

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра технічної теплофізики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

здобувача за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
«Компресори, пневмоагрегати та вакуумна техніка»
зі спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»
на тему «Моделювання взаємозв'язків
конструктивно-геометричних параметрів із
експлуатаційними показниками ежекторно-
очисної установки»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Завідувач кафедри

С. М. Ванєєв

Керівник роботи

В. М. Бага

Консультант з охорони праці

С. В. Сидоренко

Здобувач

О. В. Лазуренко

Суми 2020

Зміст

| | |
|--|----|
| ВСТУП..... | 3 |
| 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ..... | 9 |
| 2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ СОПЛА..... | 10 |
| 2.1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРОБЛЕМ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ..... | 10 |
| 2.2 МЕТОДИКА ЧИСЕЛЬНОГО РОЗРАХУНКУ..... | 11 |
| 2.2.1 РОБОТА З КОМПЛЕКСОМ ANSYS | 11 |
| 2.2.2 РОБОТА З КОМПЛЕКСОМ FLOW VISION..... | 17 |
| 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ..... | 36 |
| 4. РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ..... | 50 |
| ВИСНОВКИ..... | 77 |
| СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ..... | 79 |

| | | | | | | | | |
|------------------|-------------|---------------------|----------------|-------------|--|--------------------|-------------|---------------|
| | | | | | <i>КМ 05.00.00.00 ПЗ</i> | | | |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | | | |
| <i>Разраб.</i> | | <i>Лазуренко</i> | | | Моделювання ежекторно-очисної установки | <i>Лит.</i> | <i>Лист</i> | <i>Листов</i> |
| <i>Провер.</i> | | <i>Бага В.М.</i> | | | | | 2 | 80 |
| <i>Реценз.</i> | | | | | | СумДУ КМ-91 | | |
| <i>Н. Контр.</i> | | <i>Шарапов С.О.</i> | | | | | | |
| <i>Утверд.</i> | | <i>Вансєв С.М.</i> | | | | | | |

ВСТУП

Абразивоструменева установка має широку сферу застосування. Користуючись її функціоналом, майстри виробляють якісну і акуратну зачистку різних поверхонь від старої фарби, слідів корозії, окалин, бруду, напала. Пристрій має продуману ергономічну конструкцію, відрізняється безпечною і простотою в експлуатації.

Піскоструминна обробка дозволяє здійснити ефективну очистку поверхонь, виконаних з різних будівельних матеріалів, включаючи металоконструкції. Піскоструминне очищення з допомогою мийки високого тиску дозволяє позбавити поверхні фасадів та металевих деталей від іржі, маслянистих плям, вторинних окалин пригара, а також від залишків формувальних сумішей не створюючи при цьому шкідливого пилу.

Найпотужніші моделі піскоструменевої установки мають ємність понад 200 літрів. Найчастіше їх застосовують у будівництві, використовують в стаціонарному режимі для обробки поверхонь з великою площею. Даний вид обладнання коштує досить дорого, відрізняється в роботі високою продуктивністю.

Із середньою потужністю в продажу є апарати, ємність яких складає від 50 до 140 літрів абразиву. Вони можуть наводитися в дії стандартних компресором, не мають особливих вимог до параметрів живлення. Сфера застосування моделей - невеликі промислові виробництва. Цінують пристрою за досить компактні габарити, простий процес зберігання і транспортування.

Мінімальною потужністю відрізняються піскоструминні прилади з внутрішнім об'ємом до 30 літрів. Вони мають масу переваг - енергоефективність, мобільність, продумана ергономіка, широка сфера застосування. Купують товари такої конфігурації для проведення очистки в важкодоступних місцях. Вони працюють ефективно, не сприяють швидкій стомлюваності оператора.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 3 |

Дуже важливо коректно підібрати абразивоштрименевий апарат за технічними характеристиками. Тому до відома приймають такі дані:

- обсяг бункера для засипки абразиву
- заявлена продуктивність
- робочий тиск тип подачі абразивного складу

Залежно від поставленого завдання, піскоструминна обробка металу може здійснюватися із застосуванням різних ступенів очищення.

На даний момент абразивна технологія дозволяє майстру своїми руками провести поверхневу, глибоку і легку обробку різного роду поверхонь. Застосування поверхневої абразивної обробки деталей з металу та металевих конструкцій фасадів, дозволяє отримати поверхонь середній показник чистоти. На оброблених поверхнях, при візуальному огляді, все ж можна буде виявити окалини і плями. Глибока абразивна обробка дає можливість повністю виключити присутність на металевих поверхнях, які зазнали абразивного очищення, навіть сліди колишньої іржі або окалини. В даному випадку металева поверхня може бути зачищена дочиста.

Легка піскоструминна обробка металу дозволяє видалити з поверхні іржаві плями і відшарувалися окалини, в результаті при поверхневому огляді об'єкт буде виглядати порівняно чистим.

Тенденція застосування піскоструменевих апаратів і піскоструменевих камер за останні роки збільшуються. Цьому сприяє поява нових видів абразивів, вдосконалення самих піскоструменевих установок, поширення застосування хімічних покриттів перед нанесенням яких оброблювану поверхню потрібно дуже якісно очистити.

Матеріал виготовлення

Апарат повинен стійко вистояти перед умовами інтенсивної експлуатації. Його зовнішній корпус і внутрішні елементи повинні складатися їх сучасних міцних матеріалів, які винесуть механічне навантаження, дія середовища та інших негативних факторів.

Найчастіше виробники виконують корпус з сортового металу, оснащують пристрої надійними еластичними рукавами з полімерів або гуми.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 4 |

До підбору сировини для виготовлення деталей всередині пристрою також підходять максимально відповідально, адже це дозволяє домогтися максимального ресурсу всіх вузлів. Якщо ж який-небудь елемент виходить з ладу, майстер зможе замінити його або полагодити в рамках планового технічного обслуговування приладу. Він має високий рівень ремонтпридатності.

Вимоги до установки

Стаціонарні моделі вимагають особливих умов для безпечного розміщення. Це варто врахувати при виборі. Є в лінійках виробників і базові інструменти, які придатні для будь-яких приміщень і майданчиків. Вони універсальні і практичні, не вимагають особливих умов для розміщення.

Опції

Корисні опції роблять експлуатацію приладу простіший. Наприклад, оператору вдається заощадити видатковий матеріал, якщо він користується моделлю, оснащеною функцією відділення абразивів від пилу.

Тип камери

За даним параметру продукція підрозділяється на дві категорії:

Відкритий апарат. Проста конструкція, доступна ціна - це достоїнства відкритих моделей. Вони адаптовані для очищення великих площ. Мають невеликі габарити, характеризуються мінімальними обмеженнями до обсягу оброблюваних ділянок.

Закритий апарат. Замкнений простір ідеально для обробки невеликих деталей. Оператор може обійтися без захисного шолома і костюма, оскільки вся пил залишається всередині камери. Не піддається руйнівній дії абразивного пилу і приміщення - в ньому зберігається чисте повітря і комфортний мікроклімат.

Додаткові фактори, на які варто звернути увагу при покупці піскоструминної установки

Апарат піскоструминного очищення повинен володіти всіма необхідними функціями для забезпечення можливості швидко і безпечно

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 5 |

очищати ділянки з дефектами. Щоб знайти такий товар у продажу, покупці уважно ставляться до наступних факторів:

Щоб мати можливість чітко контролювати показники тиску, краще вибирати моделі з вбудованим манометром. Вони чудово демонструють себе в роботі. Конструкція може доповнюватися стійкою колісною базою, яка спрощує процес транспортування, а також зручними ручками для перенесення, які зазвичай прогумовані для запобігання ковзання.

Традиційно для очищення поверхонь, дисків, кузовів машин як абразив застосовують пісок. Він приваблює споживачів своєю дешевизною і доступністю. Руйнуючись при попаданні на поверхню, піщинки перетворюються на дрібний пил, тому оператор повинен обов'язково використовувати повітряний фільтр для запобігання потрапляння в дихальні шляхи шкідливих речовин. Пісок часто застосовують для роботи з металами, бетонними ділянками і камінням.

Є апарати, в яких як абразив застосовують електрокорунд. Це не менш ефективний матеріал на основі оксиду алюмінію. Перевершує аналоги за показником міцності, купується для багаторазового використання, оскільки не втрачає властивостей після контакту з оброблюваною ділянкою. Електрокорунд дозволяє домогтися відмінної якості.

Крім коректного підбору типу абразиву, враховують вимоги виробника до фракції, чистотою, складом, вологості і іншим параметрам витратного матеріалу.

У відповідності зі спектром виконуваних робіт, користувачі можуть купити песткоструй для скла, металу, деревини та інших поверхонь. За рахунок того, що абразив під тиском повітря швидко виходить з сопла і активно взаємодіє з оброблюваною ділянкою, майстрам вдається швидко прибрати з корпусу машин, дисків, фасадів будинків і каркаса металевих споруди всі дефекти. Це бруд, пил, окалини, іржу, старе ЛКП.

Професійний піскоструминний апарат, типи обладнання:

У розничному продажу на сьогоднішньому ринку є різні види піскоструминних апаратів, ціна яких залежить від переліку технічних

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 6 |

можливостей, базового функціоналу і наявності додаткових опцій. Найбільшого поширення на практиці отримали наступні різновиди пристроїв:

Напірний

Відрізняється в роботі продуктивністю і ефективністю. Особливість конструкції полягає в тому, що повітря під великим тиском надходить не тільки в корпус установки, а й в вузол, який дозує абразивний матеріал. Така специфіка дозволяє домогтися істотних переваг:

- дуже висока швидкість струменя повітря і абразиву;
- точна подача складу на зовнішніх поверхнях;
- моментальна очищення складних ділянок.

Специфіка пристрою: великі габарити, наявність одного рукава для зручної обробки масштабних поверхонь, швидкий витрата абразивного матеріалу

Рекомендації щодо застосування: вважається оптимальним застосування напірного пристрою для очищення кузовів вантажівок, залізничних вагонів, мостів і огорож, інших промислових конструкцій.

Інжекторний

В даному апараті конструкція внутрішніх вузлів принципово відрізняється. За двома різними рукавах під тиском подаються повітря і пісок. Така особливість дещо знижує потужність агрегату, проте робить його ідеальним для виконання ряду делікатних операцій. Інжекторні прибори добрі для неглибокої очищення і полірування, матування поверхонь роботи з крихкими матеріалами.

Специфіка пристрою: компактні габарити, обмежені показники потужності, помірна продуктивність (за годину оператор зможе обробити ділянку з площею близько 3 квадратних метрів)

Рекомендації щодо застосування: очищення невеликих деталей, декоративна обробка скла, зміцнення поверхонь, можливе використання як в комерційній установі, так і в побуті.

Не варто виключати з уваги той факт, що процес роботи з обладнанням для пескоструя являється гучним і курних. Щоб захистити від шкоди

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 7 |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпись | Дата | | |

оператора який виконує праці з очищення поверхні, необхідно обов'язково використовувати засоби індивідуального захисту. Вони включають в себе такі аксесуари:

- шолом зі склом з прозорого пластика
- щільний костюм, що запобігає пошкодження шкірних покривів
- рукавички та ін.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 8 |

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

В данній роботі проводилося розрахункове та експериментальне дослідження з моделюванням взаємозв'язків конструктивно-геометричних параметрів із експлуатаційними показниками ежекторно-очисної установки

В якості ежектора використовували піскоструменеве сопло, від ефективності якого залежить ефективність всієї піскоструменевої установки.

В робочому соплі змішуються два потоки: абразивного матеріалу та повітря. Досліджувалася течія абразивної суміші, що проходить через сопло.

Для чисельного дослідження була побудована розрахункова модель проточної частини досліджуваних об'єктів. Твердотільні моделі створювались в САД-системі КОМПАС-3D V19. Експорт побудованих варіантів проточних частин різноманітних форм щілин з КОМПАС-3D V19 зберігаються в форматі (Parasolid) в Solid Works 2019 потім в форматі (*.stl) в Flow Vision. Для експериментального дослідження використовувалася експериментальна ежекторно-очисна установка.

Мета магістерської роботи полягає дослідженні режимних та геометричних параметрів робочих сопел ежекторно-очисної установки виготовлених з різних матеріалів. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити ряд **завдань**:

- чисельно та експериментально дослідити робочий процес в робочому соплі ежекторно-очисної установки з моделюванням реальних умов його роботи;
- провести оцінку впливу матеріалу сопла на значення робочих параметрів в його вихідному перерізі;
- виконати пошук резервів по підвищенню ефективності робочого сопла ежекторно-очисної установки на основі проведених досліджень.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 9 |

2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ СОПЛА

Проводилися серії чисельних та експериментальних досліджень течії пісчано-повітряного потоку ежекторно-очисної установки з використанням змінних сопел.

Чисельні дослідження виконувались з використанням програмного комплексу Flow Vision та Ansys. Експериментальні дослідження проводилися в лабораторії кафедри ТТФ на існуючому уніфікованому експериментальному стенді по дослідженню робочого сопла для ежекторно-очисної установки.

2.1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРОБЛЕМ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ

Оскільки суворе аналітичне опис робочого процесу в соплі в даний час не представляється можливим, методи розрахунку і проектування базуються на експериментальних даних, узагальнених в тій чи іншій мірі [1-12]. Широке дослідження ряду вітчизняних і зарубіжних організацій істотно розширили уявлення про характер і особливості робочого процесу.

Розвиток прикладної математики і обчислювальних комплексів надають нові можливості по моделюванню фізичних процесів. Крім того, використання гідродинамічних програмних комплексів при моделюванні складних явищ і процесів дозволяє, за допомогою візуалізацій, познайомитися з багатьма процесами які не можуть бути відтворені ніякими іншими способами. Однак при цьому зберігається визначальна роль натурального експерименту, оскільки, в кінцевому рахунку, тільки вони можуть служити показником коректності чисельного моделювання.

З урахуванням сказаного була поставлена задача більш детального експериментального і теоретичного дослідження процесів, що протікають в соплі з метою поліпшення їх ефективності.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | KM 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 10 |

2.2 МЕТОДИКА ЧИСЕЛЬНОГО РОЗРАХУНКУ

2.2.1 Робота з комплексом Ansys

Більшість конструктивних елементів виготовлених з найрізноманітніших матеріалів, що мають різну природу, можуть бути розраховані за допомогою чисельних методів, зокрема - методу скінченних елементів (МСЕ), який є стандартом при розв'язку задач механіки твердого тіла чисельними методами.

Цей метод зайняв лідируюче положення завдяки можливості моделювати широке коло об'єктів і явищ і враховувати складні граничні умови, структурну неоднорідність, реальний розподіл напружень і деформацій у матеріалі.

