

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 «Розрахункове та експериментальне
дослідження технологічних параметрів
ежекторно-очисної установки з метою
підвищення її ефективності»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Завідувач кафедри

С. М. Ванєєв

Керівник роботи

В. М. Бага

Консультант з охорони праці

С. В. Сидоренко

Здобувач

І. М. Маценко

Суми 2020

Зміст

ВСТУП.....	3
1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	7
2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ СОПЛА.....	8
2.1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРОБЛЕМ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ.....	10
2.2 МЕТОДИКА ЧИСЕЛЬНОГО РОЗРАХУНКУ.....	11
2.2.1 РОБОТА З КОМПЛЕКСОМ ANSYS	9
2.2.2 РОБОТА З КОМПЛЕКСОМ FLOW VISION.....	15
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	34
4. РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	67
ВИСНОВКИ.....	77
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	79

					<i>КМ 06.00.00.00 ПЗ</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>	<i>Маценко</i>				<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Бага В.М.</i>				2	80	
<i>Реценз.</i>					<i>СумДУ КМ-91</i>		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Шарапов С.О.</i>						
<i>Утверд.</i>	<i>Вансєв С.М.</i>						

Розрахункове та
експериментальне
дослідження

ВСТУП

Піскоструминна обробка з плином часу, розвитком нових технологій все ще є актуальною. Вона 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.

Піскоструминна обробка використовується для очищення поверхонь металоконструкцій за допомогою найдешевшого абразивного матеріалу - піску. Причому в процесі абразивної обробки з поверхні металу «змивають» не тільки іржу, окалину і сліди лакофарбових покриттів, але і жирову плівку. Пісок можна приготувати самостійно взявши звичайний річковий пісок, просушити та просіяти. Для великих об'ємів слід автоматизувати цей процес.

Піскоструй застосовується в галузях промисловості України, що використовують підвищену температуру для загартування металів. Високі температури можуть знебарвлювати вироби. Обробка піскоструєм дозволяє видаляти вицвілі ділянки і окалину з виробів, що піддалися дії високих температур. Крім того, піскоструменеве очищення може поліпшити зовнішній вигляд продукції завдяки видаленню різних плям, відкладень, корозії і слідів інструменту. При цьому деякі абразивні матеріали дозволяють робити зовнішній вигляд поверхні одноріднішим. При високій температурі утворюється і агар і відкладення відпрацьованої олії на багатьох автомобільних деталях. Електродвигуни часто засмічуються перегрітими ізоляційними матеріалами і розплавленими шарами статора. У більшості випадків збереження початкових розмірів цих деталей є критичним. Обробка за допомогою пластикових абразивних матеріалів, скляних кульок або натурального абразиву видаляє забруднюючі речовини і забезпечує бажаний результат.

					КМ 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		3

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.

Тобто, на оброблених об'єктах, 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.

Перечислимо переваги:

1. Глибока піскоструминна обробка металу дозволяє досягти таких результатів, що навіть при шестикратному збільшенні не будуть помітні окалина і корозія.

2. Можливість регулювання глибини очистки. Можливо виконати очищення, при якому метал виглядає чистим при поверхневому огляді.

3. Поверхневе очищення металу. Після неї залишається видні неозброєним оком плями і смуги окалини, але вони займають не більше п'яти відсотків усієї поверхні, що є прийнятним в багатьох випадках.

					КМ 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

4. При легкій мірі очищення з металевій поверхні віддаляється іржа і окалина, що відшаровується.

Піскоструминна обробка металу дозволяє не лише очистити його від фарби, іржі і інших забруднень, але також зробити знежирення поверхні, що особливо важливо перед фарбуванням, гальванотехнічними операціями і газотермічним напиленням.

Процес піскоструминної обробки являє собою зіткненням потоку абразивного матеріалу, що має високу кінетичну енергію, з оброблюваною поверхнею.

В деяких випадках в процесі піскоструйки спостерігається руйнування частини поверхні, це не страшно, цей факт говорить про те, що на цій ділянці поверхні корозія була занадто глибокою і ця ділянка все одно підлягає ремонту.

Для раціональної роботи піскоструменевого апарату необхідно виконати ряд досліджень спрямованих на правильний вибір комплектуючих частин, а саме:

1. Компресор достатньої потужності (3-10 м.куб/хв.)
2. Пневмомережа (чим більша тим краще)
3. Піскоструйний апарат
4. Сопла (керамічні, циліндричні, змінного перерізу).
5. Установка дистанційного управління.
6. Система вологовідокремлювачів.
7. Матеріал для піскоструйки (річковий або кварцовий пісок, металевий абразив, кульки).
8. Захисний шолом та додаткове захисне обладнання.
9. Сушильна установка для відпрацьованого абразиву.

