.6), було складено наступну характеристику (рисунок 4.18):

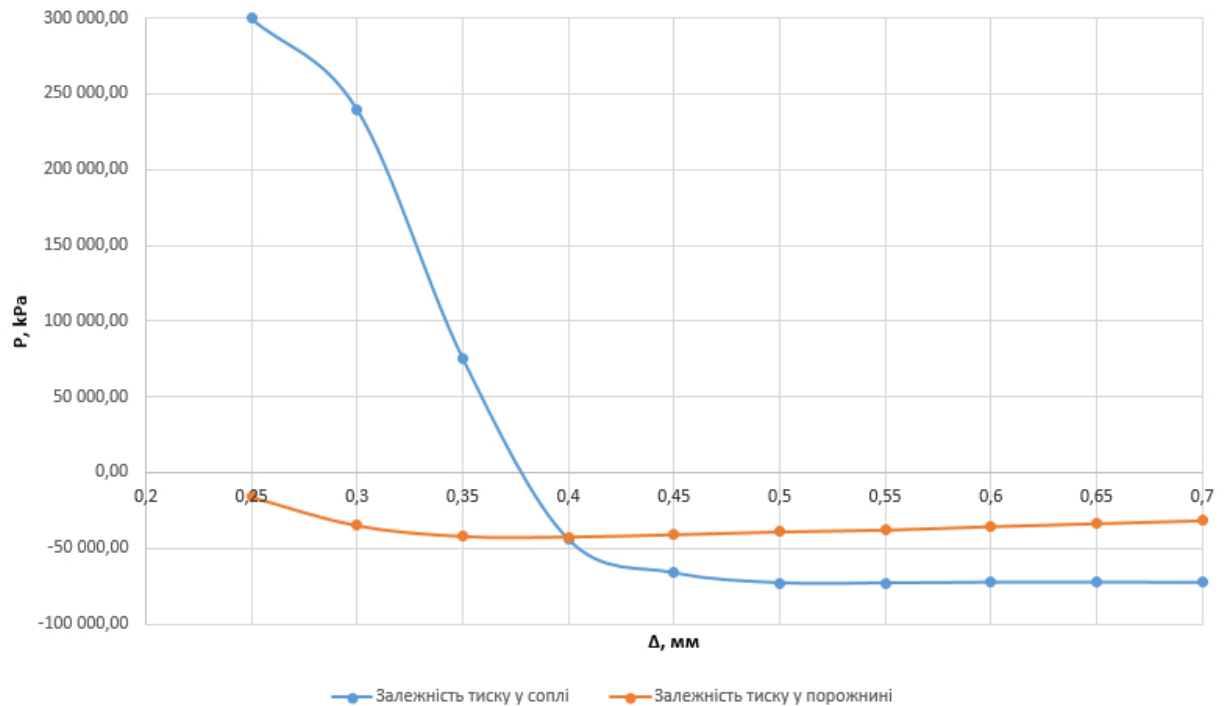


Рис 4.18 Результати моделювання, щодо впливу концентричного проміжку Δ на значення тиску повітря у вимірювальному соплі та у порожнині об'єкта маніпулювання (конструкція рис. 3.2 е)

Проаналізувавши графік на рисунку 4.18, розташування в даній конструкції ежекторних давачів вище конструктивного переходу, збільшує силу притягання, яка в результаті становить $-42\,633\text{ Pa}$, при величині проміжку 0.4мм. В даному випадку зона лінійності практично така ж як на рисунку 4.9, і також співпадає з зоною найбільшого розрідження, проте більша величина розрідження робить дану конструкцію оптимальнішою. Так як більше розрідження викликає більшу силу притягання, визначимо для даної

конструкції захоплювача, силу вантажопідіймальності яка розраховується за формулою:

$$F_{en} = P_p \cdot S_{om} \quad (4.1)$$

де P_p – величина розрідження в Па, S_{om} – площа поверхні об'єкта маніпулювання. Так як дослідження проводилось з циліндричним стаканом з глухим отвором, який виступає об'єктом маніпулювання, площа його поверхні буде дорівнювати площині дна. Після перетворення функція 4.2 набуде вигляду:

$$F_{en} = P_p \cdot 1/4\pi d^2,$$

де d – діаметр внутрішньої круглої поверхні об'єкта маніпулювання, з рисунку $d = 33,42$ мм, що в системі СІ $0,03342$ м.

$$F_{en} = 42633 \cdot 0,0009181674 \approx 37,7 \text{ Н.}$$

Отже сила вантажопідіймальності струминного захоплювача даної конструкції складає $37,7$ Н.

В якості експерименту було вирішено виконати моделювання при іншому співвідношенні переходу на давачах у відношенні $1/2$ (рисунок 3.10 б), у порівнянні з даним - d_c/d_c^2 ($0.5/79$) (рисунок 3.10 а).

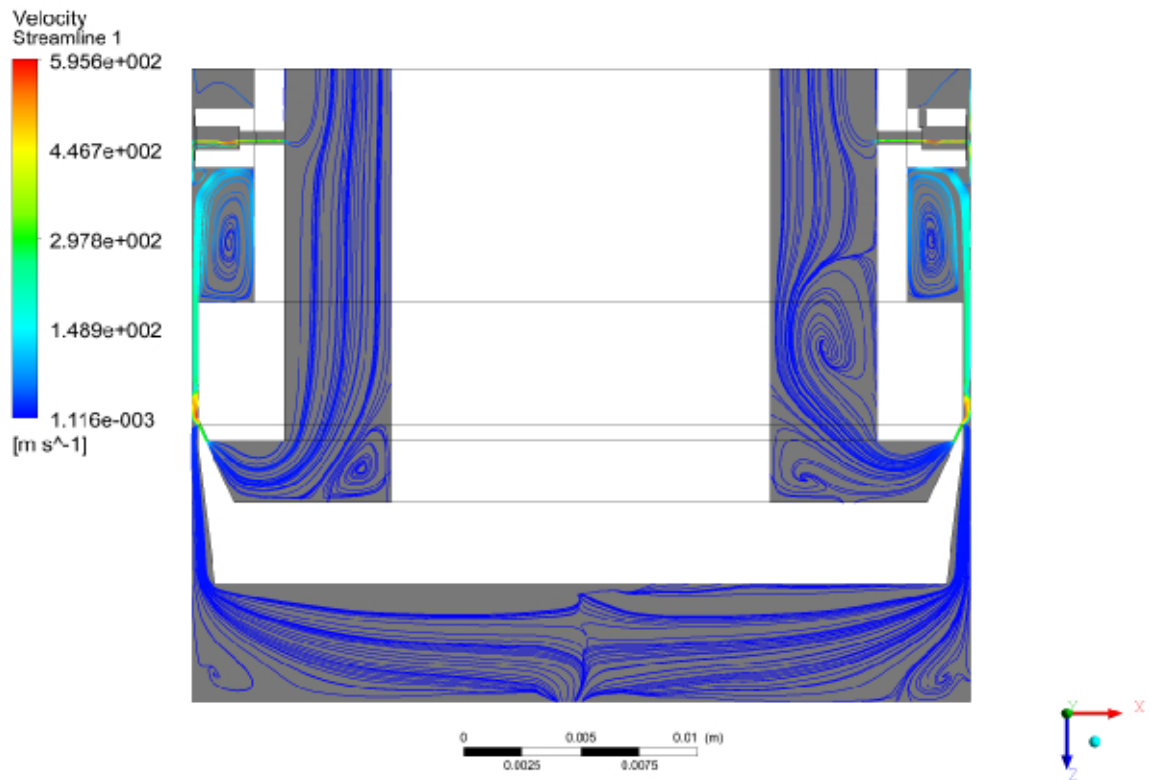


Рис 4.19 Результати моделювання швидкості потоку (конструкція 3.8 е) при співвідношенні $\frac{1}{2}$.