Застосування МСЕ дозволяє одержати уточнену картину напружено-деформованого стану, так як відповідність між розрахунковою моделлю й реальністю є однією з головних проблем при застосуванні програм аналізу з використанням чисельних методів, враховуючи неминучість похибок та умовностей. Наявність сучасних комп'ютерних засобів моделювання та аналізу, зокрема CAD/CAE пакетів для 3D моделювання інженерних задач, сприяє спрощенню наукових розрахунків. Наприклад, за допомогою системи КОМПАС можна створити тривимірні моделі як простих елементів деталей машин, так і складних механізмів. А за сприяння потужної системи скінченно-елементного моделювання ANSYS, в можливості якої входить одночасний аналіз різних фізичних процесів, що відбуваються у деталі, конструкції чи механізмі, можна провести аналіз напружено-деформованого стану цих деталей чи механізмів. Методика дослідження наступна: - за допомогою вбудованих інструментів КОМПАС створюються деталі та модель механізму; - модель переноситься у пакет ANSYS; - у середовищі ANSYS Workbench створюється новий проект, на інструментальній панелі вибирається тип аналізу (рис. 1, а) і за допомогою дерева побудови модель

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | KM 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 11 |

імпортується (розділ “Geometry” - рис. 1, б); а – вікно діалогу б - дерево побудови моделі Рис. 1. Створення проекту в середовищі ANSYS Workbench - модель розбивається на скінченні елементи (розділ “Model”) та наскладуються граничні умови (встановлюються закріплення, прикладаються навантаження - розділ “Setup”); - встановлюються необхідні результати розрахунку, наприклад розподіл деформацій та еквівалентних напружень (розділ “Solution” дерева моделі), та проводиться безпосередній розрахунок моделі (функція “Solve”); - переглядаються результати розрахунку (розділ “Results” дерева побудови моделі). Але недоліком сумісного застосування даних пакетів CAD/CAE моделювання є перенесення моделей у пакет ANSYS – із усіх можливих форматів збереження 3D моделей, які є доступними для експорту в системі КОМПАС, оптимальним варіантом є формат Parasolid компанії SIEMENS розширення «.x_t». При використанні цього формату всі елементи моделі передаються точно і без викривлення форм. При спробі імпорту в ANSYS моделей з інших форматів виникали проблеми у конструктивних елементах – зникали отвори, скруглення, відбувалися деформації деталей [1]. Аналогічна проблема виникає при застосуванні пакета тривимірного моделювання AutoCAD та системи APM WinMachine - сумісним форматом для експорту та імпорту тривимірних моделей є формат «.sat». Він точно передає всі елементи форми моделей. Передачу, створення та обробку скінченноелементної моделі у пакеті APM WinMachine виконує модуль Studio 3d [2]. Ці недоліки відсутні при застосуванні 3D системи гібридного автоматизованого проектування (твердотільного й поверхневого), інженерного аналізу й підготовки виробництва виробів будь-якої складності й призначення SolidWorks [3]. Універсальна система параметризації в САПР сімейства Solidworks дозволяє становити гнучкі параметричні моделі виробів будь-якої складності та одержати уточнену картину напружено-деформованого стану моделі. Її засоби надають проектувальникові широкі можливості по самостійному визначенню параметричного базису виробу й складанню структури зв'язків між параметрами. Система володіє двома рівнями функціональних

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | KM 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 12 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

залежностей: перший забезпечує зв'язок між параметрами моделі при перерахунку їх значень, другий - зв'язок із САПР при відновленні виробу відповідно до отриманих значень параметрів. Комбінація цих двох видів залежностей дозволяє добиватися надзвичайних результатів, фактично не обмежуючи гнучкість одержуваної моделі. Для зручності навігації по моделі й задання зв'язків між параметрами надані інструменти допоміжної візуалізації засобами САПР. Система параметризації має достатній набір інструментів для складання як завгодно складної параметричної моделі й одержання на її основі виробу з необхідними значеннями розмірів, конструктивних, фізичних та інших параметрів. SolidWorks – це [4]:

- проектування деталей та складань будь-якого ступеня складності та призначення, виробів з листового металу, зварних конструкцій, оснастки (прес-форми, штампи, електроди);

- промисловий дизайн; складні поверхні; перевірка працездатності розроблених конструкцій; випуск креслень відповідно до вимог ЄСКД; робота з великими складаннями; пряме редагування геометрії; проектування на основі баз знань; експертні системи проекту;

- аналіз технологічності виробів (механообробка, лиття); створення анімацій на основі 3D-моделей; бібліотеки стандартних виробів SolidWorks Toolbox, у т.ч. за вітчизняними стандартами; інтерактивна документація (створення фотореалістичних зображень, WEB сторінок та анімацій на основі 3D моделей);

- проектування трубопроводів; аналіз розмірних ланцюгів в 3D-моделі складання; обмін даними з радіотехнічними САПР. Додатками цієї програми є SolidWorks Simulation, SolidWorks Motion, SolidWorks Flow Simulation, SolidWorks Flow Simulation Electronic Cooling Module, SolidWorks Flow Simulation HVAC Module, SolidWorks Plastics, eDrawings, SolidWorks Sustainability. В усі вищенаведені додатки створені у SolidWorks моделі експортуються без будь-яких обмежень.

Розглянемо додатки SolidWorks детальніше [4]:

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 13 |

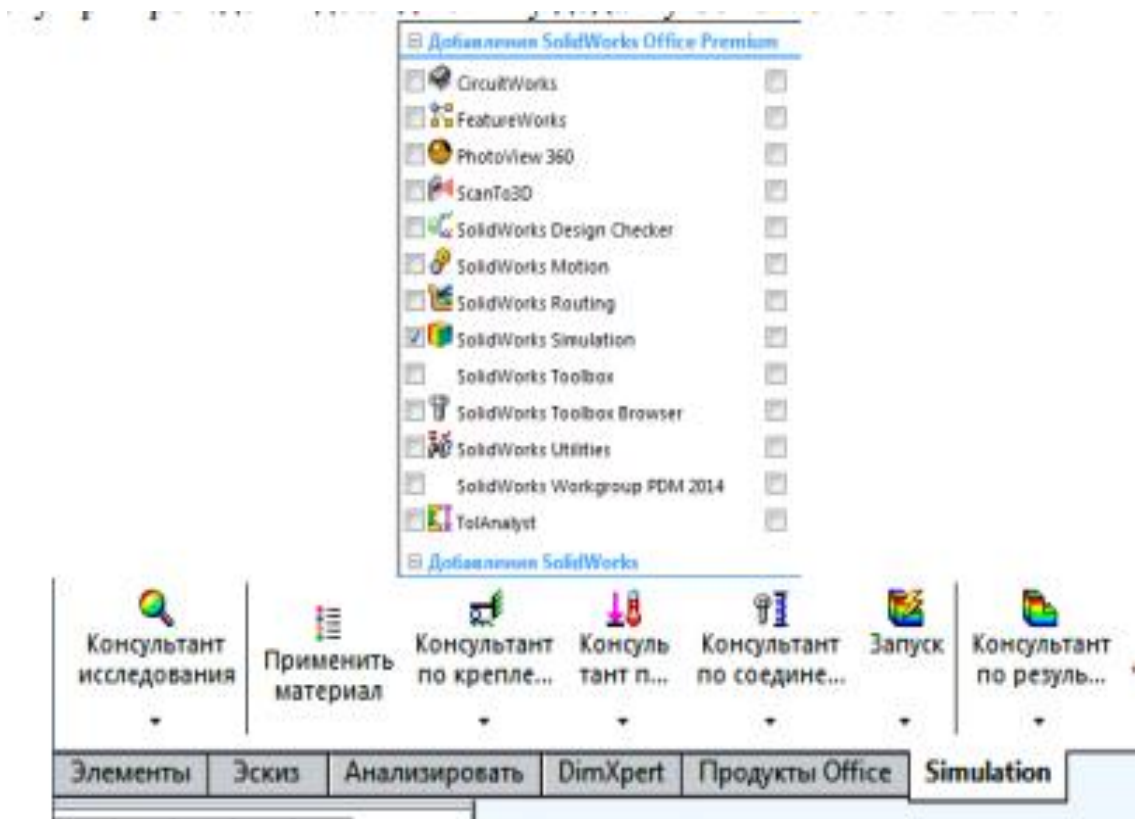
- SolidWorks Simulation [5] - розрахунки на міцність конструкцій у пружній зоні; постановка та розв'язок контактних задач;
- розрахунки складань; визначення власних форм і частот коливань; розрахунки конструкцій на стійкість;
- розрахунки на втому;
- імітація падіння;
- теплові розрахунки;
- нелінійні розрахунки (врахування нелінійних властивостей матеріалу, нелінійного навантаження, розрахунки нелінійних контактних задач);
- аналіз втомних напружень та визначення ресурсу роботи конструкцій; лінійна та нелінійна динаміка деформованих систем;
- SolidWorks Motion - комплексний кінематичний та динамічний аналіз механізмів;
- врахування тертя;
- безумовний та умовний контакти компонентів;
- демпфери;
- пружини;
- гравітація;
- SolidWorks Flow Simulation - моделювання потоку рідин і газів; різні фізичні моделі рідин і газів;
- комплексні теплові розрахунки;
- гідро/газодинамічні та теплові моделі технічних пристроїв;
- стаціонарний та нестаціонарний аналізи;
- SolidWorks Flow Simulation Electronic Cooling Module;
- тепловий розрахунок електронних пристроїв;
- SolidWorks Flow Simulation HVAC Module
- розрахунки систем вентиляції, опалення та кондиціонування;
- SolidWorks Plastics
- аналіз пролиття прес-форм з врахуванням фізичних властивостей полімерів;
- eDrawings (узгодження документів SolidWorks, робота з DWG/DXF);

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 14 |

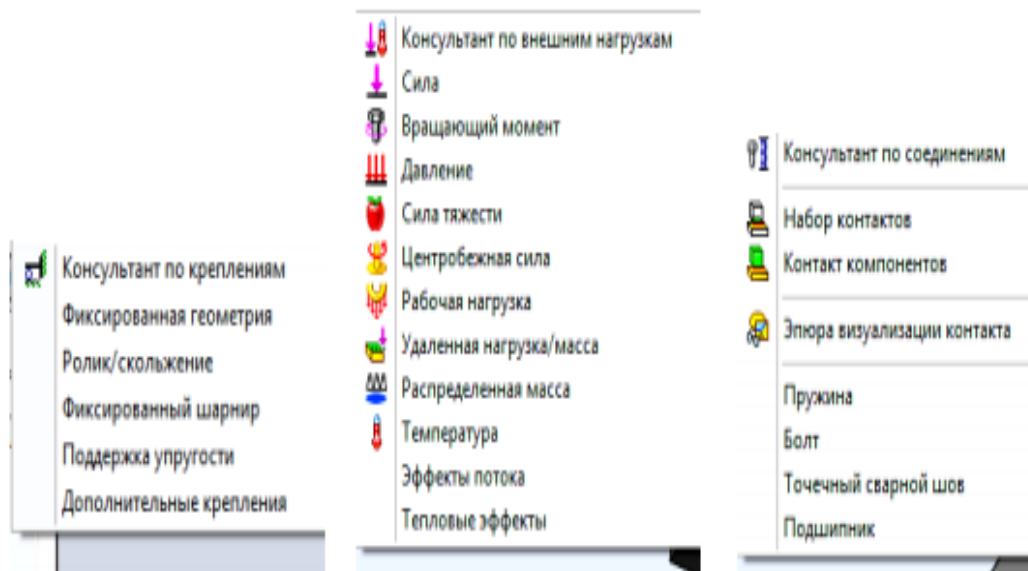
- вимірювання, динамічний переріз, авторознесення складань);
- SolidWorks Sustainability (екологічна експертиза проекту).

Важливий елемент в комплекті SolidWorks - програма DWGeditor. За функціональністю вона є повним аналогом AutoCAD і володіє можливістю працювати з форматом DWG. Це значно полегшує перехід від двовимірного креслення до тривимірного моделювання. Змінюючи при чисельному моделюванні деякі вхідні параметри, можна прослідити за змінами, які відбуваються з моделлю. Основна перевага методу полягає у тому, що він дозволяє не тільки спостерігати, але і передбачити результат експерименту за якихось особливих умов.

На мал. 2.1 і 2.2 наведені вікна діалогу при проведенні дослідження у додатку SolidWorks Simulation.



Малюнок 2.1 Створення проекту в середовищі SolidWorks (вікна діалогу вибору додатку та кроків роботи у SolidWorks Simulation)



Малюнок 2.2 Вікна діалогу SolidWorks Simulation

Програмний комплекс FlowVision - комплексне багатоцільове рішення для моделювання тривимірних течій рідини і газу, створений командою розробників компанії ТЕСИС в тісній співпраці з науково-дослідними організаціями та промисловими підприємствами в Росії і за кордоном.

FlowVision заснований на чисельному рішенні тривимірних стаціонарних і нестаціонарних рівнянь динаміки рідини і газу, які включають в себе закони збереження маси, імпульсу (рівняння Нав'є-Стокса), рівняння стану. Для розрахунку складних рухів рідини і газу, супроводжуваних додатковими фізичними явищами, такими, як, турбулентність, горіння, контактні кордону розділу, пористість середовища, теплоперенос і так далі, в математичну модель включаються додаткові рівняння, що описують ці явища.

FlowVision використовує звичайно-об'ємний підхід для апроксимації рівнянь математичної моделі. Рівняння Нав'є-Стокса розв'язуються методом розщеплення по фізичним процесам (проекційний метод MAC).

FlowVision заснований на наступних технологіях обчислювальної гідродинаміки і комп'ютерної графіки.

- прямокутна розрахункова сітка з локальним подрібненням розрахункових осередків;
- апроксимація криволінійних кордонів розрахункової області методом підсіткового дозволу геометрії;

- імпорт геометрії з систем САПР і звичайно-елементних систем через поверхневу сітку;
- ядро програми написано на мові C ++;
- має клієнт-серверну архітектуру;
- призначений для користувача інтерфейс - для операційних систем MS Windows і Linux;
- система аналізу результатів розрахунків використовує високоякісну графіку на основі OpenGL.

Для рішення поставлених задач використовувались відповідні можливості програмного комплексу.

2.2.2 Робота з комплексом Flow Vision

Модель двухфазного течії

Модель двухфазного течії рідини призначена для дослідження двофазних течій з вільною поверхнею. Ця модель використовується для визначення коефіцієнтів опору кораблів і підводних апаратів, заповнення форм розплавом металів і т.д.

Модель використовує функцію VOF, приймаючи значення 0 (газ) і 1 (рідина). Вільна поверхня представляється набором фасеток, що відтинають розрахункову область. Розраховуються всі осередки, в яких присутня рідина.

Дисперсна фаза

Частка - або крапля рідкого палива, або твердий кулька, що містить зумовлені масові частки води, летючих, коксу та золи.

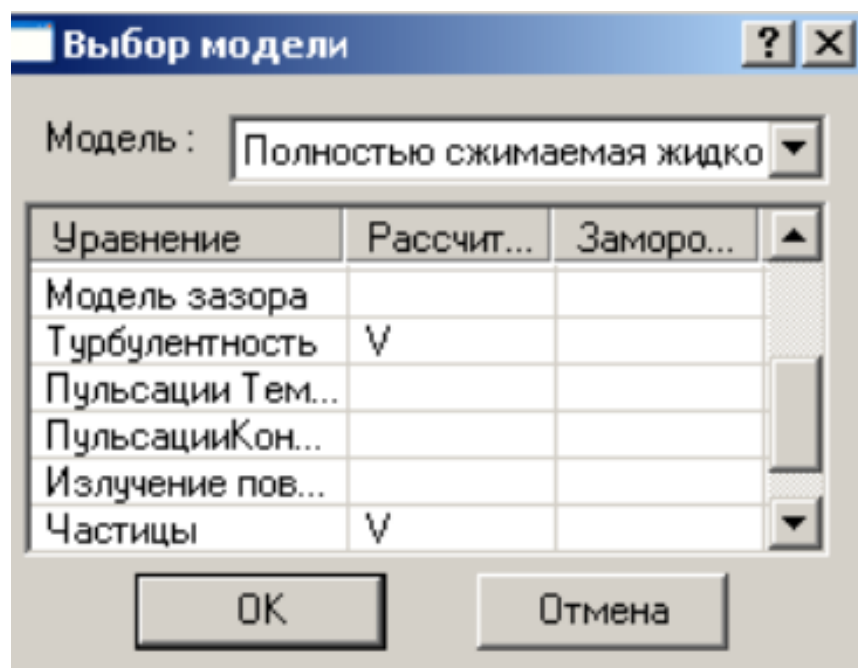
Характеристики частинок задаються звичайним чином у вікні властивостей елемента Частинки. Рідка крапля нагрівається і випаровується. До досягнення температури кипіння випаровування відбувається в конвективному режимі. Після досягнення температури кипіння - в режимі кипіння.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------|-------------|
| | | | | | <i>КМ 05.00.00.00 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 17 |

Частинки

Модель призначена для моделювання двофазних течій з частинками. Несуча фаза може бути рідиною або газом. Частинки можуть бути твердими кульками, краплями, або бульбашками.

Модель Частинки працює спільно з усіма моделями течії. Завжди передбачається взаємний вплив фаз, тобто несуча фаза визначає траєкторії частинок, частинки в свою чергу впливають на перебіг через джерела маси, імпульсу (т. е. силу опору, що діє на несучу фазу) і енергії. Щоб запуснути розрахунок часток, необхідно поставити маркер близько "рівняння" Частинки в вікні Вибір моделі (малюнок 2.3)



Малюнок 2.3 Вибір Моделі

Для чисельного моделювання використовувався програмний комплекс Flow Vision, який ефективно вирішує ряд практичних завдань, серед яких моделювання течії в проточних частинах турбін, компресорів, насосів, азів і рідин по каналах трубопроводах і т.д.

FlowVision заснований на чисельному рішенні тривимірних стаціонарних і нестаціонарних рівнянь динаміки рідини і газу, які включають в себе закони збереження маси, імпульсу (рівняння Нав'є-Стокса), рівняння

стану. Для розрахунку складних рухів рідини і газу, супроводжуваних додатковими фізичними явищами турбулентності, контактних меж розділу, теплопереносу, в математичну модель включаються додаткові рівняння, що описують ці явища [86, 87].

FlowVision використовує звичайно-об'ємний підхід для апроксимації рівнянь математичної моделі. Рівняння Нав'є-Стокса розв'язуються методом розщеплення по фізичним процесам (проекційний метод MAC).