При виборі піскоструйного обладнання необхідно враховувати можливість його транспортування.

Незважаючи на накопичені експериментальні дані, залишаються питання, які потребують проведення серії додаткових досліджень.

					КМ 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

Технологічна карта – основне, на чому зупиняє свою увагу майстер піскоструминної обробки, перш ніж приступити до роботи. Це документ, який складається конкретно для кожного об'єкта на основі його технічних характеристик, і містить правила застосування обладнання.

Наприклад, для абразивного очищення фасадів технологічна карта може містити наступні пункти:

- в ході піскоструминного очищення поверхонь фасадів шар бруду видаляють своїми руками за допомогою сухої абразивної суміші, яка подається під тиском спеціального обладнання;
- в якості абразиву використовують просіяний пісок з показником вологості, що не перевищує 2%. Розмір отворів у пристосуванні для просіювання піску може становити від 1 до 1,2 мм;
- Повітря під тиском подається по шлангу з компресорної установки піскоструменевий агрегат, в резервуарі якого відбувається його з'єднання з абразивною масою;
- з'єднання видувається в пістолет апарату, і з допомогою високого тиску подається на робочу поверхню;
- для виключення пошкодження облицювання фасадів, не рекомендується застосовувати робочий тиск, що перевищує 4 атмосфери;
- в ході абразивної обробки робоче сопло зношується під впливом піску, витрата робочого діаметра у 1,5-2 години може становити половину номінального показника в результаті, через падіння тиску знижується продуктивність;
- по завершенню абразивного очищення з обробленої поверхні видаляють, шляхом обдування повітрям, залишки піску і пилу.

					<i>КМ 06.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		6

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

В данній роботі проводилося розрахункове та експериментальне дослідження технологічних параметрів ежекторно-очисної установки з метою підвищення її ефективності.

В якості ежектора використовується піскоструменеве сопло, від ефективності якого залежить ефективність всієї піскоструменевої установки. В робочому соплі змішуються два потоки: абразивного матеріалу та повітря. Течія абразивної суміші, що проходить через сопло в даній роботі досліджувалася чисельно та експериментально.

Для чисельного дослідження була побудована розрахункова модель проточної частини досліджуваних об'єктів. Твердотільні моделі створювались в САD-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 поглибленому дослідженні технологічних параметрів робочого сопла ежекторно-очисної установки. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити ряд **завдань**:

- чисельно та експериментально дослідити робочий процес в робочому соплі ежекторно-очисної установки в широкому діапазоні значень;
- розглянути особливості застосування технології абразивоструменевого оброблення;
- провести оцінку впливу зносу сопла на значення робочих параметрів в його вихідному перерізі;
- виконати пошук резервів по підвищенню ефективності робочого сопла ежекторно-очисної установки на основі проведених досліджень.

Досліджувалося циліндричне сопло, виготовлене з різних матеріалів та сопло Вентурі.

					<i>КМ 06.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ СОПЛА

Проводилися серії чисельних та експериментальних досліджень течії пісчано-повітряного потоку ежекторно-очисної установки циліндричного сопла та сопла Вентурі.

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 очисної установки (піскоструминної).

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.

					КМ 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

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 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

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 АРМ 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 АРМ 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

					КМ 06.00.00.00 ПЗ	Лист
						10
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 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