В результаті було отримано характеристику зображену на рисунку 4.18. В результаті максимальне значення розрідження складає -42605 Pa, що є меншим ніж при початковому відношенні діаметрів сопел 0.5/0.79 (-42 663 Pa).

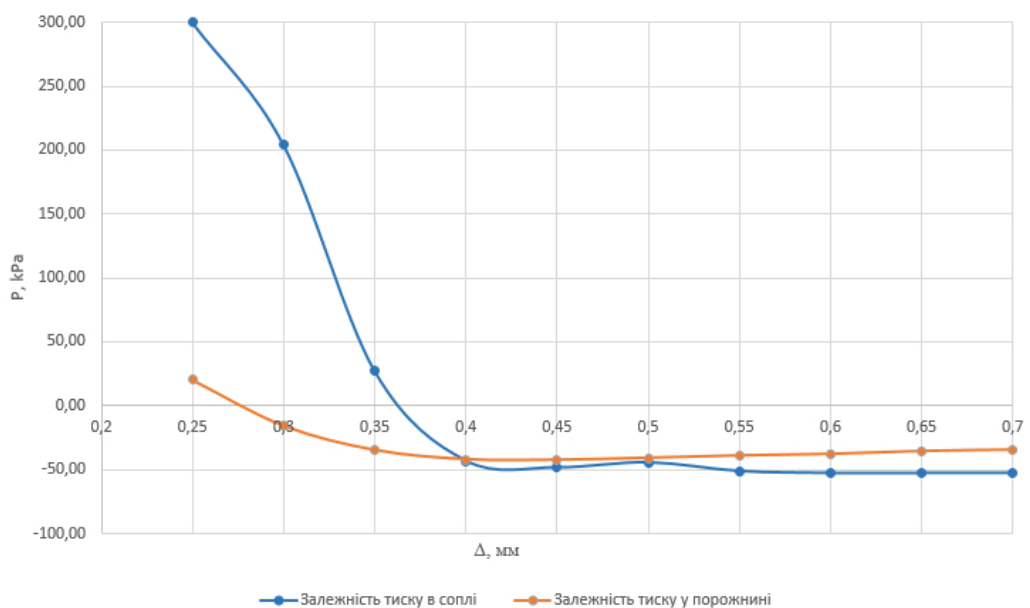


Рис 4.20 Результати моделювання, щодо впливу концентричного проміжку Δ на значення тиску повітря у вимірювальному соплі та у порожнині об'єкта маніпулювання (конструкція рис. 4.19)

Так як конструкція з виконанням ежекторних сопел, зображених на рисунку 3.10(а), показує кращі характеристики, а саме більшу величину розрідження на дні порожнини, та більший діапазон лінійності, який співпадає з зоною найбільшого розрідження цим саме забезпечує більшу точність вимірювання, то дана конструкція рисунок 3.10(б) вибрана в якості найоптимальнішої.

РОЗДІЛ 5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Програмне середовище ANSYS

В даний час інженерні завдання стають все більш складними і комплексними, зачіпаючи одночасно кілька розділів фізики. Наприклад, при вирішенні завдання акустичного удару або теплового аналізу роботи двигуна вже не обійтися аналітичними формулами або вузькоспеціалізованими програмами. В такому випадку необхідно вдатися до допомоги більш серйозних і сучасних програмних комплексів.

ANSYS - універсальна програмна система кінцево-елементного (КЕ) аналізу, яка існує і розвивається на протязі останніх 30 років, є досить популярною у фахівців в сфері автоматичних інженерних розрахунків (CAE, Computer-Aided Engineering) і КЕ рішення лінійних і нелінійних, стаціонарних

і нестационарних просторових задач механіки деформованого твердого тіла і механіки конструкцій (включаючи нестационарні геометрично і фізично нелінійні задачі контактної взаємодії елементів конструкцій), завдань механіки рідини і газу, теплопередачі і теплообміну, електродинаміки, акустики, а також механіки зв'язаних полів. Моделювання та аналіз в деяких областях промисловості дозволяє уникнути дорогих і тривалих циклів розробки типу «проектування - виготовлення - випробування». Система працює на основі ядра Parasolid.[15]

Parasolid – це комерційне ядро геометричного моделювання, яке розроблюється і підтримується Siemens PLM Software.

Ядро Parasolid призначене для математичного представлення тривимірної форми виробу і управління цією моделлю. Отримані з його допомогою геометричні дані використовуються CAD системами, технологічної підготовки виробництва (CAM) та інженерного аналізу (CAE) при розробці конструктивних елементів, деталей і збірок.

Програмна система KE аналізу ANSYS розробляється американською компанією Ansys Inc. Компанія також випустила інші системи KE моделювання, в тому числі DesignSpace, AI Solutions (NASTRAN, ICEM CFD); призначені для використання в більш специфічних галузях виробництва.

В якості стратегічного партнера фірма співпрацює з багатьма компаніями, допомагаючи їм провести необхідні зміни. Пропоновані фірмою Ansys Inc. засоби чисельного моделювання та аналізу сумісні з деякими іншими пакетами, працюють на різних ОС. Програмна система ANSYS чудово працює з відомими CAD -системами Unigraphics, CATIA, Pro / ENGINEER, SolidEdge, SolidWorks, Autodesk Inventor і деякими іншими.

Програмна система ANSYS є досить відомою CAE-системою, яка використовується на таких відомих підприємствах, як ABB, BMW, Boeing, Caterpillar, Daimler-Chrysler, Exxon, FIAT, Ford, БелАЗ, General Electric, Lockheed Martin, MeyerWerft, Mitsubishi, Siemens, Shell, Volkswagen-Audi та

ін., а також застосовується на багатьох провідних підприємствах промисловості України. [16]

Продукт Mechanical, дозволяє вирішити практично будь-яке завдання механіки деформованого твердого тіла або отримати поєднане рішення задачі механіки з вирішенням завдань інших областей фізики, наприклад гідрогазодинаміки, теплопереносу або електромагнетизму. Даний продукт пропонує можливість створення єдиної фундаментальної (мультифізичної) матриці взаємодії полів, підтримуючи акустичний, п'єзоелектричний, термостійкий і термоелектричний типи аналізу. Подібні розрахунки допомагають інженеру краще оцінити реакцію їх моделей на різні комбінації явищ.