Даний комплекс відрізняється простотою побудови розрахункової сітки, так щоб згенерувати сітку, досить задати лише кілька параметрів, після чого вона автоматично генерується для розрахункової області, що має геометрію будь-якої складності. Препроцесор, вирішувач і постпроцесор об'єднані і працюють одночасно.

Препроцесор служить для імпортування геометрії розрахункової області з систем геометричного моделювання, завдання моделі середовища, розстановки початкових і граничних умов, генерації розрахункової сітки і завдання критеріїв збіжності, після чого управління передається вирішувач, який починає процес розрахунку. При досягненні необхідного значення критерію збіжності процес рахунку може бути зупинений.

Базовими в програмі FlowVision є рівняння

Нав'є-Стокса (разом з рівнянням нерозривності). Для замикання цих рівнянь в залежності від конкретного завдання можуть використовуватися додаткові співвідношення, що описують зміну щільності, турбулентний перенос і т. П. Набори таких співвідношень в сукупності з рівняннями Нав'є-Стокса називаються моделями.

При моделюванні вузла лабіринтового ущільнення використовувалися наступні моделі:

- $k-\epsilon$ модель турбулентного течії в'язкої рідини з невеликими змінами щільності при великих числах Рейнольдса;
- модель повністю стискуваної рідини (в термінології FlowVision): стаціонарне і нестаціонарне протягом при будь-яких числах Маха (до-, транс-, над- і гіперзвукові течії).

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | KM 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 19 |

Для розв'язання виникаючої системи лінійних алгебраїчних рівнянь використовувався як неявний (більш надійний) варіант ітераційного процесу. Метод базується на підході Ейлера до опису руху рідини, суть якого полягає в тому, що різні скалярні і векторні величини розглядаються як функції змінних Ейлера.

Роботу в препроцесорів можна розділити на кілька етапів:

Постпроцесор використовувався для виведення і подання отриманих в результаті розрахунків даних. Дані виводилися на проміжних етапах розрахунку, і це дозволяло відстежувати динаміку модельованого процесу. При цьому крок за часом задавався постійним, а кінець розрахунку визначався збіжністю всіх розв'язуваних рівнянь. Головним критерієм встановлення стаціонарного режиму течії в ущільненні, є рівність масових витрат газу у вхідному і вихідному перерізі. Використовувалася можливість комплексу з розрахунку течії в агрегаті з обертовими частинами. Якщо обертові частини (ротори) можуть бути оточені циліндричних поверхнями без перетину кордонів розрахункової області, застосовується технологія "змінних сіток": ротори розраховуються в обертових системах координат, нерухомі частини (статори, корпус) - в нерухомій системі координат. У разі моделювання вузла лабіринтового ущільнення ротори не можуть бути оточені циліндричними поверхнями, тому була застосована технологія "рухомих тіл". яких моделювання течії в проточних частинах турбін, компресорів, насосів, азів і рідин по каналах трубопроводах і т.д. FlowVision заснований на чисельному рішенні тривимірних стаціонарних і нестаціонарних рівнянь динаміки рідини і газу, які включають в себе закони збереження маси, імпульсу (рівняння Нав'є-Стокса), рівняння стану. Для розрахунку складних рухів рідини і газу, супроводжуваних додатковими фізичними явищами турбулентності, контактних меж розділу, теплопереносу, в математичну модель включаються додаткові рівняння, що описують ці явища [86, 87]. FlowVision використовує звичайно-об'ємний підхід для апроксимації рівнянь математичної моделі. Рівняння Нав'є-Стокса розв'язуються методом розщеплення по фізичним процесам (проекційний

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | KM 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 20 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

метод МАС). Даний комплекс відрізняється простотою побудови розрахункової сітки, так щоб згенерувати сітку, досить задати лише кілька параметрів, після чого вона автоматично генерується для розрахункової області, що має геометрію будь-якої складності. Препроцесор, вирішувачу і постпроцесор об'єднані і працюють одночасно.

Препроцесор служить для імпортування геометрії розрахункової області з систем геометричного моделювання, завдання моделі середовища, розстановки початкових і граничних умов, генерації розрахункової сітки і завдання критеріїв збіжності, після чого управління передається вирішувачу, який починає процес розрахунку. При досягненні необхідного значення критерію збіжності процес рахунку може бути зупинений. Базовими в програмі FlowVision є рівняння Нав'є-Стокса (разом з рівнянням нерозривності). Для замикання цих рівнянь в залежності від конкретного завдання можуть використовуватися додаткові співвідношення, що описують зміну щільності, турбулентний перенос і т. П. Набори таких співвідношень в сукупності з рівняннями Нав'є-Стокса називаються моделями. При моделюванні вузла лабіринтового ущільнення використовувалися наступні моделі:

- k-ε модель турбулентного течії в'язкої рідини з невеликими змінами щільності при великих числах Рейнольдса;
- модель повністю стискуваної рідини (в термінології FlowVision): стаціонарне і нестаціонарне протягом при будь-яких числах Маха (до-, транс-, над- і гіперзвукові течії).

Для розв'язання виникаючої системи лінійних алгебраїчних рівнянь використовувався як неявний (більш надійний) варіант ітераційного процесу. Метод базується на підході Ейлера до опису руху рідини, суть якого полягає в тому, що різні скалярні і векторні величини розглядаються як функції змінних Ейлера.

Роботу в препроцесорів можна розділити на кілька етапів:

Постпроцесор використовувався для виведення і подання отриманих в результаті розрахунків даних. Дані виводилися на проміжних

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | KM 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 21 |

етапах розрахунку, і це дозволяло відстежувати динаміку модельованого процесу.

При цьому крок за часом задавався постійним, а кінець розрахунку визначався збіжністю всіх розв'язуваних рівнянь. Головним критерієм встановлення стаціонарного режиму течії в ущільненні, є рівність масових витрат газу у вхідному і вихідному перерізі.

Використовувалася можливість комплексу з розрахунку течії з частинами. В якості об'єкта чисельного дослідження на першому етапі використана модельна установка, що забезпечує умови роботи, максимально наближені до реальних. Дослідження проводилися на натурних умовах. Течію вважали турбулентною і осесиметричною. Використана k-ε - модель турбулентності. В якості вихідних даних задавалися граничні умови p і T у вхідному перетині сопла.

В результаті розрахунків визначалися значення величин протікання через сопло, розподіл тиску по його довжині, швидкостей і щільності. Отримано візуалізації течії у вигляді полів (залівок) швидкості, тиску, щільності, векторів, спалахів (анімації руху потоку) і ізолій.

Прийняті допущення:

Модельовання течії проводилося в стаціонарній постановці, повітря розглядався як досконалий газ. Поверхні стінок проточної частини приймалися гідравлічно гладкими. Стінки проточної частини - адіабатичні.

Завдання граничних умов:

Розрахункова область є нероздільною.

На даному етапі визначалися типи граничних умов і їх привласнення на конкретних поверхнях.

При розрахунку сопла виділені наступні типи граничних умов:

- "Вхід" - вхідний перетин сопла;
- "Вихід" - вихідна перетин сопла;
- "Стінка" - "тіло" сопла.

Супергрупи створювалися на граничних умовах «Вхід» і «Вихід», після чого експортувалася в постпроцесор, як складний фасеточний об'єкт на

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | KM 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 22 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

якому були побудовані шари візуалізації (залівка, вектора, ізолінії, спалахи). Також будувалися такі характеристики, як: тиск, температура, щільність і швидкість. Основний необхідністю створення супергруп на вході і виході є забезпечення можливості порівняння масової витрати, що впадає в ущільнення і який із нього. Знаки «+» і «-» відповідають втеканія і витікання потоку маси через робочу область. На виході з ущільнення в характеристиках завжди буде стояти мінус перед значенням масової витрати. Всі параметри відлічувалися щодо заданим опорним величинам, відповідним атмосферних умов.

Вхідними крайовими умовами є значення тиску і температури. Для отримання задовільною збіжності розрахунків на натурних умовах, необхідно в якості опорних величин задавати тиск на вході в ущільнення, відповідно у вхідному перетині задається $p = 0$, а тиск на виході зі знаком "-". Температура на вході приймалася незмінною при будь-яких значеннях ущільнюваного перепаду δ_1 / δ_2 , в силу несуттєвого її впливу.

Побудова і адаптація розрахункової сітки

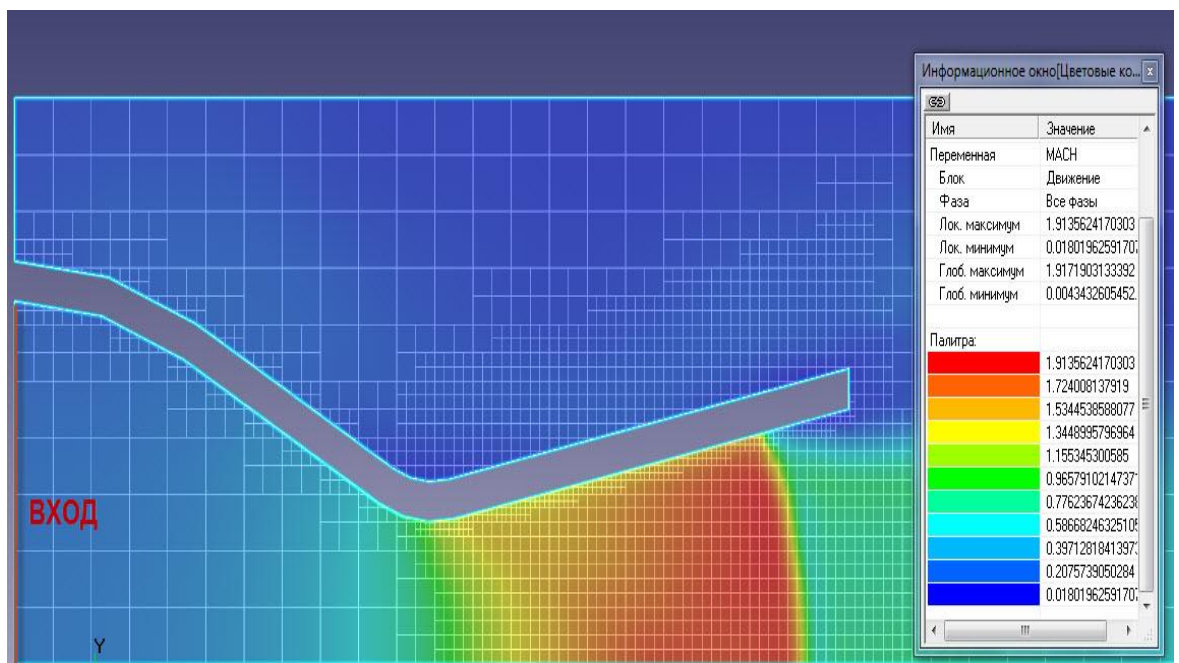
В Flow Vision чисельне інтегрування рівнянь по просторовим координатам проводиться з використанням прямокутної адаптивної локально подрібненої сітки. Такий підхід забезпечує, з одного боку, використання простої рівномірної неадаптивної сітки при вирішенні завдань з відносно нескладною геометрією. З іншого боку, з'являється можливість при вирішенні завдань зі складною геометрією проводити адаптацію (підстроювання) сітки до особливостей геометрії поблизу кордонів.

На першому етапі вводяться ряд параметрів, що характеризують розмір майбутньої сітки (осередків). Наступний етап - уточнення розрахункової сітки - пов'язаний з процесом адаптації початкових розрахункових осередків. Суть адаптації полягає в подрібненні осередків в тих областях, де передбачається, що початкова сітка є грубою і адекватно не відображає зміни, що відбуваються фізичних параметрів.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 23 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

Інтерфейс FlowVision включає можливості автоматичного і ручного контролю формування сітки, в тому числі додавання (видалення) осередків сітки в певних областях.

Стосовно до досліджуваного сопла необхідно адаптувати розрахункову сітку до його геометрії (щілинному зазору з гострою кромкою). Дане завдання здійснене побудовою досить точної розрахункової сітки нульового рівня таким чином, щоб в радіальному зазорі $s = 7$ мм містилося близько 30 осередків максимально наближених до квадратної форми (малюнок 2.4). Збіжність результатів оцінювалася за інтегральними характеристиками у вхідному і вихідному перетинах ущільнення.



Малюнок 2.4 Розрахункова сітка сопла

Була проведена серія розрахунків сопла розрахунковими сітками, що мають різну кількість осередків, з метою виявлення найкращого її варіанту. В результаті було вибрано раціональну кількість розрахункових осередків рівню $N = 110000$. Програмний комплекс оперує сітьмома моделями турбулентності. За найпоширенішим для подібних завдань моделям турбулентності (SST, стандартна $k-\varepsilon$, SA, низько - Рейнольдсова модель AKN) проведена серія порівняльних розрахунків, що не виявила суттєвих

Нижче більш детально описана робота по наладці програмного комплексу до вирішення поставлених задач.

Алгоритм моделювання в пакеті Flow Vision

FlowVision використовують прямокутну адаптивну сітку з локальним подрібненням. Для апроксимації криволінійної геометрії з підвищеною точністю FlowVision використовує технологію подсеточного дозволу геометрії. Ця технологія дозволяє імпортувати геометрію з систем САПР і обмінюватися інформацією з системами кінцево-елементного аналізу. Використання цієї технології дозволило вирішити проблему автоматичної генерації сітки – щоб згенерувати сітку, досить задати лише кілька параметрів, після чого сітка автоматично генерується для розрахункової області, що має геометрію будь-якого ступеня складності.

FlowVision побудований на базі єдиної інтегрованої середовища, в якій препроцесор, вирішувач і постпроцесор об'єднані і працюють одночасно.

У функціональне призначення Препроцесора входить імпортування геометрії розрахункової області систем геометричного моделювання, завдання моделі середовища, розміщення початкових і граничних умов, генерація або імпорт розрахункової сітки і завдання критеріїв збіжності.

Після цього управління передається Решателю, який починає процес рахунку. При досягненні необхідного значення критерію збіжності процес рахунку може бути зупинений.

Результати розрахунку безпосередньо під час рахунку доступні для Постпроцесора, в якому проводиться обробка даних - візуалізація результатів і збереження їх у зовнішні формати даних.

Фізико-математичні моделі

Базовими в програмі Flow Vision є рівняння Нав'є–Стокса (разом з рівнянням нерозривності). Для замкнення цих рівнянь в залежності від конкретної задачі можуть використовуватися додаткові співвідношення, які

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------|-------------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00 ПЗ | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 26 |

описують зміну щільності, турбулентний перенос і т. п. Набори таких співвідношень в сукупності з рівняннями Нав'є–Стокса називаються моделями. У Flow Vision найбільш повно представлені наступні моделі:

- наближення Буссинеска (малі зміни щільності) для опису ламінарного течії в'язкої рідини при малих числах Рейнольдса;
- k-ε модель турбулентної течії в'язкої рідини з невеликими змінами щільності при великих числах Рейнольдса;
- модель слабкостиснуваної рідини (в термінології Flow Vision), яка дозволяє розраховувати стаціонарне дозвукове протягом газу при будь-яких змінах щільності;
- модель повністю нестисливої рідини (в термінології Flow Vision): стаціонарне і нестаціонарне протягом при будь-яких числах Маха (до-, транс-, понад - і гіперзвукові течії).

Flow Vision припускає також використання моделі теплопереносу в твердому тілі, сопрягаемой з перенесенням тепла і речовини в рідині (газі). Крім того, в Flow Vision включені кілька спеціальних моделей (безпосередньо не пов'язаних з рівняннями Нав'є–Стокса), з яких у навчальну версію пакету входять тільки моделі вільної поверхні, течії двофазного і одна з моделей горіння.

Граничні і початкові умови

У комплексі Flow Vision допускається використання широкого набору граничних умов, що залежать від конкретної моделі, однак всі вони базуються на наступних найбільш часто зустрічаються умовах на гідродинамічні змінні (тиску і швидкості):

- умови прилипання або прослизання рідини, що задаються для вектора швидкості на кордонах з твердими тілами;
- умови на значення тиску, зазвичай задаються на межах;
- умови на значення швидкості потоку по нормалі до межі або під кутом до нормалі;
- умова витікання з нульовим градієнтом тиску;

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | KM 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 27 |

- комбінації умов, перерахованих вище, наприклад, вільне витікання рідини з нульовими градієнтами тиску та швидкості або задані на кордоні значення тиску і швидкості.

Слід зауважити, що конкретні граничні умови, як і значення параметрів рівнянь (щільність, в'язкість, теплопровідність тощо), можуть задаватися змінними за часом.

Початкові умови необхідно задавати при розгляді моделей, відповідних нестационарним руху. В залежності від виду моделюючих рівнянь в початковий момент часу у всіх точках розрахункової області задаються значення шуканих функцій і (або) деяких похідних від них, причому ці значення можуть бути різними в різних частинах області.