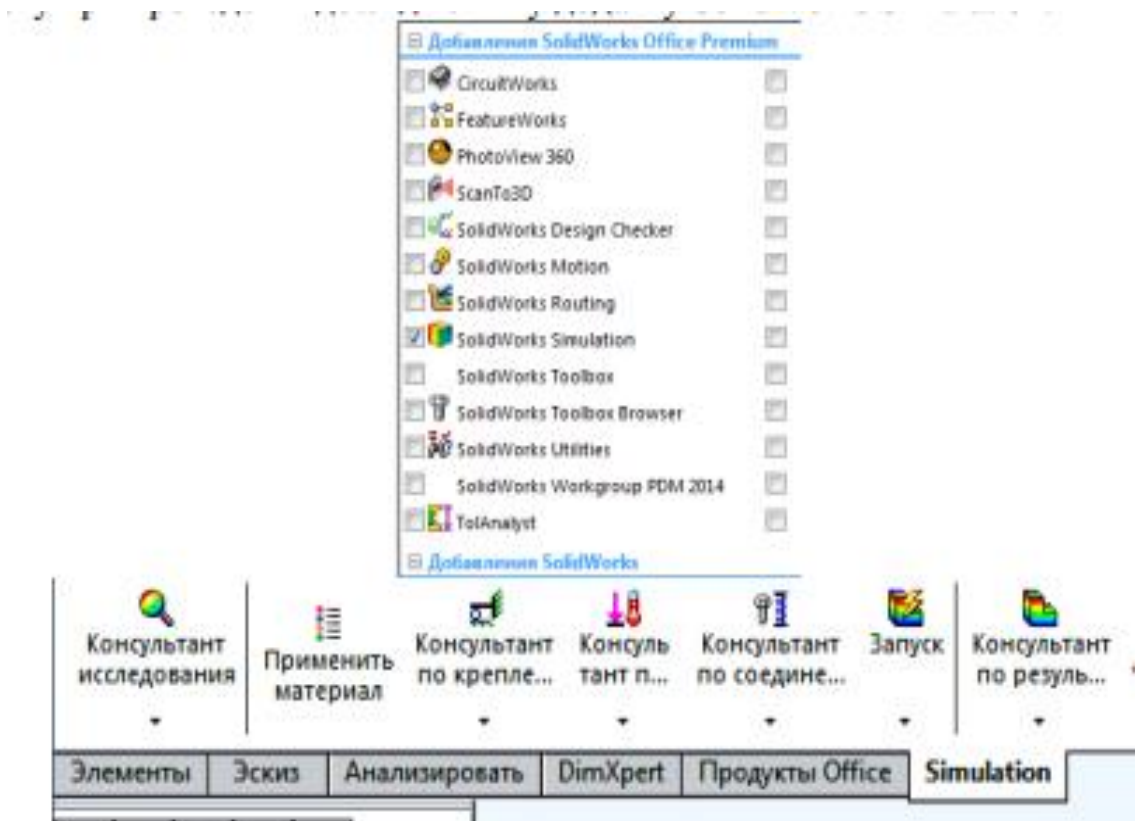
- SolidWorks Simulation [5] - розрахунки на міцність конструкцій у пружній зоні; постановка та розв'язок контактних задач;
- розрахунки складань; визначення власних форм і частот коливань; розрахунки конструкцій на стійкість;
- розрахунки на втому;
- імітація падіння;
- теплові розрахунки;
- нелінійні 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);

					<i>КМ 06.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		12

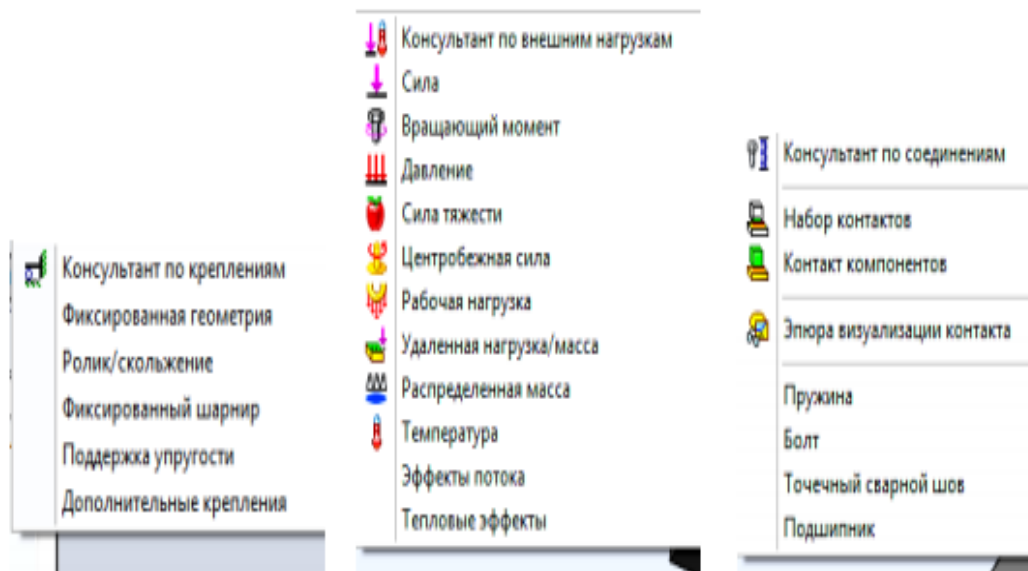
- вимірювання, динамічний переріз, авторознесення складань);
- SolidWorks Sustainability (екологічна експертиза проекту).