Особливості розрахункового процесу

Рішення задач в ANSYS CFX проводиться аналогічно рішенням завдань в ANSYS Multiphysics і проходить ряд стадій (етапів), показаних на рисунку 5.1. Геометрія об'єкта повинна створюватися в сторонній CAD-системі, дана незручність компенсується великими можливостями програми з експорту та імпорту даних. Наприклад, зручно виконувати геометричні моделі об'єктів в програмі «SolidWorks», зберігати їх у форматі Parasolid і експортувати в програму ANSYS CFX.

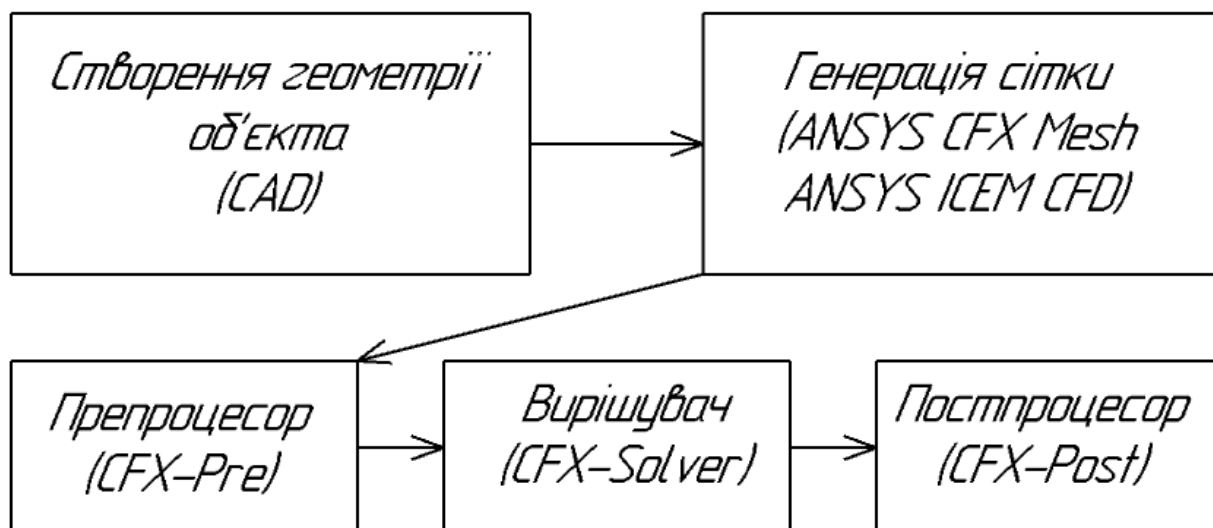
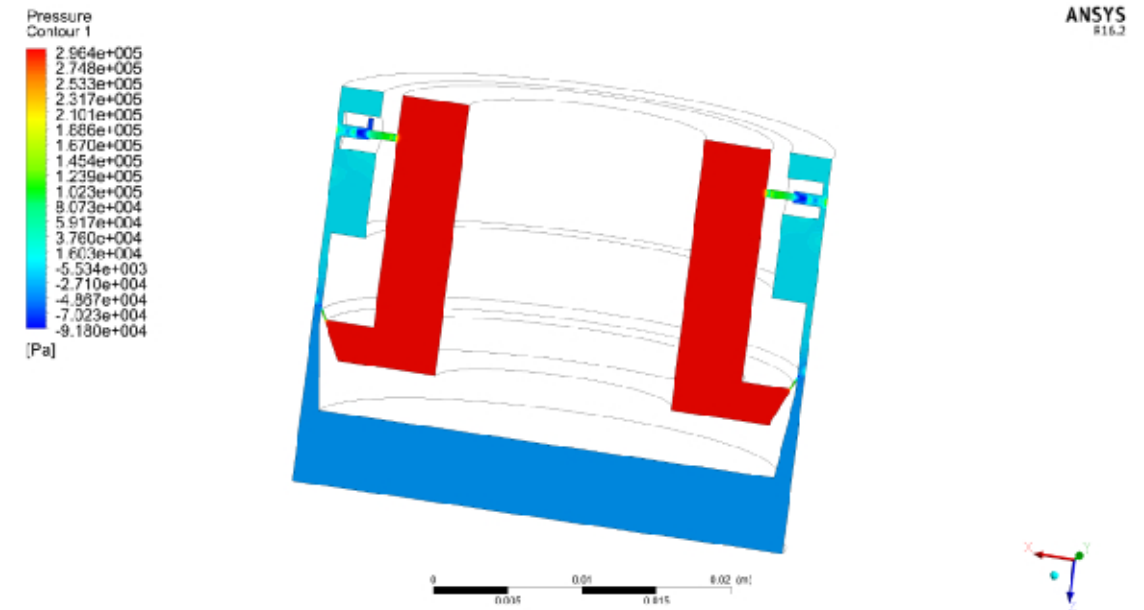
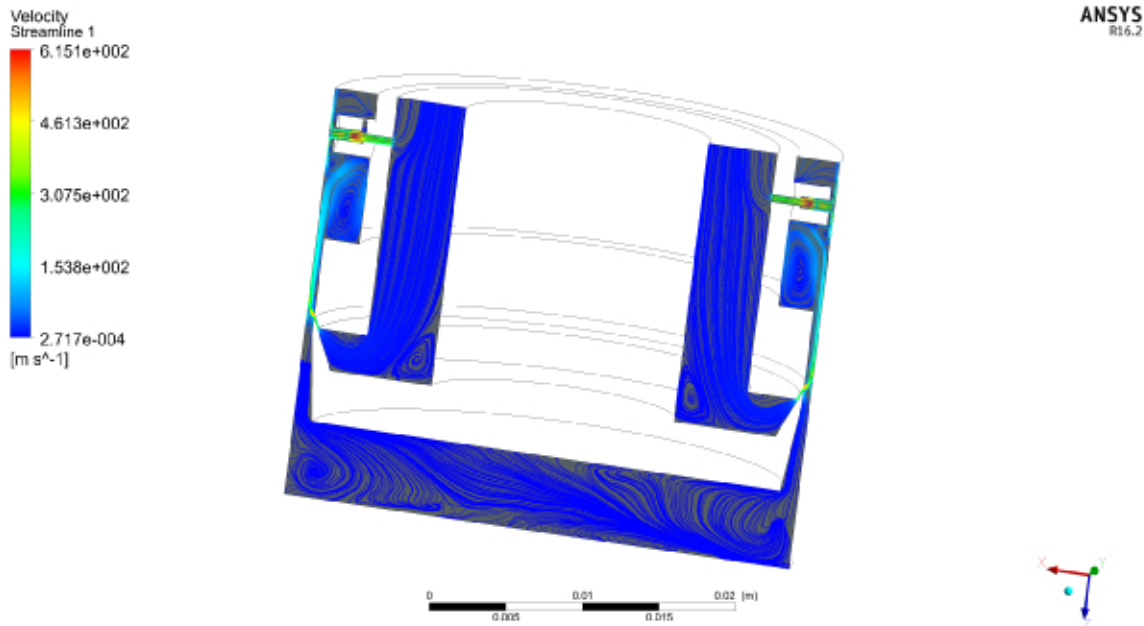


Рис.5.1 Послідовність виконання задач в ANSYS CFX

Результат моделювання приведено на рисунках 5.2.



a)



б)

Рис.5.4 Результати розрахунку тиску (а) та швидкості (б) потоку.