Опишемо послідовність дій, необхідної для рішення поставленої задачі в пакеті Flow Vision. Слід зауважити, що перше з цих дій виконується за допомогою зовнішньої програми — геометричного препроцесора.

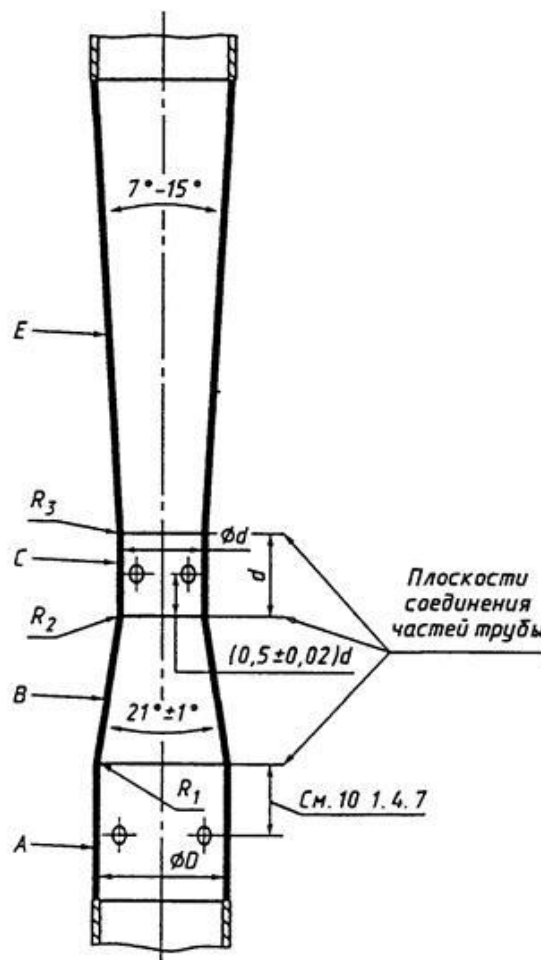
В якості такого препроцесора використовується пакет КОМПАС-3D V12, що відноситься до сімейства CADов (Computer-Aided Design — автоматизоване проектування), які отримали широке поширення в сучасній науковій та інженерній практиці.

Геометричний препроцесор (КОМПАС-3D V12)

1. Створення геометрії (розрахункової області). Після запуску програми КОМПАС-3D V12 слід натиснути на кнопку «Створити» і вибрати «Деталь». У лівій частині вікна нової деталі потрібно виділити «Площина 1», після чого натиснути на третю зверху кнопку «Ескіз» на правій панелі інструментів. Для зручності дотримання потрібних розмірів доцільно нанести масштабну сітку (0.1 м) між основними лініями за допомогою натискання на другу зверху кнопку тій же панелі з наступною установкою прапорця «Відображати масштабну сітку». В якості елементів розрахункової області найчастіше використовуються прямокутник, лінія, окружність або її частина; вони створюються відповідно за допомогою кнопок «Прямокутник» , «Лінія» ,

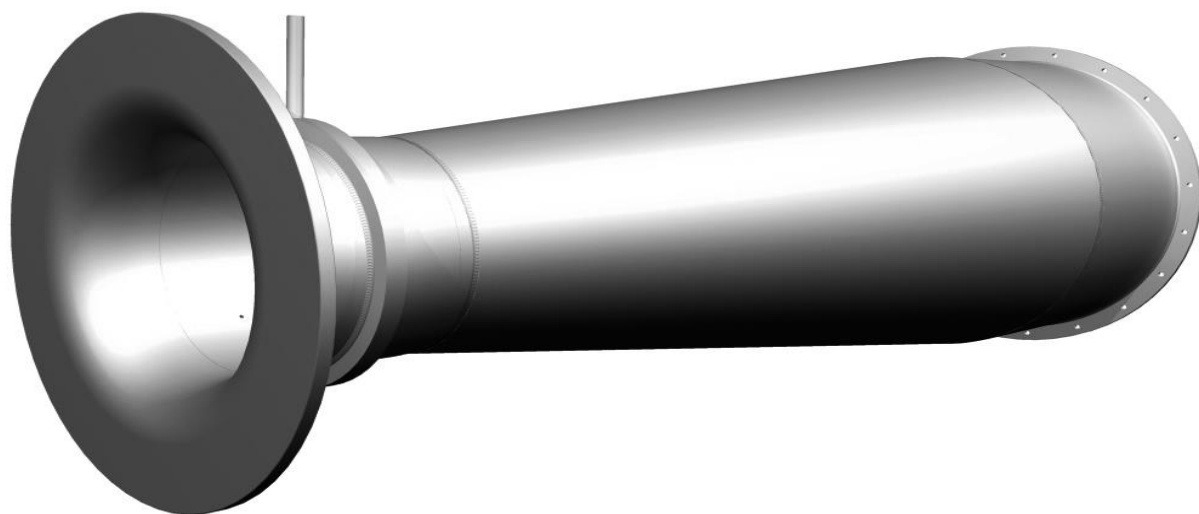
| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | KM 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 28 |

«Коло» , «Дуга через 3 точки» , які знаходяться на правій панелі інструментів. Щоб намалювати складні фігури типу еліпса (якого немає на панелі інструментів), слід вибрати пункт меню «Інструменти/Об'єкти ескізу». Масштаб (розмір зображення на екрані) змінюється або з допомогою колеса миші, або після натиснення кнопки «Збільшити/зменшити вид» у верхній частині екрана — переміщенням покажчика миші вгору або вниз при натиснутій лівій кнопці. За допомогою пункту меню «Вставка/Підстава/Витягнути...» — «ОК» накреслене замкнутий контур (прямокутник) перетворюється в тривимірне тіло (ще раз зазначимо, що пакет Flow Vision працює тільки з тривимірної геометрії). Розмір по третій координаті (0.01 м) тут не потрібно змінювати (у плоских задачах він несуттєвий). Нижче наведена розрахункова модель (малюнок 2.6 – 2.8).

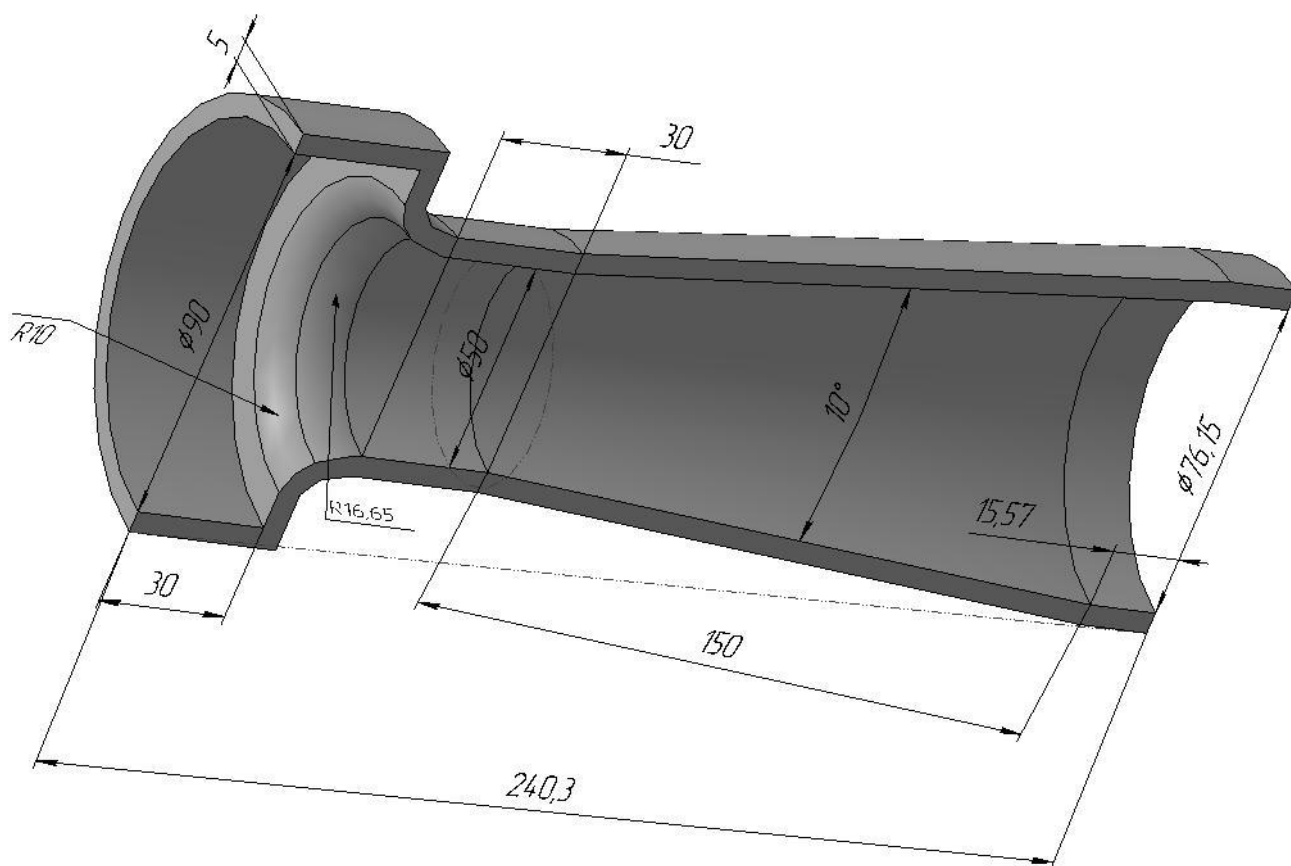


Малюнок 2.6 Ескіз моделі

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | KM 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 29 |



Малюнок 2.7 Твердотільна модель досліджуваного об'єкта



Малюнок 2.8 Розрахункова модель проточної частини щілини

Модель розрахунку – повністю стискаєма рідина.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 30 |

ЗАВДАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ В ПРЕПРОЦЕСОРІ

Склад і призначення основних моделей пакету

Розглянемо логічну структуру пакету Flow Vision.

Як і більшість програм для чисельного моделювання, пакет Flow Vision формально ділиться на 3 модулі, звані препроцесором, солвером і постпроцесором.

Препроцесор

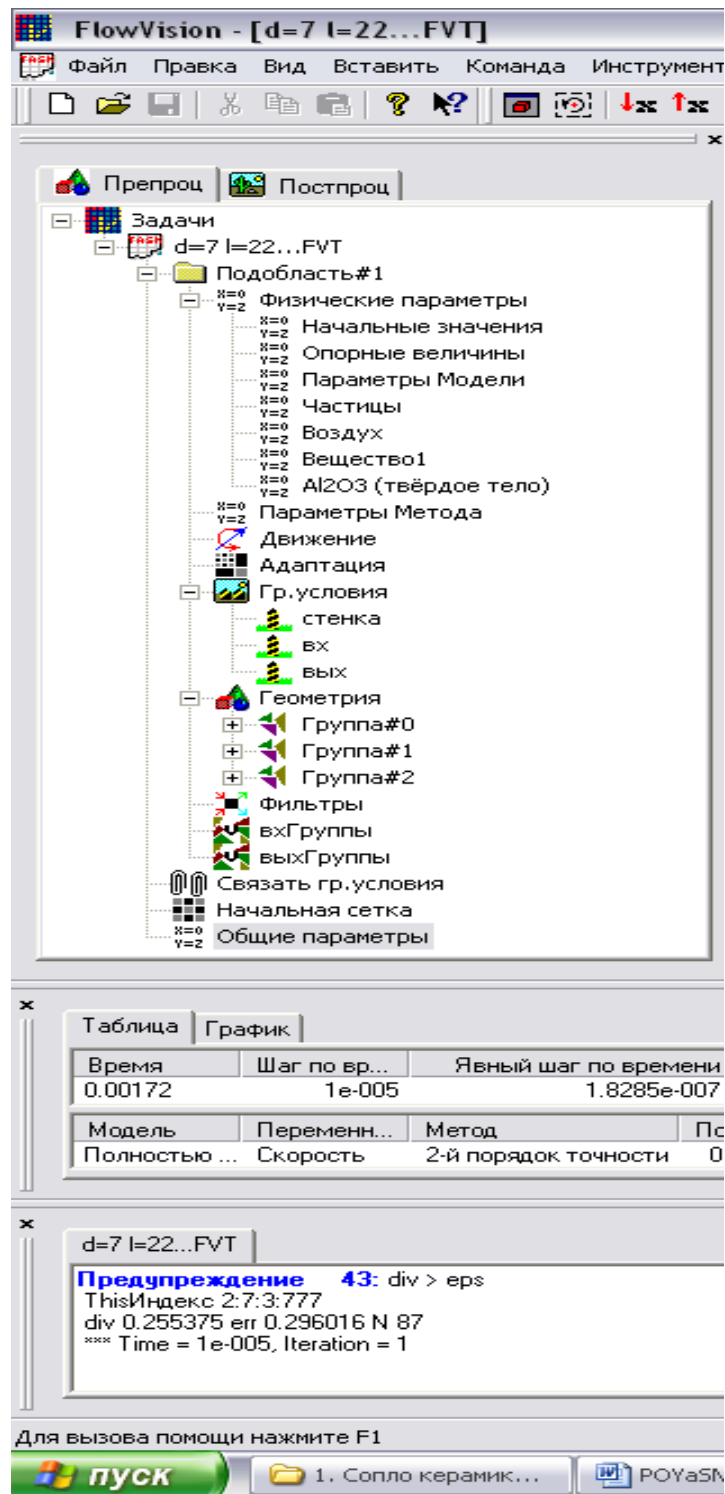
Препроцесор виконує такі основні функції:

- Побудова геометричної основи завдання — розрахункової області, яка формується з допомогою зовнішніх програм (так званих геометричних препроцесорів) і потім імпортується в Flow Vision. Слід зауважити, що Flow Vision працює тільки з тривимірної геометрії, тому двовимірні моделі необхідно розглядати як окремий випадок тривимірних.

- Фізико-математична постановка задачі: вибір моделі для внутрішніх точок розрахункової області (завдання конкретного виду рівняння, значень коефіцієнтів), а також завдання на границях розрахункової області граничних умов, а для нестационарних задач — початкових умов.

- Введення параметрів розрахункової сітки та чисельного методу для чисельного розв'язання задачі.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 31 |



Малюнок 2.9 Дерево препроцесора

Дерево препроцесора містить вузли з назвами типу «Подобласть#1», відповідні подобластям розрахункової області. При цьому якщо область просторово неодносвязна, то число їх більше 1. Також в дереві препроцесора є вузли «Початкова сітка» і «Загальні параметри», які служать передусім для введення параметрів чисельного розрахунку. У кожній підобласті

допускається завдання своєї моделі (див. нижче): наприклад, ламінарна течія нестисливої і нестисливої рідини, турбулентний, багатофазне течії і т. д. У свою чергу сайт «Подобласть» містить дочірні вузли для завдання граничних умов на розрахункові змінні (вузол «Гр. умови»), початкових умов у всій розрахунковій області (вузол «Початкові значення») і власне фізичних параметрів, що визначають коефіцієнти рівнянь (вузол «Речовина 0»), а також вузли для вводу і зміни параметрів чисельного розрахунку (вузол «Параметри методу»).

Фізико-математична постановка задачі

Вибір математичної моделі (набору рівнянь). Розкрити дерево, клацнувши лівою кнопкою миші по вузлу , потім виділити правою кнопкою вузол дерева «Подобласть#1». У контекстному меню вибрати пункт «Змінити модель...», далі у вікні, вибрати один їх пунктів списку «Модель» (в більшості прикладів, розглянутих нижче, вибирається «ламінарними рідина» - так називається модель ламінарної течії нестисливої рідини в термінах Flow Vision).

Введення фізичних параметрів. Через контекстне меню вузла дерева «Речовина 0» відкрити вікно властивості речовини (рідини / газу); вибрати потрібні параметри (при необхідності можна користуватися стрілками). Потім у верхньому рядку таблиці («Значення») числових значень параметрів натиснути кнопку, а потім або закрити вікно властивостей, або «прикріпити» () його до екрану. Основними параметрами є «Щільність» і «Молекулярна в'язкість».

Введення граничних умов. В гілки дерева «Гр. умови »виділити відповідну кордон в дереві (при цьому в правій (основний) частини вікна позначена межа забарвлюється в колір, заданий раніше). Далі відкрити вікно редагування граничної умови, або через пункт контекстного меню «Редагувати», або через кнопку «Ed» у вікні властивостей. Можливі такі характерні комбінації типів граничних умов:

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------|-------------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00 ПЗ | <i>Лист</i> |
| | | | | | | 33 |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | |

а) «Тип кордону» - «Стінка»; «Тип граничного умови» - «Стінка з проскальзиванієм» (звернення в нуль нормальної компоненти швидкості) або «Стінка» (звернення в нуль всіх компонент швидкості);

б) «Тип кордону» - «Вхід / вихід», «Тип граничного умови» - «Нормальний вхід / вихід» або «Тиск на вході»;

в) «Тип кордону» - «Вільний вихід», «Тип граничного умови» - «Нульове тиск / вихід».