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.

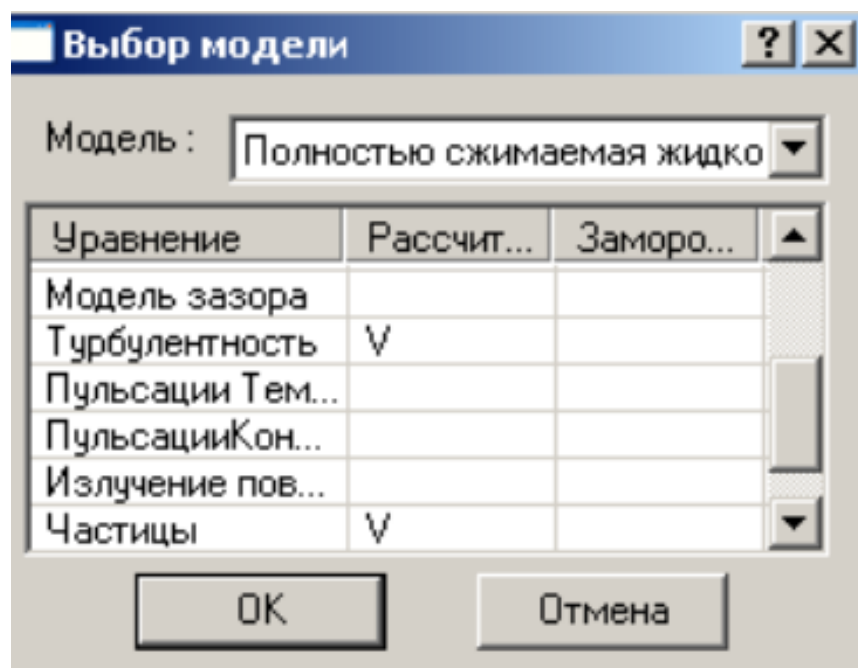
Характеристики частинок задаються звичайним чином у вікні властивостей елемента Частинки. Рідка крапля нагрівається і випаровується. До досягнення температури кипіння випаровування відбувається в конвективному режимі. Після досягнення температури кипіння - в режимі кипіння.

					<i>КМ 06.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		15

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 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

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 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

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

					КМ 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

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 06.00.00.00 ПЗ	Лист
						20
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

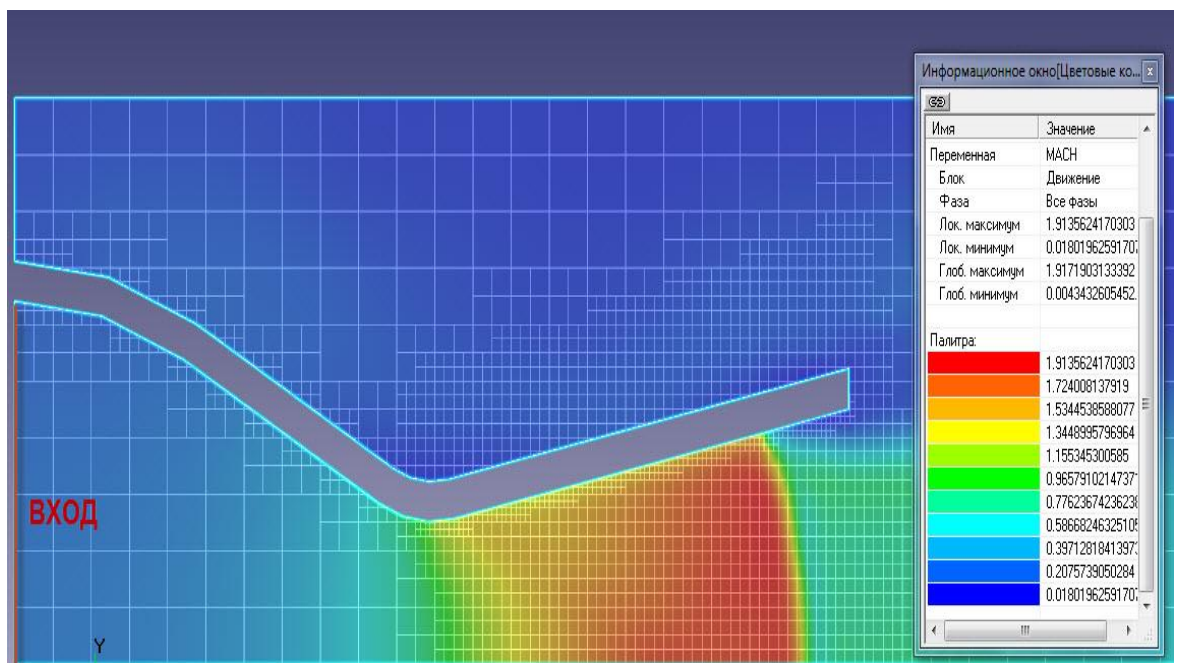
В Flow Vision чисельне інтегрування рівнянь по просторовим координатам проводиться з використанням прямокутної адаптивної локально подрібненої сітки. Такий підхід забезпечує, з одного боку, використання простої рівномірної неадаптивної сітки при вирішенні завдань з відносно нескладною геометрією. З іншого 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 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