Програми які використовуються при розрахунках в ANSYS CFX

При проведенні інженерних аналізів часто доводиться використовувати кілька програмних продуктів. Деякі з програм, що використовуються в розрахунках ANSYS CFX, вказані на рисунку 5.1. У тому числі використовуються CAD-пакети для створення геометричної моделі, препроцесор зі спеціальними програмами, які генерують кінцево-елементну сітку і організують завдання граничних умов, вирішувач і постпроцесор для відображення результатів розрахунку. Якщо програмні продукти самостійні, то доводиться організувати передачу даних між ними. Рішення багатьох задач різко ускладнюється, особливо при вирішенні задач параметричного аналізу і оптимізації.

Інтеграцію програм і додатків в єдиний розрахунковий комплекс здійснює спеціально розроблена компанією ANSYS платформа ANSYS WorkBench. Платформа об'єднує графічний інтерфейс додатків і забезпечує їх роботу з базами даних в рамках одного проекту. Наприклад, для роботи з геометрією, генерації розрахункової сітки, вирішення завдань оптимізації. ANSYS Workbench включає кілька спеціалізованих модулів, таких як ANSYS DesignModeler, ANSYS Meshing і ANSYS DesignXplorer. Це дозволяє створювати, пов'язувати, проводити повторно розрахунки в ANSYS CFX або ANSYS FLUENT, проводити параметричні дослідження, легко вибирати тип аналізу. Концепція розрахунку багатодисциплінарних завдань в єдиній робочій платформі з підтримкою зв'язку з CAD-системою унікальна і не має аналогів в інших програмних продуктах.

Програмне середовище ANSYS Workbench Simulation має низку переваг, одне з яких - параметризація на основі ядра Parasolid. Ця можливість відсутня при використанні класичного препостпроцесора ANSYS. Відповідно з'являється можливість двобічної інтеграції з CAD системами та суміщення розрахунків інженерного аналізу з розрахунками по оптимізації конструкції.

ANSYS Workbench Simulation несе і деякі додаткові функції. Одна з них - можливість розробки шаблону звітної документації відповідно до деякого заданим стандартом.

Модулі підготовки геометрії, що працюють під програмною платформою ANSYS DesignModeler

DesignModeler - універсальний CAD-редактор, в якому можуть створюватися геометричні моделі об'єктів, проводиться їх розбиття і спрощення. Як і в інших редакторах, в DesignModeler підтримуються всі логічні операції (віднімання, об'єднання) при роботі з твердими тілами, операції видавлювання (extrude), обертання (revolve), протягування (sweep) і ін. При роботі з ескізами (кривими). Є процедури створення фасок і галтелів на гранях твердого тіла, в комплекс вбудовані готові геометричні примітиви стандартних тривимірних фігур: сфера, циліндр, куб тощо.

У своїй основі редактор має ядро Parasolid, яке дозволяє створювати, редагувати і параметризувати геометричні моделі об'єктів. Процес моделювання відображається в деревовидній структурі проекту. Редактор є модулем програми Workbench, який має зв'язки з усіма основними CAD-системами, що забезпечують просту передачу геометрії і параметрів. Параметри в процесі роботи можна змінювати, оновлюючи модель.

ANSYS Meshing

Одним з обов'язкових етапів моделювання є створення сітки. Якість гратчастої моделі впливає на точність, збіжність і швидкість отримання рішення.

ANSYS Meshing дозволяють генерувати сіткові моделі для різних типів аналізу (практично всі галузі фізики). Кожен з сіткових методів задовольняє специфічним вимогам тієї чи іншої області (механіка деформівних твердих тіл, динаміка текучих середовищ, електромагнетизм і ін.), Дозволяє використовувати спрощену постановку задачі (оболонкові, двовимірні і балкові моделі).

ANSYS Meshing це багатофункціональний сітковий препроцесор, який дозволяє автоматично генерувати високоякісні розрахункові сітки для різних додатків: для розрахунків ПДВ, гідрогазодинамічних аналізу та ін.

Автоматизовані інструменти дозволяють швидко побудувати розрахункову сітку для нової геометричної моделі - досить вказати область фізики, і всі необхідні настройки за замовчуванням будуть обрані автоматично. Такий підхід гарантовано дозволяє створювати розрахункову сітку з першої спроби. ANSYS Meshing підтримує двонаправлений параметричний зв'язок з CAD-системами, тому при зміні будь-якого параметра вихідної CAD-геометрії сіткова модель буде автоматично оновлена.

Наявні інструменти для створення сітки під безпосереднім керівництвом користувача. Сіткові технології ANSYS дозволяють вибрати тип елемента або технологію, яка використовує кілька типів елементів одночасно. Користувач самостійно може вказати зони геометричної моделі і відповідні типи елементів, що дозволяє забезпечити високу економічність і адекватність чисельної моделі.

ANSYS ICEM CFD

Цей додаток слід розглядати як розширення можливостей ANSYS Meshing. Воно запускається незалежно від ANSYS Воркбенч DesignModeler для роботи зі складною геометрією об'єктів, для генерації сітки, виправлення дефектів геометричній моделі.

Можна виділити ряд можливостей програмного комплексу ANSYS ICEM CFD, які дають йому переваги перед сітковим препроцесором ANSYS Meshing. Серед них ефективне розбиття великих моделей / збірок; конвертація сітки в різні формати (більше 100) для експорту в CFD- і MCE-комплекси; генерація сітки для моделей з дефектами; побудова високоякісних сіток на основі гексаєдрів (структурованих/неструктурованих); робота при фасеточній геометрії, розривах, накладених поверхнях.

ANSYS ICEM CFD містить розвинені засоби діагностики сітки і різноманітні опції для редагування і поліпшення якості сітки. В ANSYS ICEM CFD вбудований постпроцесор для обробки результатів CFD-розрахунків і препроцесор, що дозволяє на стадії генерації сітки визначити граничні умови, властивості матеріалів і т.д.

Редагування сітки є важливим етапом при створенні якісної сітки, оскільки проблемна сітка може привести до помилок при дискретизації рівнянь і значно погіршити процес збіжності завдання. В ANSYS ICEM CFD доступно два режими редагування сітки: ручний і автоматичний режими. В автоматичному режимі виконуються такі операції, як згладжування сітки, подрібнення/укрупнення, об'єднання сіток з різною топологією елементів.