Примітка. Для полегшення подальшої роботи кордону бажано перейменувати (назвавши «Стінка», «Вхід», «Вихід» і т.п.) або через пункт контекстного меню «Перейменувати», або через вікно властивостей граничної умови.

Введення початкових умов за допомогою фільтра.

У препроцесорів правою кнопкою миші клацнути по значку «Фільтри», потім - «Створити» У списку «Об'єкт» вибрати «Весь простір», в списку «Тип» - «Установка змінної». У вкладці «Встановити значення» вибрати тип фільтра «Одноразовий», вибрати назву змінної (наприклад, «x-Швидкість») і ввести значення змінної.

Висновки за розділом 2

В даному розділі описана методика чисельного та експериментального дослідження ежектора із застосуванням двох програмних комплексів та експериментального стенду. Надані методичні пояснення та рекомендації щодо налаштування цих комплексів до вирішення поставлених задач.

Виконаний аналіз існуючих проблем та типових труднощів при моделюванні течії з двофазним середовищем.

Описана методика налаштування програмного комплексу FlowVision до вирішення задач течії абразивного матеріалу.

Описана конструкція та принцип роботи експериментальної ежекторно-очисної установки.

Висвітлена методика проведення прямих та непрямих вимірювань, що мали місце в даній роботі.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 35 |

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

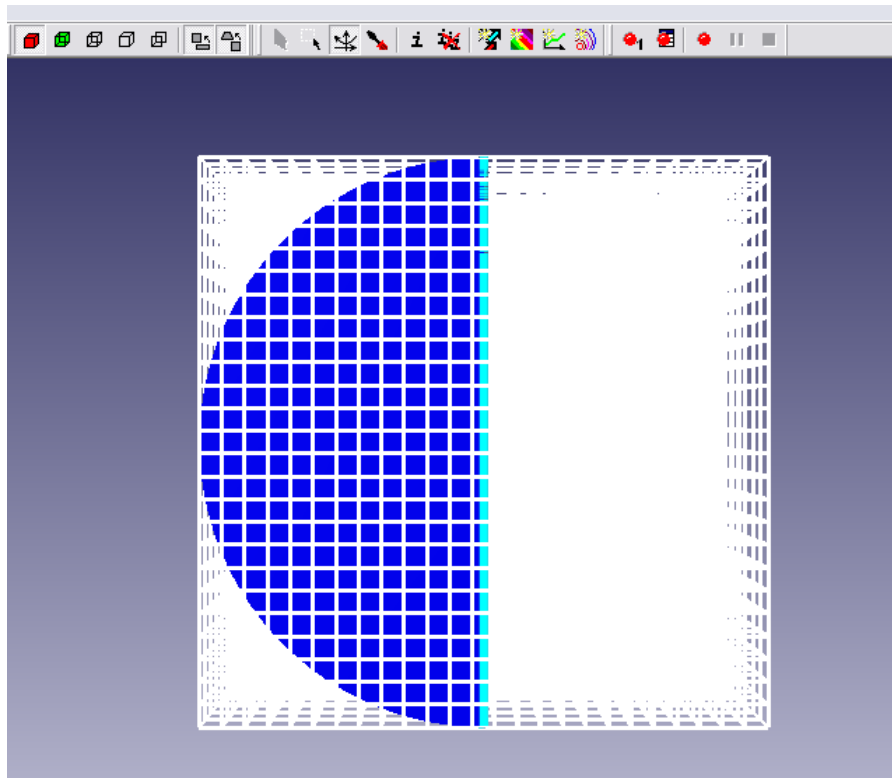
В даному розділі наведені результати чисельних та експериментальних досліджень сопел для ежекторно-очисної установки. Досліджуваося звичайне циліндричне керамічне сопло, сталеве циліндричне сопло, керамічне сопло зроблене з автомобільної свічки запалювання, сопло зі спеціальним покриттям та сопло Вентурі.

3.1 Дослідження циліндричного сопла

Виконано чисельне дослідження проточної частини піскоструменевого сопла з діаметром d , та довжиною l з використанням програмного комплексу FlowVision. На малюнку розрахункова сітка моделі (малюнок 3.1). Модель течії – повністю стискаєма рідина з активацією двухфазного середовища (опцією частинки). Абразивні частинки мають діаметри, що коливаються в діапазоні 0,0001–0,001м. Число розрахункових ячілок порядку $N=20000$, використовувалась неявна схема розрахунку. Перепад тиску $p_2 / p_1 = 1,98 - 5$ що відповідає виходу очисної установки на робочий режим (табл. 3.1).

Звичайне циліндричне сопло досліджувалося для встановлення особливостей протікання двухфазного середовища з метою пошуку резервів по підвищенню його ефективності.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | KM 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 36 |



Малюнок 3.1 – Розрахункова сітка

В наведених нижче таблицях отримані результати чисельним шляхом, а час обробки деталей – експериментальним.

Таблиця 3.1 – Циліндричне сопло, матеріал – кераміка, $l=22$ мм

| d, мм | t, хв | мд, кг/с | мт, кг/с | μ | C2 fv, м/с | C2 ansys, м/с |
|-------|-------|----------|----------|-------|------------|---------------|
| 7 | 5,2 | 0,025 | 0,023 | 1,081 | 476 | 466 |
| 8 | 4,1 | 0,034 | 0,030 | 1,126 | 482 | 472 |
| 10 | 4,3 | 0,052 | 0,047 | 1,103 | 490 | 785 |
| 12 | 4,8 | 0,073 | 0,068 | 1,075 | 500 | 494 |

Таблиця 3.2 – Циліндричне сопло, матеріал – Ст. 40, $l=22$ мм

| d, мм | t, хв | мд, кг/с | мт, кг/с | μ | C2, м/с | C2 ansys, м/с |
|-------|-------|----------|----------|-------|---------|---------------|
| 7 | 8,2 | 0,024 | 0,023 | 1,043 | 366 | 395 |
| 8 | 5,8 | 0,031 | 0,030 | 1,033 | 384 | 399 |
| 10 | 5,8 | 0,049 | 0,047 | 1,042 | 394 | 402 |
| 12 | 7,4 | 0,070 | 0,068 | 1,029 | 412 | 422 |

Таблиця 3.2 – Циліндричне сопло, матеріал – Ст. 40, l=11 мм

| d, мм | t, хв | мд, кг/с | мт, кг/с | μ | C2, м/с | C2 ansys, м/с |
|-------|-------|----------|----------|-------|---------|---------------|
| 7 | 5,2 | 0,024 | 0,023 | 1,052 | 412 | 421 |
| 8 | 4,1 | 0,033 | 0,030 | 1,085 | 423 | 440 |
| 10 | 4,3 | 0,050 | 0,047 | 1,081 | 436 | 453 |
| 12 | 4,8 | 0,073 | 0,068 | 1,070 | 455 | 472 |

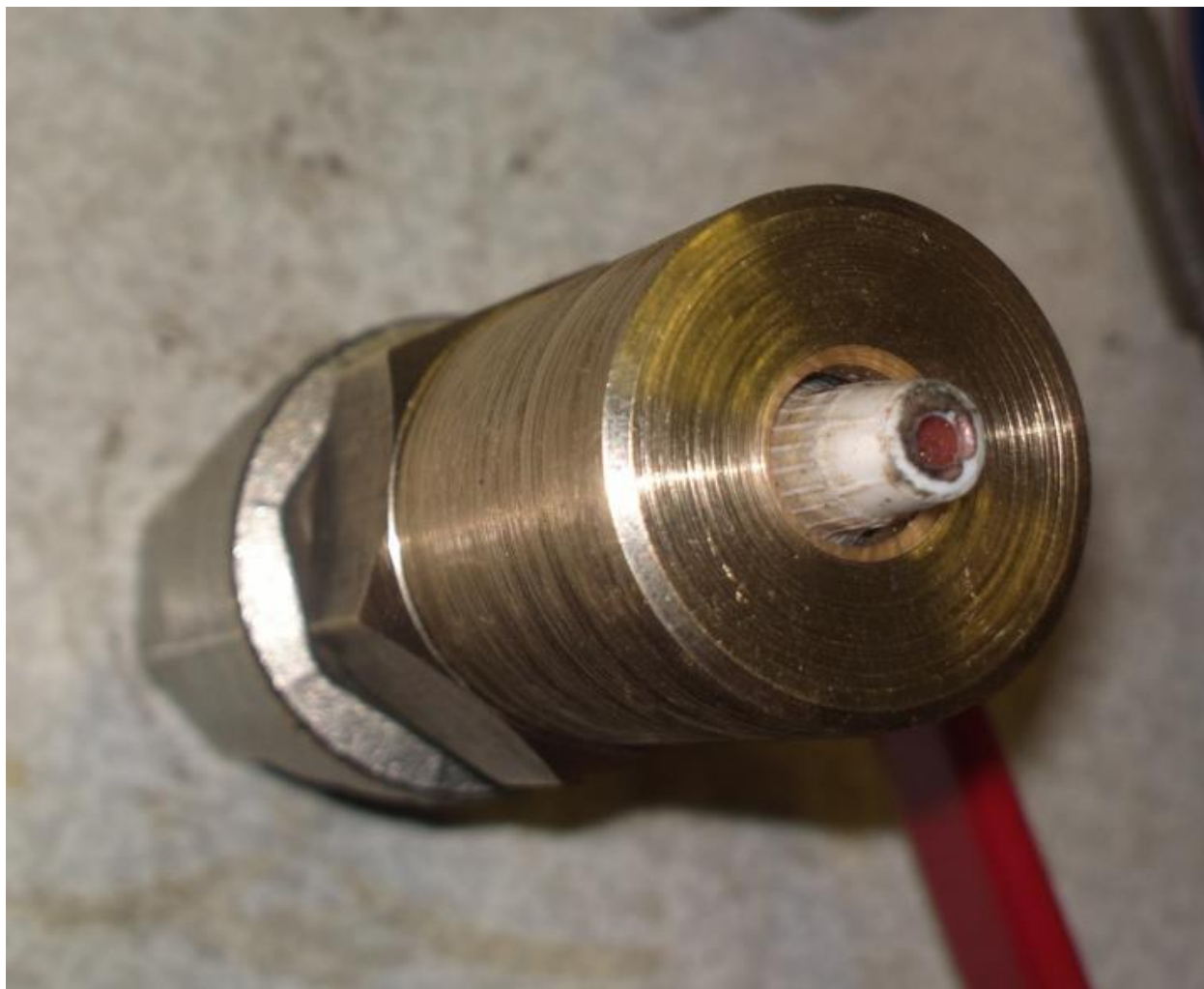
Таблиця 3.3 – Циліндричне сопло, матеріал – Ст. 40, l=44 мм

| d, мм | t, хв | мд, кг/с | мт, кг/с | μ | C2, м/с | C2 ansys, м/с |
|-------|-------|----------|----------|------|---------|---------------|
| 7 | 5,2 | 0,020 | 0,023 | 0,88 | 237 | 244 |
| 8 | 4,1 | 0,029 | 0,030 | 0,96 | 261 | 288 |
| 10 | 4,3 | 0,044 | 0,047 | 0,93 | 250 | 276 |
| 12 | 4,8 | 0,055 | 0,068 | 0,81 | 266 | 291 |

Циліндричне сопло діаметром 4,5 мм, l= 40 мм матеріал – кераміка зі свічки запалювання



а)



б)

Малюнок 3.2 – Саморобне сопло зі свічки запалювання: а) керамічне сопло; б) сопло в сопло тримачі.

Таблиця 3.4 – Результати експериментального дослідження сопла зі свічки запалювання

| Матеріал | d, мм | t, хв |
|----------|-------|-------|
| Кераміка | 4,5 | 6,5 |
| Ст 40 | 4,5 | 11 |

Експеримент показав що дане сопло краще справляється з локальними осередками корозії, товстих шарів фарби на невеликій площі. Великий об'єм краще обробляти іншим соплом, оскільки дане сопло має недостатній діаметр

та швидко зношується. Було виконане аналогічне сопло зі Ст 40, експеримент показав його меншу ефективність, практично в половину.

Таблиця 3.5 – Циліндричне сопло, матеріал – Ст 40, проведена карбонітрація, $l=22$ мм

| d, мм | t, хв |
|-------|-------|
| 7 | 4,8 |
| 8 | 3,7 |
| 10 | 4,0 |
| 12 | 4,6 |

З таблиці бачимо що наявне покриття робить сталеве сопло близьким до керамічного по швидкості обробки поверхні, недоліком є швидка зносостійкість сопла, порядок 1-2 годин безперервної роботи в залежності від товщини покриття.

Матеріал сопла

Сопла виготовляють з металів та керамічних матеріалів. Наведений нижче перелік матеріалів стосується тільки тієї області використання сопел, де вони безпосередньо контактують з повітрям і матеріалом. Огляд основних матеріалів, які використовують для виготовлення сопел і їх довговічності дає наступну картину [71, 100]:

- керамічні сопла – довговічність 1 – 2 год;
- чавунні сопла – довговічність 6 – 8 год;
- сопла з карбиду вольфраму – довговічність близько 300 год;
- сопла з карбиду бору – довговічність 750 – 1000 год.

Показники довговічності розраховані для матеріалу – пісок. При використанні як матеріалу сталених гранул довговічність приблизно у 2 – 2,5 рази більша. З точки зору довговічності, найдешевшим рішенням є вибір найбільш довговічних і стійких сопел для абразивоструменевих робіт, не дивлячись на те, що їх ціна висока. Керамічні і чавунні сопла не повинні використовуватись для масштабних піскоструменевих робіт, бо через їх

швидке зношення порушується загальна картина поверхні, що обробляється . Крім того, значно збільшується витрата повітря і матеріалу при неоптимальних геометричних розмірах внутрішньої поверхні сопла. Отже, виробничі витрати на 1 м² обробленої поверхні стають дуже високими.

Сопла з карбїду вольфраму можуть використовуватися для всіх відомих матеріалів. Сопла, облицьовані карбїдом бору, можуть використовуватися для будь-яких матеріалів.

Форма (конструкція) сопла

З моменту виникнення абразивоструменевого оброблення в 1870 році американцем Бенджаміном Чу Тилгменом, протягом більш ніж 50 років сопловий отвір виготовлявся прямої циліндричної форми. Подібні сопла мали швидкість виходу матеріалу біля 350 км/год при тиску струменя 0,6 МПа. Лише в 1954 році з метою оптимізації потужності струменя було розроблене піскоструминне сопло Вентурі. Сопло Вентурі відрізняється від сопел з прямим циліндричним отвором тим, що воно має всередині великий вхідний отвір, який поступово звужується до дуже короткої прямої частини всередині сопла, щоб потім знову розширитись до вихідного отвору сопла. Дякуючи такій новій формі сопла швидкість виходу матеріалу збільшується у 2 рази і складає зараз близько 720 км/год. Оскільки потужність струменя визначається силою, з якою матеріал вдаряється в оброблювану поверхню, то перевага сопел Вентурі очевидна.

Переваги сопел Вентурі полягають в тому, що вони:

- економлять абразивний матеріал. За допомогою раціонального дозування на дозувальному клапані з меншим пропусканням матеріалу і високої

швидкості на виході (720 км/год) може бути досягнутий такий самий очисний

ефект, що і в прямих сопел з більшим використанням матеріалу.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 41 |

- дають більш рівномірну картину абразивоструменевого оброблення по всій поверхні, що лежить в конусі струменя. Такий успіх обумовлений конічним розширенням до виходу з сопла в комбінації з високою швидкістю матеріалу. В прямих соплах навпаки, найбільша сила струменя знаходиться в середині конуса струменя і зменшується до краю.

Усі сопла Вентурі мають горловину діаметром не менше 1" \approx 25 мм.