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

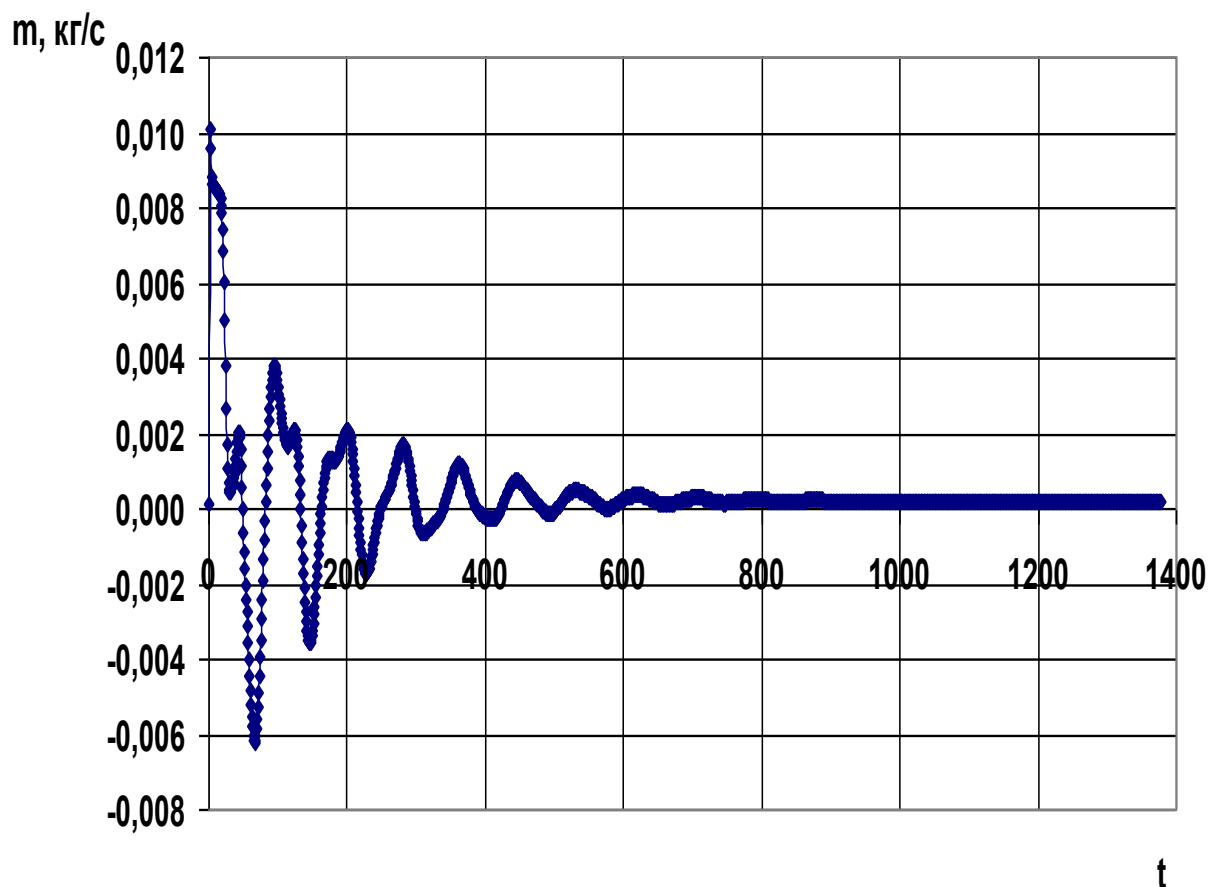
Стосовно до досліджуваного сопла необхідно адаптувати розрахункову сітку до його геометрії (щілинному зазору з гострою кромкою). Дане завдання здійснене побудовою досить точної розрахункової сітки нульового рівня таким чином, щоб в радіальному зазорі $s = 7$ мм містилося близько 30 осередків максимально 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

розбіжностей між ними. Була обрана стандартна $k - \varepsilon$ модель, оскільки вона добре узгоджується з більшістю відомих досліджуваних моделей течії газів.