Окремі технології ANSYS ICEM CFD використовуються компанією ANSYS при вдосконаленні єдиної «ґратчастої» платформи ANSYS Meshing.

5.2 Система автоматизованого проектування SolidWorks

SolidWorks - це програмне забезпечення системи автоматизованого проектування(САПР), яке можна використовувати для створення параметричних моделей, збірок та креслень. Призначений для розробки виробів будь якого ступеня складності і призначення.

Аналізуючи світові тенденції розвитку САПР і проводячи аналогії з серединою 90-х років, коли CAD-системи середнього рівня здобули впевнену перемогу над 2D-системами, можна зробити висновок, що зараз спостерігається черговий якісний перехід у розвитку 3D-моделювання - в сторону єдиних інтегрованих рішень. З'явилася нова градація в позиціонуванні САПР на ринку - комплексні системи. Безумовно, найяскравішим представником цього напрямку є SolidWorks. Ступінь інтеграції та функціональні можливості якої вже давно ні в кого не викликають сумнівів. На даний момент структуру пакета SolidWorks можна представити таким чином:

- базове рішення, куди входять можливості 3D-моделювання деталей і збірок, експрес-аналіз міцності і кінематики, оформлення креслень, імпорт / експорт геометрії з інших систем, API-інтерфейс;
- крім базового рішення розроблено понад 300 спеціалізованих модулів, що вирішують різні прикладні завдання, такі як управління даними, технологічна підготовка виробництва і т.д.(рисунок 5.4).



Рис. 5.4 Рішення SolidWorks.

SolidWorks у базовому варіанті являється системою гібридного моделювання, призначенням якої є проектування деталей та збірок у 3D, з проведенням експрес аналізу різного виду, з можливістю оформлення конструкторської документації, відповідно до вимог ЄСКД.[17]

Характерним особливостями SolidWorks є:

- тверділе і поверхневе параметричне моделювання;
- повна асоціативність між деталями, збірками та кресленнями(рисунок 5.5);
- багатий інтерфейс імпорту / експорту геометрії;
- експрес-аналіз міцності деталей і кінематики механізмів;
- спеціальні засоби по роботі з великими збірками;
- простота в освоєнні і висока функціональність;
- гнучкість і масштабованість;
- 100-відсоткове дотримання вимог ЄСКД при оформленні креслень[18].

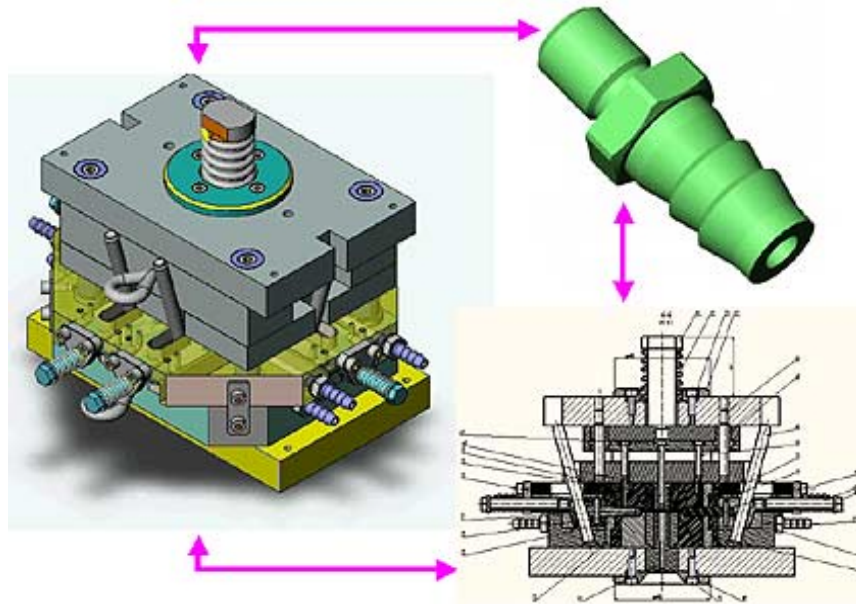


Рис. 5.5 Деталі, збірки та креслення асоціативно зв'язані між собою.

Проектування деталей, збірок і оформлення креслень

Середовище SolidWorks надає можливість для роботи з твердими тілами та поверхнями. Деталь, як правило, представляє тверде тіло, поверхнею якого є поєднання твердого тіла і набору поверхонь. Маніпулюючи елементарними геометричними примітивами, та виконуючи різні операції, можна створювати складні 3D-моделі.

При роботі у віртуальному 3D середовищі, проєктант має можливість працювати з ком'ютерною моделлю, вигляд якої буде наближений до вигляду майбутнього виробу, оскільки 3D модель містить опис таких фізичних характеристики як об'єм, маса та момент інерції.

Розробники SolidWorks велику увагу приділяють роботі з комплексними збірками, кількість компонентів яких може становити десятки і сотні тисяч одиниць. Для роботи з такими моделями потрібно використовувати спеціальні методики управління окремими деталями і вузлами збирання, раціонально розпоряджатися ресурсами процесора і оперативної пам'яті. Для цього в SolidWorks існує спеціальний режим, який так і називається "Режим роботи з великими збірками". Цей режим дозволяє оптимально розподілити програмні і апаратні ресурси, заощаджуючи, таким чином, час завантаження і перестроювання збірки.[19]

Трансляція даних

На сучасному етапі економічні втрати при обміні CAD-моделями дуже істотні, саме тому в базове рішення SolidWorks включені всі необхідні транслятори, що забезпечують коректну передачу даних як в нейтральних, так і в «рідних» форматах більшості існуючих нині на ринку САПР (рисунок 5.6)

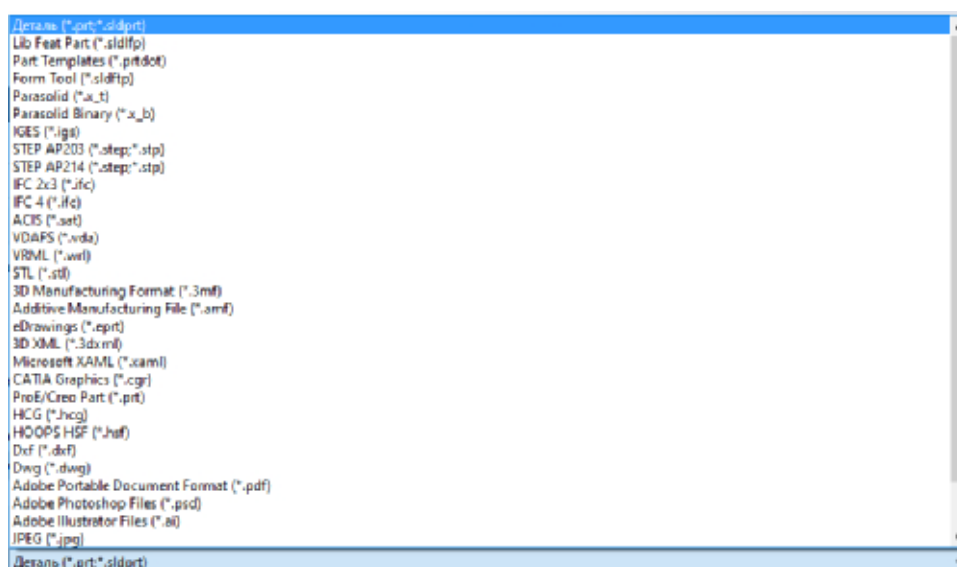


Рис.5.6 Список розширень файлів, що підтримуються.