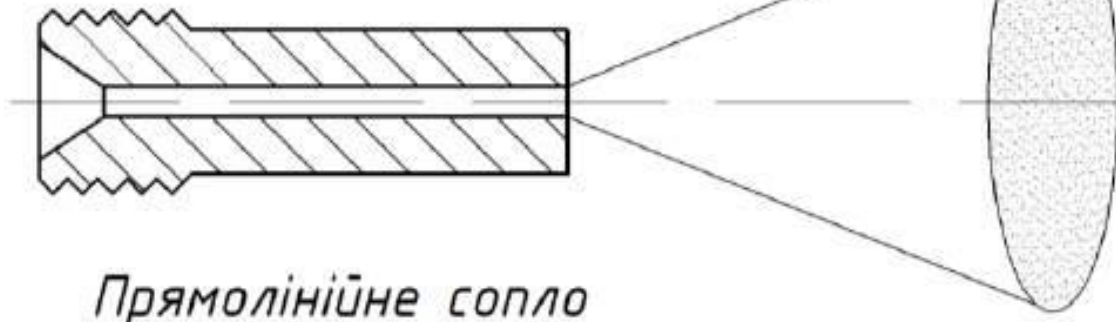
Горловинним отвором позначають діаметр отвору, через який стиснене повітря і матеріал входять в струменеве сопло з абразивоструменевого шлангу. Збільшення горловинного отвору до 32 мм внутрішнього діаметру грає роль у великих соплах, починаючи з діаметру 3/8" = 9,5 мм в плані подальшого збільшення потужності на 15%, витрата стисненого повітря і матеріалу не створюють негативного впливу. Такі сопла називаються широкогорловинними. Вони виготовляються тільки з бортиком (або паском) і кріпляться на струменевому шлангу спеціальним швидкороз'ємним з'єднанням. Для таких спеціальних сопел можна використовувати тільки струменевий шланг з внутрішнім діаметром 32 мм.

Таблиця 3.6 – Порівняльна таблиця абразивоструменевих сопел серійного виробництва

| Конструкція сопла | Довжина | Діаметр отвору сопла | Потужність |
|--------------------------|---------|----------------------|---|
| Широкогорловинне Вентурі | 175 мм | 11 мм | 100 % |
| пряме | 150 мм | 11 мм | 75 % потужності широкогорловинних сопел Вентурі |
| пряме | 50 мм | 11 мм | 65 % потужності широкогорловинних сопел Вентурі |

Нижче мал.. 3.3 зображено порівняльні конструкції двох основних типів сопел – прямолінійного і сопла форми Вентурі.

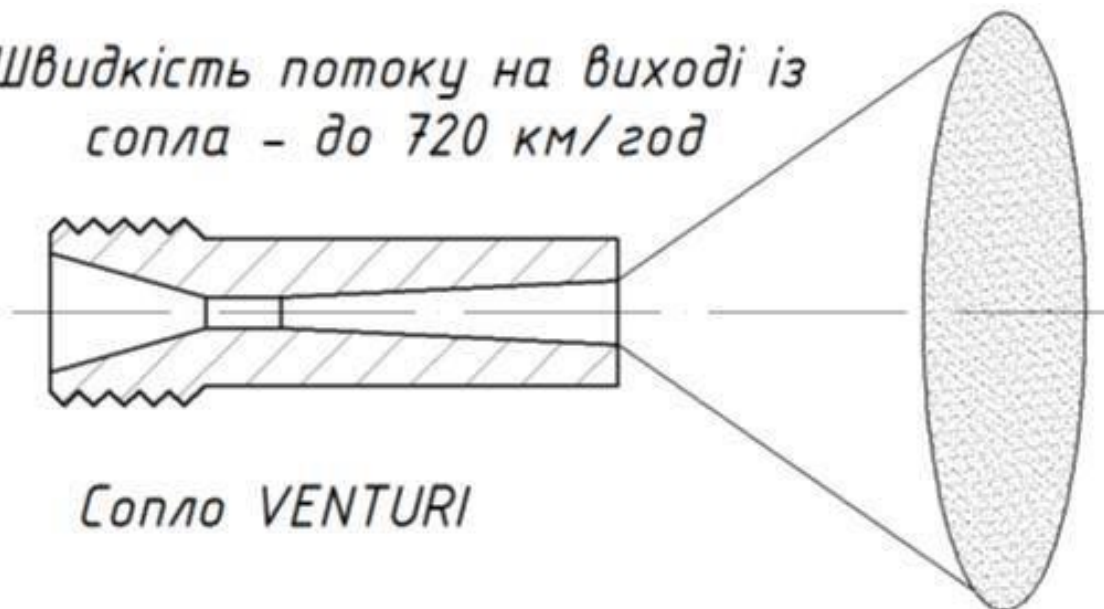
Швидкість потоку на виході із сопла – до 300 км/год



Прямолінійне сопло

а)

Швидкість потоку на виході із сопла – до 720 км/год



Сопло VENTURI

б)

Малюнок 3.3 – Порівняльні конструкції двох основних типів сопел: а) циліндричне сопло; б) сопло Вентурі

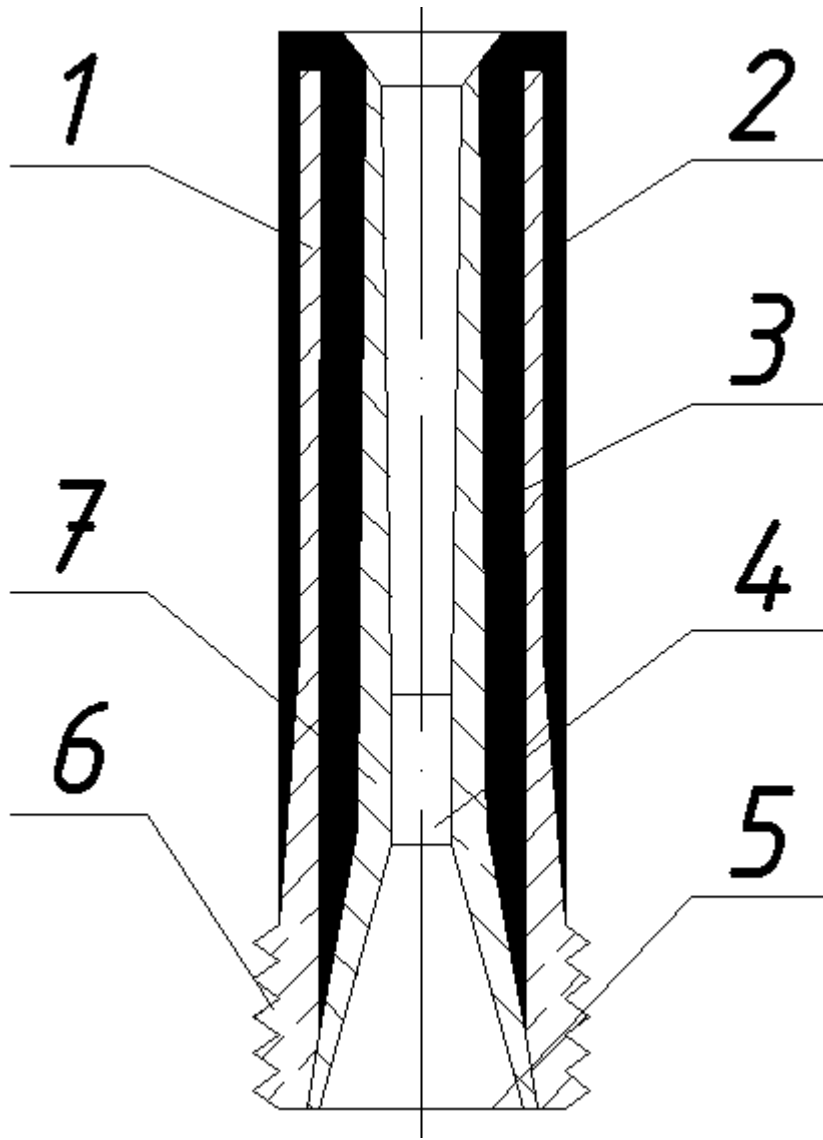
На мал. 3.4 наведені основні конструктивні частини сопел абразивоструменевих машин з керамічними вставками.

| | | | | |
|------|------|----------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |

КМ 05.00.00.00 ПЗ

Лист

43



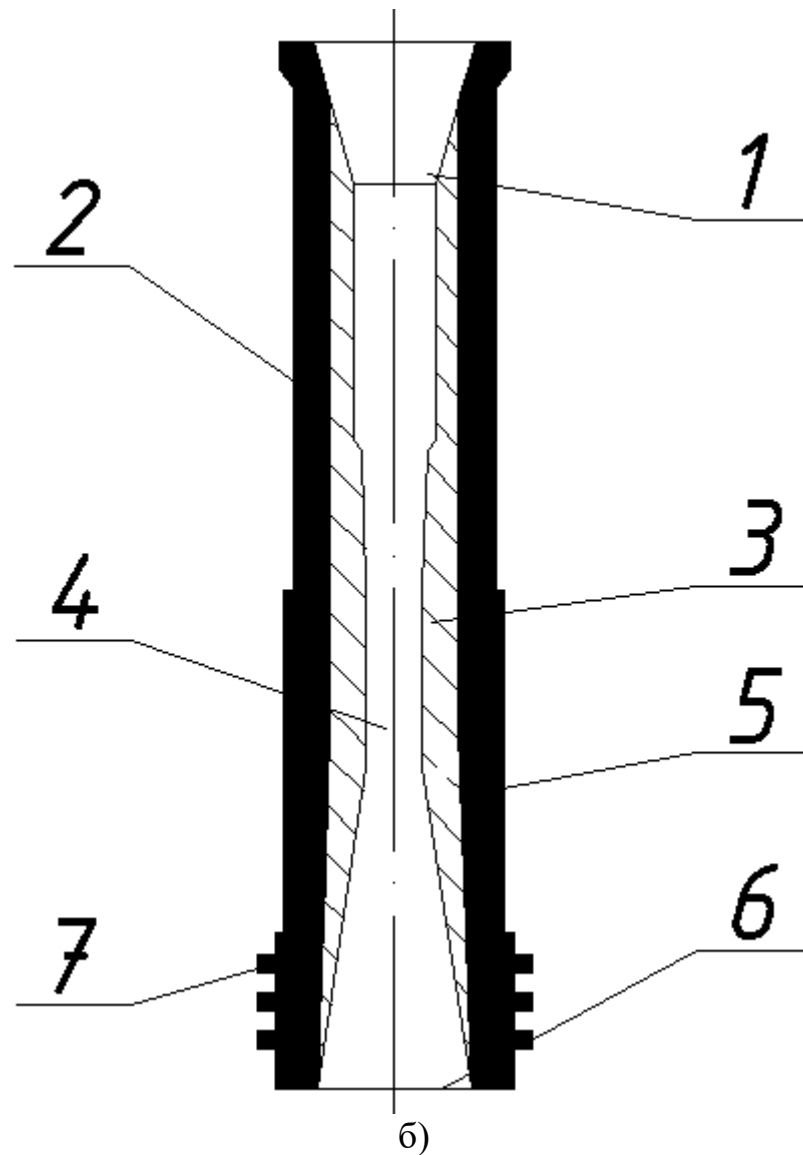
a)

| | | | | |
|------|------|----------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |

КМ 05.00.00.00 ПЗ

Лист

44



Малюнок 3.4 – Основні конструктивні частини сопел абразивоструменевих машин з керамічними вставками:

а) сопло з силікон-карбідовою вставкою: 1 - алюмінієва втулка; 2 – уретанова оболонка; 3 - уретанова подушка; 4 - прохідний отвір Вентурі; 5 - вхідний отвір; 6 - стандартна різь; 7 - силікон-карбідова вставка. б) сопло з вольфрам-карбідовою вставкою: 1 - протиударний наконечник; 2 - гумова оболонка; 3 - вольфрам-карбідова вставка; 4 - прохідний отвір Вентурі; 5 – пластиковий корпус; 6 - вхідний отвір; 7 - стандартна різь.

Процес виробництва керамічних сопел відносно простий, але вимагає високої точності. Для виготовлення керамічної втулки використовуються графітові форми. Прецизійно зважена порція порошку (скажімо, карбиду бору або кремнію) засипається між графітовими формами і стискається у

спеціальному пресі, при цьому майбутня втулка піддається нагріванню до 2300 С°, в деяких випадках, порошок спочатку пресується, а потім витримується при температурі 2000 С° до фінішного спікання. Необхідно дуже точно витримати час витримки сопла при певній температурі для досягнення високої міцності і твердості втулки. Після формування вставки, вона витягується з пресової установки, і графітові формочки видаляються з втулки. Вони більше не придатні до застосування. Після перевірки твердості, на наступному етапі торці втулки шліфуються. Це необхідно для щільного прилягання втулок одна до одної, тому переважна більшість сопел збірні.

На останньому етапі втулки вклеюються в корпус сопла [7].

Сопла виготовлені наведеним вище методом і з такими ж або із подібними за властивостями матеріалами є доволі дорогими. Для прикладу в табл. 1.2 наведена порівняльна таблиця абразивоструменевих сопел провідної німецької фірми «Uniblast».

Таблиця 3.7

Сопла абразивоструменеві «Uniblast» (Німеччина)

| Тип сопла | Матеріал | Оболонка | D x L, мм | Витрата абразиву, кг/год | Витрата стисненого повітря, м ³ /хв | Ціна, грн |
|-----------------------|-------------|-----------------------------|-----------|--------------------------|--|-----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Сопло Вентурі UBC-6,5 | Карбід бору | AL/Поліуретановий протектор | 6,5 x 130 | 122 | 1,3 | 800 |
| Сопло Вентурі UBC-8,0 | Карбід бору | AL/Поліуретановий протектор | 8,0 x 150 | 212 | 2,1 | 850 |
| Сопло Вентурі UBC-9,5 | Карбід бору | AL/Поліуретановий протектор | 9,5 x 170 | 303 | 3,0 | 900 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------------------------------|---------------------|----------------------------------|------------------|-----|-----|------|
| Сопло Вентурі УВС-11,0 | Карбід бору | АL/Поліуретано- вий протектор | 11,0 х 200 | 406 | 4,1 | 950 |
| Сопло Вентурі УВС-12,5 | Карбід бору | АL/Поліуретано- вий протектор | 12,5 х 210 | 450 | 4,5 | 1100 |
| Сопло Вентурі УТС-6,5 | Карбід вольфраму | Поліуретан | 6,5 х 130 | 122 | 1,3 | 700 |
| Сопло Вентурі УТС-8,0 | Карбід вольфраму | Поліуретан | 8,0 х 150 | 212 | 2,1 | 750 |
| Сопло Вентурі УТС-9,5 | Карбід вольфраму | Поліуретан | 9,5 х 170 | 303 | 3,0 | 800 |
| Сопло Вентурі УТС-11,0 | Карбід вольфраму | Поліуретан | 11,0 х 200 | 406 | 4,1 | 850 |
| Сопло Вентурі УТС-12,5 | Карбід вольфраму | Поліуретан | 12,5 х 210 | 450 | 4,5 | 900 |

Довжина сопла

Довжина сопла визначається залежно від виду поверхні, яку потрібно очистити. Якщо мова йде про об'єкт який можна очистити легко, то достатньо короткого сопла довжиною 75 мм. Для поверхонь які важко очистити, наприклад, для видалення окалини або шару старої фарби – варто використовувати більш довгі сопла, оскільки довжина сопла впливає на швидкість вихідного потоку.

Проведено експериментальне дослідження сопла Вентурі виготовленого зі Ст 40 без покриття, та з покриттям, табл. 3.8

Таблиця 3.8 – Результати експериментального дослідження

| Кут нахилу сопла до оброблюваної поверхні, град. | Довжина сопла l, мм | Час обробки t, хв | |
|--|---------------------|-------------------|---------------|
| | | Сопло Вентурі | |
| | | Без покриття | Карбонітрація |
| 45 | 130 | 9 | 3,75 |
| | 100 | 9 | 3,60 |
| | 85 | 8 | 3,50 |
| | 75 | 7,5 | 2,85 |
| | 50 | 7,3 | 2,50 |
| | 30 | 5 | 2,00 |

З таблиці видно, що наявність покриття покращує ефективність сопла, слуд зауважити, що оригінальне німецьке сопло довжиною 130 мм на обробку метра квадратного деталі потребує дві хвилини часу, що може замінити останній варіант в таблиці. Недоліком сопла з покриттям є швидка його зносостійкість.

Висновки за розділом 3

В даному розділі наведені результати чисельних та експериментальних досліджень сопел для ежекторно-очисної установки. Досліджуваося звичайне циліндричне керамічне сопло, сталеве циліндричне сопло, керамічне сопло зроблене з автомобільної свічки запалювання, сопло зі спеціальним покриттям та сопло Вентурі.