Малюнок 2.5 Збіжність результатів

Для обраної моделі повністю стискуваної рідини, крок за часом залежить від збіжності рівнянь по тиску, тому він спочатку задається рівним однієї десятої прогонової часу, потім зменшується в разі відсутності збіжності. Як приклад (малюнок 2.5) показана збіжність результатів чисельного моделювання по масовій витраті m .

Значну увагу було приділено питанням методики візуального представлення результатів чисельного дослідження течії в лабіринтовому ущільненні у вигляді полів тиску, швидкості і щільності, виконані в кольоровій гамі (т. Зв. "Заливки"), полів векторів швидкості, ізолій - ліній рівних значень параметрів [88 - 90].

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 06.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		24

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 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

- 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.

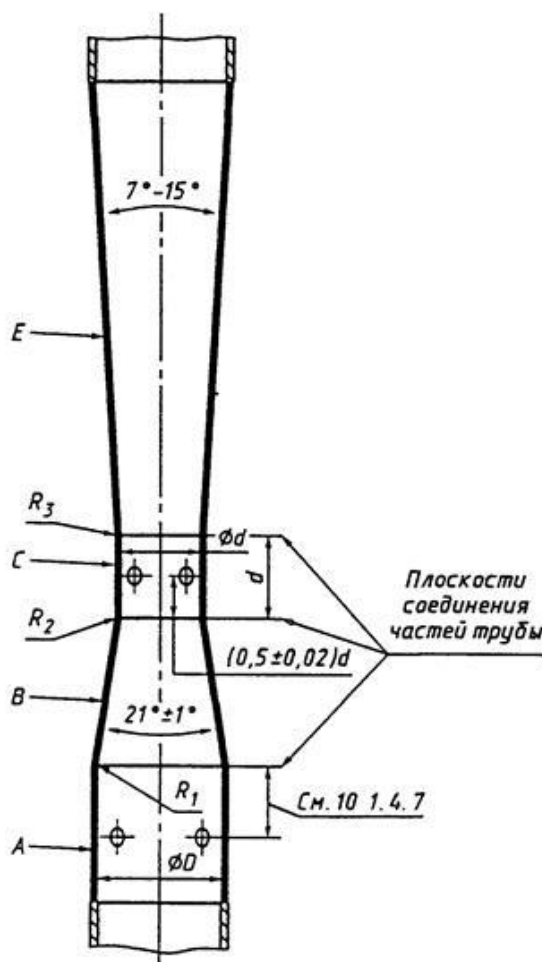
В якості такого препроцесора використовується пакет КОМПАС-3D V12, що відноситься до сімейства CADов (Computer-Aided Design — автоматизоване проектування), які отримали широке поширення в сучасній науковій та інженерній практиці.

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 «Відобразити масштабну сітку». В якості елементів розрахункової області найчастіше використовуються прямокутник, лінія, окружність або її частина; вони створюються відповідно за допомогою кнопок «Прямокутник» , «Лінія» ,

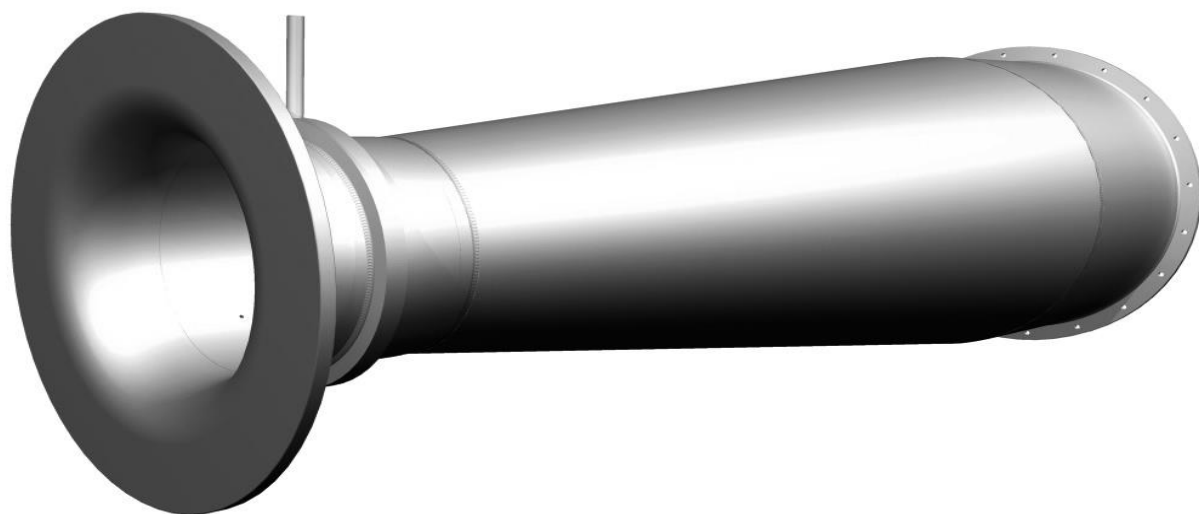
					KM 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