У 2000 році SolidWorks було сертифіковано згідно стандарту STEP AP 203 (ISO / IEC 10303 Standard for the Exchange of Product Model Data) компанією U.S. Product Data Association (US PRO, США).

Даний стандарт гарантує повноцінний обмін даними з різними САПР системами. При роботі з сертифікованим програмним забезпеченням, проєктант отримує гарантію якості продукції.

Оформлення креслень

SolidWorks надає можливість автоматично створювати креслення згідно заданої 3D моделі.

В системі SolidWorks креслення виконуються за міжнародним стандартом ISO, а в Україні по ЄСКД (Єдина система конструкторської документації) та ГОСТ. Щоб виконувати креслення відповідно до ГОСТ, рекомендується встановити в SolidWorks шаблони форматів креслень по ГОСТ 2.301-68 від А0 до А4 з основними написами.

SolidWorks підтримує креслярські стандарти GOST, ISO, DIN, ANSI, JIS, GB і BSI [20]. Креслення SolidWorks мають двобічної асоціативністю з 3D-моделями, завдяки чому розміри моделі завжди відповідають розмірам на кресленні

Інтерфейс прикладного програмування

SolidWorks API - це інтерфейс програмного забезпечення, що дозволяє розробляти власні застосунки для системи SolidWorks. API-інтерфейс містить сотні функцій, які можна викликати з програм Microsoft Visual Basic, VBA (Microsoft Excel, Word, Access і т.д.), Microsoft Visual C ++ або з файлів-макросів SolidWorks. Ці функції надають програмісту прямий доступ до функціональних можливостей SolidWorks.

SolidWorks API використовують для вирішення різного роду завдань. Які цілком і повністю залежить від завдання. Найбільш популярними галузями застосування додатків SolidWorks є:

- інтеграція SolidWorks з іншими Windows CAD / CAM / CAE-додатками, Microsoft Office, Windows API;
- розробка спеціалізованих модулів, що додають до базових можливостей SolidWorks додаткову функціональність.

Даний функціонал входить до базової версії SolidWorks і поставляється безкоштовно

Висновки

SolidWorks є на даний момент безперечним лідером серед пакетів 3D-моделювання. Такі якості, як інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, і підтримка ЕСКД, зумовлюють успіх впровадження SolidWorks на підприємствах вітчизняної промисловості. Саме тому, вибираючи SolidWorks в якості базової САПР, підприємство не тільки отримує хороший, якісний і функціональний набір програм, а й орієнтується на найпередовіші технології, які стали стандартом де-факто для автоматизованого проектування у всьому світі.

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Загальна інструкція при роботі з пневмоінструментами

Пневмолінія або пневмосистема – це набір основних пневматичних елементів, в який входять:

1. Повітряний компресор - пристрій, що виробляє стиснуте повітря, необхідний для роботи пневмоінструментів. При організації роботи, компресор підбирається в останню чергу, після того, як Ви визначили з кількістю та видом пневматичних інструментів. Знаючи суммарне споживання повітряного потоку, Ви можете оптимально підібрати компресор, тим самим, з однієї сторони не переплачуючи за те, що Вам ніколи не потрібно, а з іншого боку - максимально правильно використовувати ресурси пристроїв. Процес підбору компресора - це цікавий процес, особливо, якщо Ви раніше з ним не стикалися. Бажано для допомоги обратись до досвідченого консультанта, який допоможе грамотно підібрати таке нужне та важливе пристрій. Не варто забувати, що до основних операцій за обслуговування компресора відносяться наступні:

- своєчасна заміна масла (якщо компресор масляний)
- злив конденсату (для цього, внизу ресивера (ємкості для накопичення стиснутого повітря) має спеціальний кран). Чим вищі температурні перепади, тим більше вологи формуються в ресивері.
- чистка або заміна повітряних фільтрів. Чим більше пилу на виробництві, тим більше потрібно це робити.
- періодична чистка повітряного компресора від пилу. Це дозволяє зменшити перегрів і, як наслідок, збільшити ресурс апарату.

2. Гнучкий шланг - елемент пневмосистеми, по якому здійснюється подача стиснутого повітря.

3. Волого-масловідділювач - пристрій, що дозволяє мінімізувати попадання в інструменти конденсату, емульсії (суміші води та масла), різні суміші (пил, ржавчина з компресорного ресивера тощо). У час експлуатації фільтрів не забувайте зливати накопичувальну суміш і своєчасно змінювати або промивати (залежно від конкретного фільтра) фільтруючий елемент. Деколи, у визначених умовах експлуатації (більші температурні перепади, протяги і т.д.) Фільтрація не в стані на 100% забезпечити видалення всієї вологої, в цьому випадку варто думати про установку осушувача. Це таке пристрій, у якому відбувається штучне видалення вологиз повітря. Одно з основних правил успішної безремонтної експлуатації пневмоінструментів каже: повітря на вході в інструмент повинне бути чистим і сухим. І тоді, при необхідності, розгляньте їх.

4. Фітінги – з їх допомогою можна зібрати любую пневматичну лінію за допомогою всього лише стандартних елементів.

Пневматичні інструменти, що працюють на стисненому повітрі, можуть бути корисним та портативним доповненням до електричних інструментів на будівельних майданчиках, у промислових майстернях та на будь-яких робочих площадках, де використовуються електроінструменти. Повітряні компресори, що приводять у дію пневматичний інструмент, повинні використовуватися правильно, щоб забезпечити безпеку всіх робітників на місці робіт.

Усі працівники, яким дозволено користуватися пневматичними пристроями, повинні володіти навичками безпечної експлуатації інструменту, а також огляду, небезпеці стисненого повітря, та зберігання інструменту. Повітряні компресори можуть бути вразливими до змін вологи, температури та положення. Потрібно виконувати базову перевірку безпеки на початку кожної зміни, або перед першим використанням будь-яких пневматичних інструментів кожного робочого дня.

1. Під час перевірки потрібно перевірити датчики, з'єднувачі, шланги та захисні пристрої.

2. Регулярно потрібно перевіряти шланги на наявність порізів, опуклостей, перегинів або пошкоджень. Помітити та замінити, якщо він несправний.

3. Не використовувати пневматичні інструменти, шланги, повітряні компресори або насадки, якщо вони здаються пошкодженими або, на вигляд, виходять з ладу.