1. Виконано експериментальне та чисельне дослідження циліндричного сопла виготовленого з кераміки зі Ст40 та зі СТ40 з покриттям карбонітрації.
2. Виконано чисельне та експериментальне дослідження сопла Вентурі оригінального виконання та саморобних аналогів, що мають різну довжину. Встановлена конструкція прийнятеного аналогу, що має значно меншу довжину.
3. Виготовлено керамічне сопло зі старої свічки запалювання, ефективність якого є очевидною, для обробки невеликих об'ємів, що мають значне забруднення. Недоліком такого сопла є погана зносостійкість.
4. Проведений аналіз характеристик існуючих серійних сопел Вентурі.
5. Проведене зіставлення швидкостей на виході з циліндричного сопла отримані за допомогою програмних комплексів Ansys та Flow Vision, збіжність задовільна.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 49 |

4. РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Умови та безпека праці, їх стан та покращення – самостійна і важлива задача соціальної політики будь-якої сучасної промислово розвинутої держави, яку вирішує така невід’ємна складова БЖД, як охорона праці. Рівень безпеки будь-яких робіт у суспільному виробництві значною мірою залежить від рівня правового забезпечення цих питань, тобто від якості та повноти викладення відповідних вимог в законах та інших нормативно-правових актах. Для вирішення існуючих проблем в сфері охорони праці необхідна ефективна взаємодія всіх органів державної влади та громадськості, а також реалізація як на державному, так і на місцевих рівнях відповідних програм, спрямованих на корінне покращення умов і охорони праці. Реалізація цих програм дозволить розробити і впровадити науково обґрунтовану державну систему наглядової, навчально-методичної та контрольної діяльності у сфері охорони праці; адаптувати нормативно-правову базу з питань охорони праці до вимог директив Європейського Союзу; вирішити питання науково-методичного та інформаційного забезпечення з питань охорони праці на національному та регіональному рівнях та багато іншого, що дозволить здійснити комплексне вирішення задач охорони праці, забезпечити пріоритет життя і здоров’я працюючих по відношенню до результатів виробничої діяльності і 2 створити безпечні та здорові умови праці на підприємствах і в організаціях усіх форм власності.

Стимулювання охорони праці. Стимулювання охорони праці – неодмінна умова попередження виробничого травматизму та профілактики профзахворювань. На державному рівні стимулювання охорони праці регулюється законодавчими актами і перед усім Законом «Про охорону праці», у якому цьому питанню присвячено IV розділ, та Законом «Про загальнообов’язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності». Ці закони визначають, що при розрахунку розміру страхового внеску для кожного підприємства за умови досягнення належного стану охорони праці, зниження рівня або відсутності травматизму і

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
| | | | | | KM 05.00.00.00. ПЗ | Лист |
| | | | | | | 50 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

професійної захворюваності внаслідок здійснення роботодавцем відповідних профілактичних заходів може бути встановлено знижку. За високий рівень травматизму і професійної захворюваності та неналежний стан охорони праці встановлюється надбавка до розміру страхового внеску. Згідно ст. 26 Закону «Про охорону праці» роботодавець зобов'язаний відшкодувати збитки, завдані порушенням вимог охорони праці іншим юридичним чи фізичним особам. Роботодавець також відшкодовує витрати на проведення робіт з рятування потерпілих під час аварії та ліквідації її наслідків, на розслідування і проведення експертизи причин аварії, нещасного випадку або професійного захворювання, на складання санітарно-гігієнічної характеристики умов праці осіб, які проходять обстеження щодо наявності професійного захворювання, а також інші витрати, передбачені законодавством. За порушення законодавства про охорону праці, невиконання розпоряджень посадових осіб органів державного нагляду за охороною праці роботодавці притягаються до сплати штрафу. У разі систематичних порушень нормативних актів про охорону праці, внаслідок чого зростає ризик настання нещасних випадків і професійних захворювань, підприємство у будь-який час за рішенням відповідного робочого органу виконавчої дирекції Фонду соціального страхування від нещасних випадків може бути віднесено до іншого, більш високого класу професійного ризику виробництва. Таким чином, штрафні санкції, а також збільшені страхові виплати, що повинні здійснюватися роботодавцем у випадку незадовільної роботи з охорони праці, спонукають його не конфліктувати із Законом, а вкладати кошти у відповідні профілактичні заходи в сфері безпеки та охорони праці. Серед стимулюючих заходів, передбачених законодавством, слід відзначити: - отримання підприємствами фінансової допомоги від ФССНВ для розв'язання гострих проблем з охорони праці; - отримання безкоштовних консультацій і допомоги при створенні та реалізації ефективної системи управління охороною праці; - диференціація внесків на державне соціальне страхування, про що вже було сказано раніше. Описана вище система стимулювання охорони праці є системою зовнішнього

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 51 |

стимулювання, тобто стимулювання роботодавця з боку держави (суспільства). Подібні системи ефективно працюють в більшості економічно розвинених країн світу.

4.1 Небезпечні і шкідливі фактори компресорного виробництва

Так як шарові крані з струминно-реактивними приводами використовуються на компресорних станціях і по довжині магістральних газопроводів, то розглянемо небезпечні і шкідливі фактори компресорного виробництва.

Небезпечними основними потенційними факторами при роботі компресора можуть бути:

- вибухонебезпечність;
- пожежонебезпека;
- ураження електричним струмом.

До шкідливих потенційних чинників відносять:

- шум при роботі агрегату;
- вібрація.

Протипожежний захист має забезпечуватися:

- засобами пожежогасіння;
- автоматичними установками пожежної сигналізації та пожежогасіння;
- засобами індивідуального та колективного захисту людей від небезпечних факторів пожежі.

У виробничому приміщенні застосовуються головним чином вуглекислотні вогнегасники, перевагою яких є висока ефективність гасіння пожежі, схоронність електронного устаткування. Діелектричні властивості CO₂, дозволяють використовувати дані вогнегасника в разі неможливості знеструмлення агрегату.

Небезпечним називається виробничий фактор, вплив якого на працюючого в певних умовах призводить до травми або іншого раптового різкого погіршення здоров'я. Якщо ж виробничий фактор призводить до

захворювання або зниження працездатності, то його вважають шкідливим (ГОСТ 12.0.002-80).

Шкідливі чинники погіршують умови праці, знижують його продуктивність, а при тривалому впливі можуть стати причиною професійних захворювань, загострення захворювань, не пов'язаних з виробництвом, зниження опірності організму. Залежно від рівня і тривалості впливу шкідливий виробничий фактор може стати небезпечним.

У ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Небезпечні і шкідливі виробничі фактори. Класифікація »наводиться класифікація елементів умов праці, які виступають в ролі небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Вони підрозділяються на чотири групи: фізичні хімічні, біологічні та психофізичні. До небезпечних і шкідливих виробничих факторів відносяться: незадовільні метеорологічні умови; забрудненість повітря виробничого пилом і шкідливими речовинами; несприятливий освітлення; шум і вібрація, що перевищують допустимі норми; підвищений рівень іонізуючих випромінювань; рухомі машини і механізми, рухомі частини виробничого обладнання, які рухаються виробу (матеріали, заготовки), руйнуються конструкції і ряд інших чинників.

Попередження виникнення шкідливих виробничих факторів можливо тільки при строгому дотриманні санітарно-гігієнічних вимог і норм, визначених Санітарними нормами (СН), відповідними главами Будівельних норм і правил (СНіП) і Державними стандартами (ГОСТ).

Шкідливими називаються речовини, які при контакті з організмом людини в разі порушень вимог безпеки можуть викликати виробничі травми, професійні захворювання або відхилення в стані здоров'я, що визначаються сучасними методами, як в процесі роботи, так і у віддалені строки життя теперішнього і наступних поколінь.

Надійність і безпека обладнання закладається при його проектуванні, забезпечується при виготовленні, контролюється при експлуатації і відновлюється при ремонті.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 53 |

Нагляду підлягає проектна та конструкторська документація, виробнича документація (машини, апарати, судини, технологічні трубопроводи, трубопровідна арматура, складальні одиниці, елементи, деталі). До переліку піднаглядний продукції входять також прилади контролю та регулювання технологічних процесів, програмно-технічні комплекси управління технологічними процесами, системи протиаварійного захисту, їх елементи, вибухозахищене обладнання.

Обладнання повинно відповідати встановленим вимогам технічної безпеки, загальних правил вибухо- і пожежобезпеки виробничих комплексів, правилам будови і безпечної експлуатації повітряних чи газових компресорів.

Основні небезпечні та шкідливі чинники компресорного устаткування:

- обертів частини;
- дія предметів, що розлітаються в результаті вибуху, або від значних статичних і динамічних навантажень (тиск газу або повітря, статичні і циклічні навантаження, вібрація);
- підвищена температура поверхні компресора і трубопроводів;
- віброшумове вплив на працюючих;
- порушення чистоти повітря робочої зони (при наявності витоків газу і викиду відпрацьованих газів приводом);
- електромагнітний вплив на працюючих; підвищене значення напруги в електромережі, коротке замикання при якому електричний струм проходить через тіло людини;
- підвищена рухливість повітря;
- гострі кромки на поверхні деталей і інструменту.

Керівники підприємства, власник, зобов'язані щорічно розробляти та реалізовувати організаційно-технічні заходи для створення безпечних і нешкідливих умов праці при експлуатації компресорного устаткування, які повинні відповідати вимогам чинних законодавчих і нормативних актів про охорону праці та нормативно-технічної документації, забезпечувати постійний контроль за відповідністю обладнання умовами безпеки,

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 54 |

дотримання працівниками вимог норм і правил з охорони праці та обслуговування р обоча місця, використання індивідуальних засобів захисту.

В даний час підприємства мають зношений парк обладнання (об'єктів), а коштів для його заміни і модернізації у них недостатньо. Тому підвищення його надійності і безпечної експлуатації є актуальним завданням. Необхідно продовжувати залишковий ресурс об'єктів і економити кошти при проведенні ремонтів.

Не допускається залишати працюючі компресори (крім повністю автоматизованих) без нагляду осіб, допущених до їх обслуговування.

Не допускається зберігання легкозаймистих рідин в приміщенні машинного залу компресорної установки.

Під час роботи компресорної установки слід контролювати:

а) тиск і температуру стисненого газу після кожного ступеня стиснення;

б) температуру стисненого газу після холодильників;

в) безперервність надходження в компресори і холодильники охолоджуючої води;

г) температуру охолоджуючої води, що надходить і виходить із системи охолодження по точках;

д) тиск і температуру масла в системі змащення;

е) величину струму статора, а при синхронному електроприводі - струму ротора електродвигуна;

ж) правильність дії лубрикантів і рівень масла в них. Показання приладів через встановлені інструкцією проміжки часу, але не рідше ніж через дві години, повинні реєструватися в журналі обліку роботи компресора.

Застосування відкритого вогню в приміщенні компресорної станції не допускається. Виробництво монтажних і ремонтних робіт із застосуванням відкритого вогню та електрозварювання в приміщенні компресорної станції,

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 55 |

проводиться відповідно до вимог нормативно-технічної документації на проведення цих робіт.

Повітропроводи і газопроводи слід укладати з ухилом 0,005 в бік лінійних водовідокремлювачів. Слід виключати утворення застійних зон і ділянок, де можуть накопичуватися конденсат або масло.

На окремих ділянках трубопроводів, де можливе скупчення води і масла, слід встановлювати лінійні водороздільники з автоматичною або ручною продувкою, доступні для обслуговування.

Всі пристрої для видалення скупчуються в повітропроводі масла і води необхідно регулярно перевіряти обслуговуючим персоналом. У разі замерзання цих пристроїв відігрівання їх дозволяється проводити гарячою водою, паром або гарячим повітрям. Застосування для цієї мети відкритого джерела вогню не допускається [12-14].

4.2 Розрахунок шуму при витікання з сопла.

Вхідні данні:

- кількість встановлених джерел (СРД) $N = 6$ шт;
- їх звуковий рівень без глушника $P_1 = 30$ дБ;
- їх звуковий рівень з глушником $P_2 = 10$ дБ.

Рішення

1. Розрахуємо рівень шуму однакових джерел шуму без глушника:

$$P_{\text{общ1}} = P_1 + 10 \cdot \lg N = 30 + 10 \cdot \lg 6 = 38 \text{ дБ}.$$

2. Розрахуємо рівень шуму однакових джерел шуму з глушником:

$$P_{\text{общ2}} = P_2 + 10 \cdot \lg N = 10 + 10 \cdot \lg 6 = 18 \text{ дБ}.$$

3. Ефективність роботи глушника:

$$\Delta L_T = 10 \cdot \lg \left(\frac{P_{\text{общ1}}}{P_{\text{общ2}}} \right) = 10 \cdot \lg \left(\frac{38}{18} \right) = 3,25$$

4. Визначаємо, як зміниться сумарний рівень шуму

$$\Delta P = P_{\text{общ2}} - P_{\text{общ1}} = 38 - 18 = 20 \text{ дБ}.$$

Сумарний рівень шуму зменшиться на 20 дБ.

Рівень шуму СРД не повинен перевищувати 75 дБ [10].

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00. ПЗ | Лист |
| | | | | | | 56 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

При підвищенні рівня шуму і наявності вібрацій зупинити привід і провести огляд і усунути несправності. У разі серйозних пошкоджень демонтувати складальні одиниці приводу.

4.3 Правила безпеки при експлуатації компресорних та холодильних установок

Вибухи при роботі компресорів можуть відбуватися внаслідок перевищення тиску стисненого повітря, підвищення його температури при стисненні та утворення вибухонебезпечних сумішей кисню з продуктами розкладу мастил, а також при порушенні вимог безпеки в процесі обслуговування, експлуатації та догляду за технічним станом компресорів. Вони призводять до руйнування обладнання, будівлі, а також можуть призвести до травмування обслуговуючого персоналу.

Холодильні установки небезпечні, тому що холодоагенти, які використовуються в них, можуть спричинити отруєння, а суміш холодоагента із повітрям може бути вибухонебезпечною. Для безаварійної експлуатації компресорних і холодильних установок необхідно суворо дотримуватися правил безпеки.

Компресорні установки є небезпечними, тому що при стисненні повітря від атмосферного тиску до 1 МПа його температура може підвищитись з 20 °С до 300 °С, мастила при цьому частково випаровуються, а при надмірному змащуванні розпилюються у вигляді туману, що може утворювати вибухонебезпечну суміш з повітрям. Дотримання вимог до мастил та режимів змащування у поєднанні з надійним охолодженням є основним заходом попередження вибухів парів мастила при його розкладі. У компресорах низького тиску і малої продуктивності достатньо повітряного охолодження, а в інших необхідно застосовувати водяне охолодження.

Кожна компресорна установка повинна бути оснащена системою автоматики та контролю, арматурою, манометрами, запобіжними клапанами, термометрами і термопарами, контактними пристроями та іншими приладами контролю, що забезпечують її надійну і безаварійну роботу.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
| | | | | | KM 05.00.00.00. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 57 |

Компресори продуктивністю біля 50 м³/хв мають бути обладнані пристроями для автоматичного регулювання тиску нагнітання.

Компресорні станції з трьома і більше компресорами обладнуються системою дистанційного контролю, сигналізацією роботи установок і блокуючими пристроями, які автоматично вимикають привод компресора за перевищення температури і тиску стисненого повітря та температури води, що надходить з компресора після охолодження.

Вибухи та аварії холодильних установок інколи трапляються внаслідок гідравлічного удару, відмови запобіжних пристроїв і розриву нагнітального трубопроводу чи балонів з холодильним агентом та витоку холодоагента (аміаку або фреону) крізь нещільні з'єднання. Аміак утворює з повітрям вибухонебезпечну суміш, що особливо небезпечно при ремонтних роботах з відкритим полум'ям. Газоподібний аміак токсичний, його гранично допустима концентрація у повітрі робочої зони дорівнює 20 мг/м³. Рідкий аміак викликає тяжкі опіки шкіри та опіки очей, що може призвести до сліпоти.

Компресори, як правило, слід розміщувати в окремих одноповерхових будівлях. Допускається розміщення компресорів продуктивністю до 20 м³/хв у прилягаючих приміщеннях за умови відокремлення від суміжних приміщень перегородкою, висотою не менше як 3 м і товщиною не менше ніж 12,5 см. Окремі компресори продуктивністю до 10 м³/хв можуть встановлюватися на нижніх поверхах багатоповерхових виробничих будівель за умови їх відокремлення глухими вогнестійкими стінами.

Аміачні холодильні установки розміщують з дотриманням протипожежних норм. Машинне й апаратне відділення холодильних установок не слід з'єднувати проходом з виробничими приміщеннями. Вони обладнуються проточною вентиляцією з підігрівом повітря у холодний період року, яка забезпечує двократний повітрообмін, аварійною вентиляцією, аварійним освітленням та двома евакуаційними виходами.