«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» намальоване замкнутий контур (прямокутник) перетворюється в тривимірне тіло (ще раз зазначимо, що пакет Flow Vision працює тільки з тривимірною геометрією). 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).

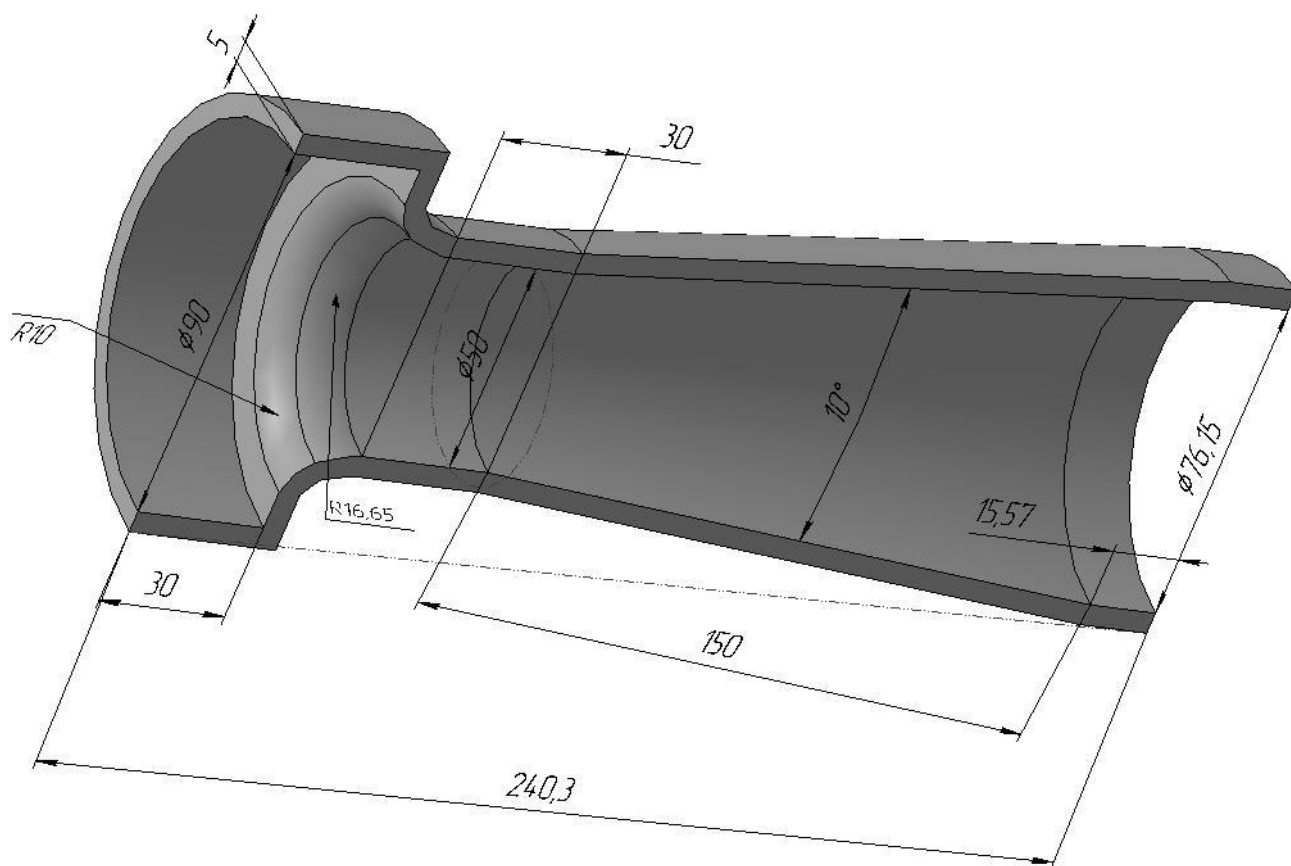


Малюнок 2.6 Ескіз моделі

					КМ 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27



Малюнок 2.7 Твердотільна модель досліджуваного об'єкта



Малюнок 2.8 Розрахункова модель проточної частини щілини

Модель розрахунку – повністю стискаєма рідина.