4. Удар насадки або кріплення, що відлітає, може спричинити серйозні травми. Завжди використовуйте запобіжний затискач або фіксатор, щоб запобігти викиду навісного обладнання під час роботи з інструментом.

5. Шланг або трубка, які від'єднується, все ще можуть перебувати під високим тиском, що може спричинити їх хаотичний рух і вразити працівників в цій області.

6. Потрібно переконатись, що всі шлангові з'єднання закріплені пристроями фіксації та блокування, щоб запобігти випадковому відключенню під час використання.

7. Електричні контакти в двигуні повітряного компресора або реле тиску можуть спалахувати, створюючи ризик пожежі або вибуху. Варто експлуатувати повітряні компресори у добре провітрюваному приміщенні подалі від горючих матеріалів.

8. Перегрів може статися, коли вентиляційні отвори на повітряному компресорі перекриті. Забороняється класти предмети на або навпроти повітряного компресора, які можуть обмежити потік повітря.

9. Завжди потрібно носити засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) при роботі з пневматичними інструментами.

10. Пневматичні інструменти можуть створювати сильний шум, тому важливо носити засоби захисту слуху під час використання інструментів, що працюють на повітрі, або при роботі в районі, де вони регулярно використовуються.

11. Необхідний захист очей, а працівникам, які працюють з пневматичними інструментами, рекомендується захист голови та обличчя.

12. Під час використання пневматичних інструментів для захисту рук слід носити рукавички.

13. Маски від пилу слід використовувати під час використання інструментів, які створюють пил і випари в робочій зоні, що може становити небезпеку.

14. Якщо пневматичні інструменти використовуються в місцях, де працюють інші працівники, слід потурбуватись про додавання екранів або щитів, щоб захистити інших працівників від уламків, що летять, стружки, пилу та надмірного шуму.

15. При роботі з пневматичним інструментом не використовуйте тиск який вищий за номінальний (вказаний виробником).

16. Запірний клапан стисненого повітря повинен бути завжди видимим і в межах досяжності.

17. Ніколи не спрямовуйте пневматичний інструмент або насадку на будь-яку частину тіла або на інших людей.

18. Використовуйте лише насадки, рекомендовані виробником для використовуваних інструментів.

19. Повітряні компресори слід підключати до розеток лише з належним заземленням.

20. Перш ніж робити шлангові з'єднання, повністю розгерметизуйте подачу повітря. Ніколи не підключайте і не від'єднуйте шланг, що знаходиться під тиском.

21. При заміні електроінструменту чи іншого пристрою слід відключити подачу повітря.

22. Шланги та трубки найкраще зберігати на шланговій катушці. Зберігайте шланги безпечно, подалі від тепла та сонячного світла.

23. Всі працівники які працюють в районі де використовуються пневмоінструменти повинні бути ознайомлені з небезпеками які можуть спричинити пневматичні інструменти, та практикою безпечної роботи яка передбачена на робочому місці.

6.2 Розрахунок освітлення робочого приміщення при розробці пневматичних захоплювальних пристроїв

Освітлення робочого місця нормується згідно з Державними будівельними нормами України: ДБН В.2.5-28-2006 Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення.

Розрахунок освітлення робочого місця зводиться до вибору системи освітлення, а також визначенню необхідної кількості світильників, їх типу та розміщення. Штучне освітлення виконується за допомогою електричних джерел світла, якими можуть бути лампи розжарювання, або люмінісцентні лампи. Останні ж мають свої переваги, так як по спектральному складу вони дуже близькі до природнього світла, а також володіють високим КПД, що в 1.5-2 рази вище ніж в ламп розжарювання; мають більший термін дії.

Розрахунок буде проводитись для приміщення з наступними параметрами: площиною 5x7 м, висотою 3.2; стіни світлі.

Визначення кількості світильників здійснюється методом світлового потоку. Для цього визначається світловий потік F , який падає на поверхню:

$$F = \frac{E \times K \times S \times Z}{n}$$

де F – розрахунковий світловий потік, Лм; E – нормована мінімальна освітлюваність, Лк (оприділяється по таблиці). Робота з пневматичними пристроями та їх налагодження може відноситись до розряду точних робіт ($E = 300$ Лк); S – площа освітлювально приміщення ($S = 35\text{м}^2$); Z – відношення середньої освітленості до мінімальної (зазвичай приймається рівним 1,1... 1,2, в нашому випадку $Z = 1,1$); K – коефіцієнт запасу, який враховує зменшення світлового потоку лампи в результаті забруднення світильників, в процесі експлуатації (значення залежить від типу приміщення і характеру робіт, що проводяться в ньому, для нашого варіанту $K = 1,5$); n – коефіцієнт використання (визначається по таблиці коефіцієнтів використання різних світильників, коефіцієнт відбивання від стін (ρ_{cm}) та стелі

($\rho_{стелі}$) $\rho_{ст} = 40\%$, $\rho_{стелі} = 60\%$). Розрахувати індекс приміщення можемо по формулі:

$$I = \frac{S}{h \times (A + B)}$$

де S – площа приміщення, $S = 35 \text{ м}^2$; h – розрахункова висота підвісу, $h=2.92\text{м}$; A – ширина приміщення, $A = 5\text{м}$; B – довжина приміщення, $B = 7\text{м}$.

$$I = \frac{35}{2,92 \times (5 + 7)} = 0,99.$$

Згідно таблиці значень коефіцієнту використання світлового потоку світильників, значення коефіцієнту $n = 0,22$. З отриманих даних можемо визначити значення світлового потоку F :

$$F = \frac{300 \times 1,5 \times 35 \times 1,1}{0,22} = 78750 \text{ Лм.}$$

Для освітлення вибираються люмінісцентні лампи типу ЛБ40-1, світловий потік яких $F = 4320 \text{ Лк}$.

Розрахувати потрібну кількість ламп можемо по формулі:

$$N = F / F_{л},$$

N – кількість ламп; F – світловий потік, $F = 78750 \text{ Лм}$; $F_{л} = 4320 \text{ Лм}$.

$$N = 78750 / 4320 = 18 \text{ шт.}$$

В якості освітлювальних приладів використовуємо світильники типу ОД, кожний світильник комплектується двома лампами, тому для належного освітлення потрібно 9 таких світильників.

6.4 Шумова характеристика захоплювача

Показником шумової характеристики струменевих захоплювачів є рівень звуку, що з'являється при подаванні стисненого повітря на постійному робочому місці експлуатації захоплювача у виробничих приміщеннях або на території підприємств. Згідно з санітарними нормами проектування промислових підприємств СН 245-71 він не повинен перевищувати рівень звуку в 90 дБ/А/. Вимірювання шумової характеристики проводилися на за

допомогою шумоміра Ш-71. Аналіз отриманих результатів (рисунок 6.1) свідчить, що рівень шуму дещо знижується (крива Б) за наявності на торці захоплювача заготовки, яка служить своєрідним глушником, а в основному показники шуму при роботі струменевих захоплювачів не перевищують встановлених норм.