Правила безпеки при експлуатації стаціонарного обладнання, що працює під тиском.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|---------------------------|-------------|
| | | | | | <i>КМ 05.00.00.00. ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 58 |

На підприємствах для технологічних, енергетичних та інших потреб широко використовуються стаціонарні посудини різного призначення, що працюють під тиском (розварники, автоклави, випарні апарати, бродильні апарати, карбонізатори, ресивери тощо). При підвищенні тиску можуть статися зриви болтів, кришок люків, випинання і розриви корпусів та днищ, інші види руйнування, що зумовлюються дефектами виготовлення, корозійним руйнуванням та іншими видами пошкоджень, а також порушенням технологічного режиму й правил експлуатації, несправностями арматури, приладів контролю та запобіжних пристроїв.

Для надійної їх експлуатації необхідно:
- своєчасно проводити огляди, випробування та профілактичні ремонти;

Контроль якості нерознімних з'єднань

Контроль якості нерознімних з'єднань, що проводиться під час монтажу, ремонту, модифікації (реконструкції та модернізації), їх складових частин здійснюється методами неруйнівного контролю (зовнішній огляд і вимірювання, ультразвуковий, радіографічний) і випробуваннями (визначення механічних властивостей нерознімного з'єднання).

Фахівці з неруйнівного контролю мають бути сертифіковані. У разі застосування радіографічних приладів контролю (радіоізотопних або рентгенівських дефектоскопів) суб'єкт господарювання має отримати у встановленому законодавством порядку ліцензію на право провадження діяльності з використання джерел іонізуючого випромінювання.

Контроль якості нерознімних з'єднань здійснюється після проведення термічної обробки, якщо вона передбачена для цього нерознімного з'єднання.

Результати контролю нерознімних з'єднань мають бути зафіксовані у відповідних документах (висновки, журнали, протоколи, карти).

Зовнішньому огляду та вимірюванню підлягають всі нерознімні з'єднання з метою виявлення в них таких зовнішніх дефектів, бракувальні ознаки яких перевищують норми, зазначені в технічних умовах:

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
| | | | | | KM 05.00.00.00. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 59 |

кутове зміщення або відхилення від перпендикулярності осей зварюваних елементів;
лінійне зміщення крайок зварюваних елементів;
відхилення розмірів і порушення форми швів (за опуклістю, шириною та катетом шва, за рівномірністю опуклості);
тріщини;
напливи, натікання, подрізи, пропалювання, незаварені кратери, непровари, несплавлення, пористість.

Перед зовнішнім оглядом поверхня зварного шва та прилеглих до нього ділянок основного металу завширшки не менше 20 мм в обидва боки шва має бути зачищеною від шлаку, бризок металу, натікання та інших забруднень.

Огляд і вимірювання стикових з'єднань проводяться з обох боків по всій довжині з'єднання. У разі недоступності для огляду внутрішньої поверхні нерознімного з'єднання огляд і вимірювання здійснюються тільки із зовнішнього боку.

Перед проведенням радіографічного контролю відповідні ділянки нерознімного з'єднання мають бути промарковані таким чином, щоб їх можна було легко виявити на знімках.

У нерознімних з'єднаннях не допускаються такі дефекти, бракувальні ознаки яких перевищують норми:

непровари та несплавлення;
пори, розташовані у вигляді суцільної сітки;
подрізи, напливи та натікання;
незаварені кратери;
свищі;
шлакові включення;
незаварені пропалювання;
пропалювання та підплавлення основного металу (під час стикового контактного зварювання труб);
зміщення крайок вище норм, передбачених кресленнями.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпись | Дата | | 60 |

Також у нерознімних з'єднаннях не допускаються тріщини, розташовані в металі шва, на межі сплавлення, у зоні термічного впливу та в основному металі, у тому числі й мікротріщини, що виявляються під час мікродосліджень.

У разі виявлення під час неруйнівного контролю неприпустимих дефектів у нерознімних з'єднаннях контролю підлягає все з'єднання, що контролюється. Ділянки зварних швів з дефектами видаляються механічним способом і переварюються не більше двох разів в одному місці відповідно до вимог технічних умов на ремонт, модифікацію (реконструкцію та модернізацію) обладнання під тиском.

Випробування проводяться з метою перевірки відповідності механічних властивостей нерознімного з'єднання на контрольних зразках, зварених в умовах, що цілком відповідають умовам виготовлення елементів нагріву (ті самі основні та присадні матеріали, ті самі зварювальні режими, методи зварювання і те саме положення шва).

Перевірка механічних властивостей нерознімного з'єднання на контрольних зразках проводиться залежно від виду нерознімного з'єднання виробів шляхом випробування на розтягування та вигинання зразків, з'єднаних стиковим швом.

Результати випробувань вважаються задовільними, якщо:

тимчасовий опір не нижче нижньої границі тимчасового опору металу, зазначеного в нормативному документі для цієї марки сталі;

кут вигину для вуглецевих сталей не менше 120 °, для низьколегованих за товщини зразка до 20 мм - не менше 80 °, більше 20 мм - не менше 60 °.

8. Якість нерознімних з'єднань вважається незадовільною, якщо в них під час будь-якого контролю будуть виявлені дефекти, що виходять за межі норм, визначених цими Правилами.

4.14 Експлуатаційна документація та маркування

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 61 |

Кожне обладнання під тиском повинно супроводжуватись експлуатаційною документацією.

До журналу нагляду (паспорта) має прикладатися настанова (інструкція) з монтажу і експлуатації, що містить вимоги до відновлення і контролю металу при монтажі і експлуатації в період розрахункового строку служби.

Журнал нагляду (паспорт) та настанова (інструкція) з монтажу і експлуатації мають складатися державною мовою.

На кожному котлі, автономному пароперегрівачі і економайзері, а також посудині має бути прикріплена маркувальна табличка з маркуванням, нанесеним ударним способом, і містити такі дані:

- 1) найменування або товарний знак виробника;
- 2) заводський номер виробу;
- 3) рік виготовлення;
- 4) розрахунковий тиск в барах;
- 5) розрахункова температура стінки в °С і марка сталі (тільки на колекторах пароперегрівача).

Допускається маркування іншими способами, що забезпечують чіткість та довговічність зображення, які рівноцінні ударному способу.

Конкретні місця розміщення зазначених даних обирає виробник і вказує їх в інструкції з монтажу та експлуатації.

На введений в експлуатацію трубопровід пари або гарячої води прикріплюються металеві таблички (не менше 400 на 300 мм) з такими даними:

- 1) інвентарний номер;
- 2) дозволений тиск;
- 3) температура середовища;
- 4) дата (місяць та рік) наступного технічного огляду.

На кожному трубопроводі кріпиться не менше трьох табличок, що встановлюються на кінцях та середині трубопроводу. Якщо один і той самий

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------|-------------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00 ПЗ | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 62 |

трубопровід прокладено через декілька приміщень, таблички кріпляться на трубопроводі в кожному приміщенні.

Виробники (їх уповноважені представники) або постачальники (імпортери) обладнання під тиском або їх складових частин закордонного виробництва мають забезпечити їх експлуатаційними документами (паспорти, настанови щодо монтажу та експлуатації), табличками і маркуваннями, викладеними державною мовою, технічним файлом.

Елементи обладнання під тиском, що не є поверхнями нагріву, в яких можливий нагрів стінок вище допустимої температури, повинні бути теплоізовльовані.

Ділянки елементів обладнання під тиском, доступні для дотику обслуговувальним персоналом, повинні бути покриті тепловою ізоляцією, що забезпечує температуру зовнішньої поверхні не більше 43 °С за температури навколишнього середовища не більше 25 °С.

При використанні в котлі тепла газів, що відходять від котлів-утилізаторів (печі та інші агрегати), його слід обладнати запірними пристроями, що забезпечує можливість відключення від газоходу, та обвідним пристроєм для пропуску газу поза котлом. Зазначені пристрої можна не встановлювати, якщо передбачено припинення роботи агрегату, що подає газ, при зупинці котла.

Конструкція газоходів повинна виключати можливість утворення вибухонебезпечного скупчення газів, а також забезпечувати необхідні умови для очищення газоходів від відкладень продуктів згорання.

Газоходи, через які подаються відхідні гази та виводяться відпрацьовані, повинні мати вибухові пристрої із відводами, призначеними для газів, у місця, де не перебуває обслуговувальний персонал.

Верхній та нижчий допустимі рівні робочого середовища в обладнанні під тиском визначаються виробником.

Для огляду та очищення топки і зовнішніх поверхонь котлів у газоходах мають бути передбачені лючки, що закриваються дверцями. Кількість лючків і їх розміщення на елементах котла визначає виробник.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 63 |

Дверці лазів повинні мати запори, що виключають можливість самовільного відкриття і забезпечують газощільність.

Для можливості відключення газоходів котлів, що виведені в ремонт або зупинку, від діючих газоходів за кожним котлом встановлюють димову заслінку (шибер). Зазначена вимога застосовується у разі, якщо у загальний газохід підключено більше одного котлоагрегату.

У верхній частині заслінки котлів, що працюють на газі і рідкому паливі, робляться отвори діаметром не менше 50 мм.

Кожний котел з камерним спалюванням пилоподібного, газоподібного, рідкого палива або шахтною топкою для спалювання торфу, тирси, стружки та інших дрібних виробничих відходів повинен бути обладнаний вибуховими запобіжними клапанами. Вибухові запобіжні клапани розміщують у місцях, що виключають можливість травмування обслуговувального персоналу. За неможливості встановлення запобіжних клапанів місця, де не перебуває обслуговувальний персонал, забезпечують відвідними коробами або відгороджують відбійними щитами з боку знаходження людей.

Число вибухових запобіжних клапанів, їх розміщення і розміри прохідного перерізу визначаються виробником залежно від конструкції котла.

Вибухові запобіжні пристрої дозволяється не встановлювати в топках і газоходах котлів, якщо це обґрунтовано проектом.

4.15 Вимоги до розміщення обладнання під тиском

Розміщення котлів та допоміжного устаткування в котельнях, пересувних блок-контейнерах, транспортабельних установках і в енергопоїздах повинно здійснюватись відповідно до проекту.

Стаціонарні котли слід встановлювати в будівлях та приміщеннях, що відповідають вимогам будівельних норм та проекту.

Встановлення котлів поза приміщенням допускається в тому випадку, якщо це передбачено виробником.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 64 |

У котельні повинен бути годинник і засоби для зв'язку з місцями споживання теплової енергії, а також з технічними службами і роботодавцем.

Під час експлуатації котлів-утилізаторів має бути встановлений зв'язок між пультами котлів-утилізаторів і джерелами тепла.

У котельню не повинні допускатись особи, які не мають відношення до експлуатації котлів і устаткування котельні. За потреби сторонні особи можуть допускатись в котельню тільки з дозволу роботодавця й у супроводі його представника.

Приміщення котельні повинні бути забезпечені природнім освітленням, а в нічний час - електричним освітленням.

Місця, які з технічних причин не можна забезпечити природнім освітленням, повинні мати електричне освітлення. Освітленість повинна відповідати вимогам НД.

Крім робочого освітлення, в котельні повинно бути аварійне електричне освітлення. Підлягають обов'язковому обладнанню аварійним освітленням такі приміщення і устаткування:

- 1) фронт котлів, а також проходи між котлами, позаду котлів і над котлами;
- 2) щити і пульти керування;
- 3) водовказівні і вимірювальні прилади;
- 4) зольні приміщення;
- 5) вентиляторні площадки;
- 6) димососні площадки;
- 7) приміщення для баків і деаераторів;
- 8) устаткування водопідготовки;
- 9) площадки і драбини котлів;
- 10) насосні приміщення.

Посудини повинні встановлюватись на відкритих площадках у місцях, що виключають скупчення людей, або в окремо розташованих будівлях відповідно до проекту.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 05.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпись | Дата | | 65 |

Прокладання трубопроводів пари та гарячої води здійснюється за проектом [17].

Висновки за розділом 4

В розділі охорони праці розглянуті питання небезпечних і шкідливих факторів компресорного виробництва. Виконаний розрахунок шуму при витіканні з сопла та розглянуті правила безпеки при експлуатації компресорних та холодильних установок.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|---------------------------|-------------|
| | | | | | <i>КМ 05.00.00.00. ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 66 |

ВИСНОВКИ

1. Описана методика чисельного та експериментального дослідження ежектора із застосуванням двох програмних комплексів та експериментального стенду. Надані методичні пояснення та рекомендації щодо налаштування цих комплексів до вирішення поставлених задач.
2. Виконаний аналіз існуючих проблем при моделюванні течії з двофазним середовищем.
3. Описана конструкція та принцип роботи експериментальної ежекторно-очисної установки.
4. Наведені результати чисельних та експериментальних досліджень сопел для ежекторно-очисної установки. Досліджувалося звичайне циліндричне керамічне сопло, сталеве циліндричне сопло, керамічне сопло зроблене з автомобільної свічки запалювання, сопло зі спеціальним покриттям та сопло Вентурі.
5. Виконано експериментальне та чисельне дослідження циліндричного сопла виготовленого з кераміки зі Ст40 та зі СТ40 з покриттям карбоніт рації, яке підвищує його ефективність. Покриття виявилось не зносостійким.
6. Виконано чисельне та експериментальне дослідження сопла Вентурі оригінального виконання та саморобних аналогів, що мають різну довжину. Встановлена працездатність сталевого аналога соплу Вентурі зі значно меншим значенням його довжини.
7. Виготовлено керамічне сопло зі старої свічки запалювання, ефективність якого є очевидною, для обробки невеликих об'ємів, що мають значне забруднення. Недоліком такого сопла є погана зносостійкість.
8. Проведений аналіз характеристик існуючих серійних сопел Вентурі.
9. Проведене зіставлення швидкостей на виході з циліндричного сопла отримані за допомогою програмних комплексів Ansys та Flow Vision, збіжність задовільна.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|---------------------------|-------------|
| | | | | | <i>КМ 05.00.00.00. ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 67 |

Список літератури

1. Чаплыгин С.А. О газовых струях. – М.: Гостехиздат. – 1949. – 142 с.
2. Абрамович Г.Н. Турбулентные свободные струи жидкостей и газов. М.: – Л., Госэнергоиздат. – 1948. – 288 с.
3. Дейч М.Е., Самойлович Г.С. Основы аэродинамики осевых турбомашин. М., Машгиз. – 1959. – 428 с.
4. Дейч М.Е. Техническая газодинамика. – М. : Энергия. – 1974. – 2-е изд. – 592 с.
5. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – Изд. 3 – е. – М.: Машиностроение. – 1992. – 671 с.
6. Самойлович Г.С. Новая формула для расчета лабиринтных уплотнений. – Известия ВТИ. – 1950. – № 8.
7. Юдин Е.Я. Охрана труда в машиностроении. Уч. для вузов. М., «Машиностроение», 1976, с.335.
8. Инструкция по охране труда машиниста компрессорных установок” № 42-75.
9. Юдин Е.Я., Борисов Л.А., Горенштейн И.В. и др. Борьба с шумом на производстве (справочник) М. машиностроение 1985 с.400
10. Руководство по эксплуатации струйно-реактивного двигателя ОАО СНМПО им. Фрунзе, Сумы с.80
11. ГОСТ 12.1.005-88. Предел допустимых концентраций вредных веществ в рабочих зонах.
12. Гуревич Д.Ф. Расчет и конструирование трубопроводной арматуры «машиностроение» Л. 1969 с.890
13. Сичук В.А. Нові принципи конструювання і виготовлення сопел для абразивоструменевих машин / В.А. Сичук, О.В. Заболотний // "Науковий вісник херсонської державної морської академії" Науковий журнал №1 (6) 2012 – Херсон: ХДМА, 2012. – С. 317-321.
14. Сичук В.А. Практика виготовлення та випробування зносостійкого сопла піскоструменевої машини отриманого методом сухого радіально-

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
| | | | | | KM 05.00.00.00. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 68 |

ізостатичного пресування / В.А. Сичук, О.В. Заболотний // "Наукові нотатки" Міжвузівський збірник. Випуск 31 (червень, 2011) – Луцьк: ЛНТУ, 2011. – С. 350-353.

15. Сичук В.А. Розробка і дослідження нових конструкцій пористих сопел для абразивоструменевих машин / О.В. Заболотний, В.А. Сичук // "Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті" Науковий журнал. Випуск 2 – Луцьк: ЛНТУ, 2014. – С. 43-53.

16. А. с. 1087319 СССР, МКИЗ В 24 С 5/04. Сопло для абразивной обработки внутренней поверхности деталей / М.В. Трубников; заявитель и патентообладатель Предприятие П/Я А-7204. – № 3502193/25-08; заявл. 22.10.82; опубл. 23.04.84, Бюл. №15.

17. Наказ про затвердження правил охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском. 10 квітня 2018р. за № 433/31885.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|---------------------------|-------------|
| | | | | | <i>КМ 05.00.00.00. ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 69 |