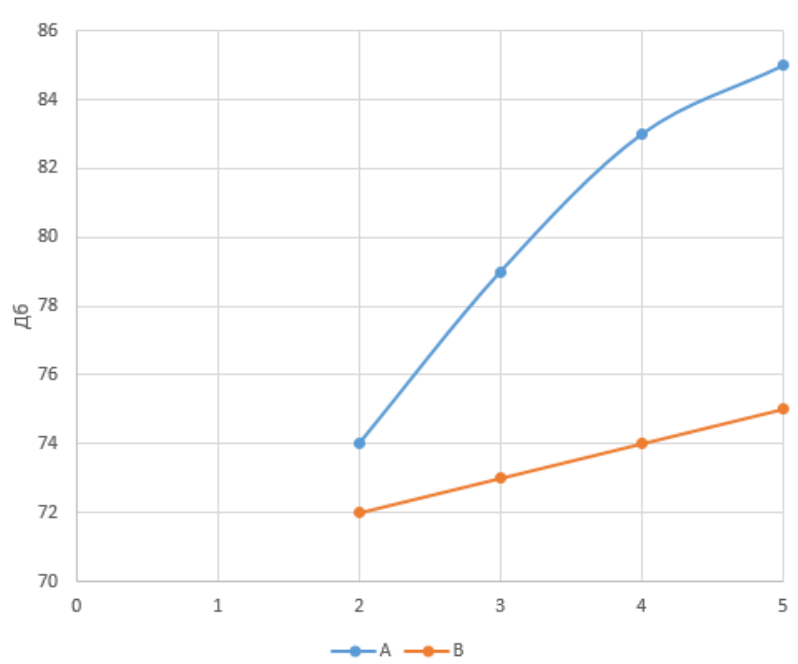


Рис.6.15. Шумова характеристика захоплювача
крива А – при експерименті без заготовки,
крива Б – при наявності заготовки на торці захоплювача.

Застосоване для даної роботи експериментальне дослідження на надійність полягало в зніманні експериментальною установкою з підготовленої стопи заготовок вагою до 5 Н. За допомогою струменевого захоплювача заготовки переносилися у пневматичний патрон, розташований під кутом 45°. Таким чином імітувалося завантаження верстата.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі приведено аналіз сучасного стану управління промисловими роботами, було здійснено огляд конструкцій захоплювачів, а саме механічних, вакуумних, магнітних та захоплювачів Бернуллі. Проаналізовано їх конструктивні особливості, переваги та недоліки. В результаті аналізу встановлено, що останні володіють такими перевагами як, безконтактне маніпулювання, простота конструкції, очищення поверхні об'єкта маніпулювання, простота в обслуговуванні та здатність безпечної взаємодії з крихкими та делікатними деталями. А також приведено аналіз пристроїв пневматичного контролю, можливість їх впровадження та використання. Виявлено, що контроль може здійснюватися безконтактно та з високою точністю.

В результаті аналізу моделей турбулентності, враховуючі особливості конструкції та робочого середовища, вибрано модель турбулентності Ментера SST, яка представляє собою комбінацію k - ϵ і k - ω моделей. Дану модель вибрано тому, що вона дозволяє коректно описувати поведінку потоку в пристінковій області.

Запропоновано раціональні конструкції захоплювальних пристроїв з інтегрованою функцією контролю розмірів, обґрунтовано їх конструктивні параметри, що дозволило підвищити мінімальну підймальну здатність захоплювача, наведені формули для теоретичного розрахунку вантажопідймальності.

Проведено моделювання протікання потоків повітря в захоплювальному пристрої. Моделювання проводилося на щільних розрахункових сітках, з використанням програмного забезпечення Ansys CFX. В результаті моделювань, було обрано оптимальну конструкцію та встановлено, що зона

лінійності є у діапазоні 0.3...0.4мм та максимальна вантажопідіймальність при заданих вхідних параметрах становить 37Н.

Також було проведено розхарунок освітлення робочого приміщення та встановлено, що шумова характеристика знаходиться в межах санітарних норм.

Література

1. Xavier F.Brun, Shreyes N. Melkote, 2009, "Modeling and Prediction of the Flow, Pressure, and Holding Force Generated by a Bernoulli Handling Device".
2. X.Brun, S.N.Melkote, 2012, "Effect of Substrate Flexibility on the Pressure Distribuyion and Lifting Force Generated by a Bernoulli Gripper".
3. James Huber, 2006 "Air Jet Impingement for levitation".
4. Плакіда С.І., Волошина Н.А., УДК 681.2.083 "Анализ современного состояния пневматических средств измерения линейных величин в машиностроении".
5. Gages Edmunds, Farmington, CT USA 06032 "Air Gaging".
6. Фендьо О.М., Савків В.Б., 2010, "Дослідження технічних характеристик струменевих захоплювальних пристроїв промислових роботів і маніпуляторів".
7. Моделі турбулентності в CFD, www.idealsimulations.com.
8. Гарбарук Андрій Вікторович "Метод моделювання від'єднаних вихрів", 2016р.
9. En.wikipedia.org, Omega turbulence model
10. K. Hanjalic Closure models for incompressible turbulent flows (lecture series)
11. J.P.A.J. Beeck, C. Benocci (Eds.), Introduction to Turbulence Modelling, Von Kaman Institute for Fluid Dynamics, Belgium (2004), pp. 1-75
12. B.E. Launder, D.B. Spalding Mathematical Models of Turbulence
13. Academic Press, London (1972)
14. D.C. Wilcox Reassessment of the scale-determining equation for advanced turbulence models
15. AIAA J., 26 (1988), pp. 1299-1310

16. F.R. Menter Review of the shear-stress transport turbulence model experience from an industrial perspective
17. Int. J. Comput. Fluid Dyn., 23 (2009), pp. 305-316
18. Menter, F.R. 1994. Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications. AIAA Journal, 32(8), 1598–1605.
19. https://itprosnews.wordpress.com/2020/04/08/ansys_vypustila_versiyu_ansys_19_2_universalnoi_programmnoi_sistemy_konechno_elementnogo_mke_analiza/
20. znaimo.com.ua, ANSYS
21. SolidWorks 2010\\ Справочная система программного комплекса.
22. http://help.solidworks.com/2019/english/SolidWorks/acadhelp/c_standards_acadhelp.htm
23. Menter, F.R., Esch, T., Kubacki, S., Transition modelling based on local variables. Engineering Turbulence Modelling and Experiments, 555-564 (2002).
24. Menter, F.R., Langtry, R.B., Völker. S., Transition Modelling for General Purpose CFD Codes. Journal Flow Turbulence and Combustion 77, 277-303 (2006).
25. Menter, F.R., Smirnov, P.E., Liu, Tao, Avancha, R., A One-Equation Local Correlation-Based Transition Model. Flow Turbulence Combust, s10494-015-9622-4 (2015).