									Лист
									28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

КМ 06.00.00.00 ПЗ

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

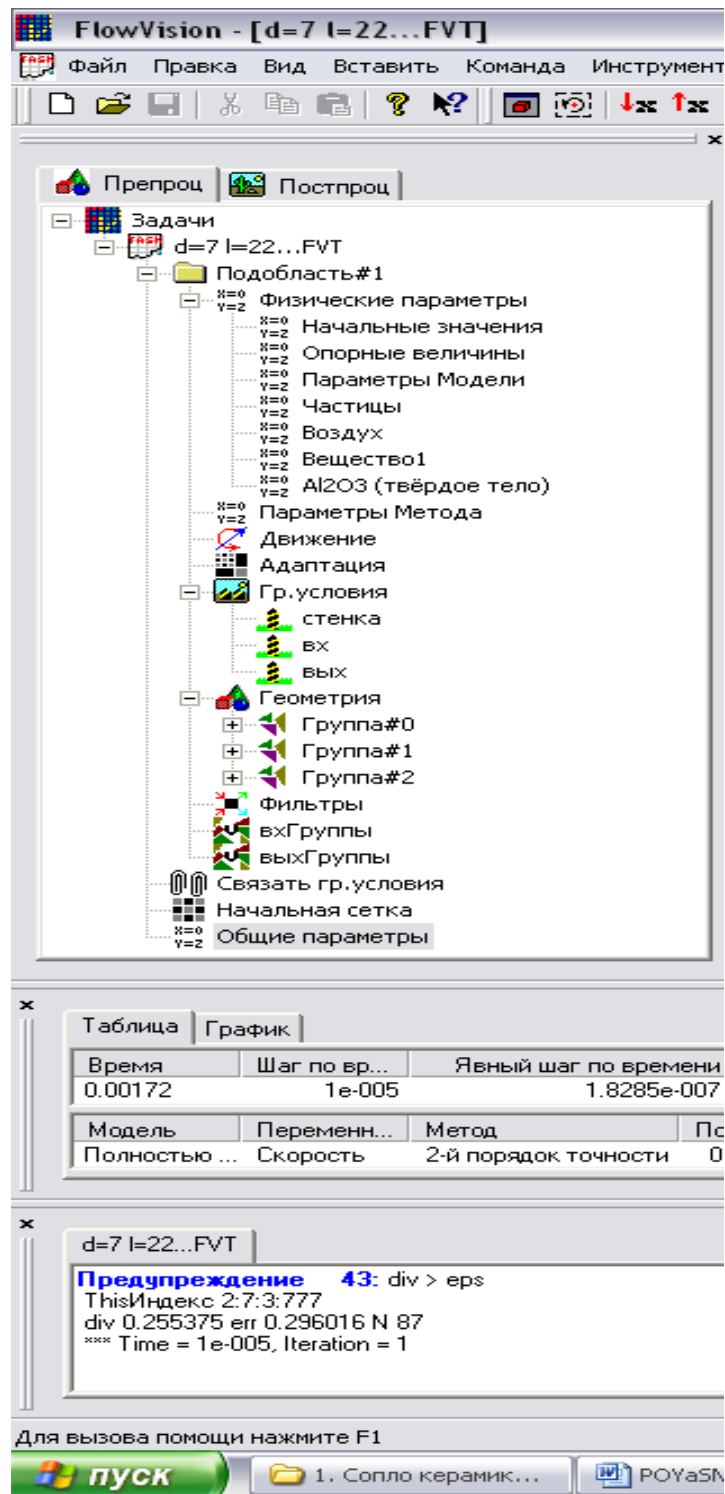
Препроцесор виконує такі основні функції:

- 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 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29



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

									Лист
									30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	КМ 06.00.00.00 ПЗ				

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 06.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
						31
<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.

					КМ 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		32

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.

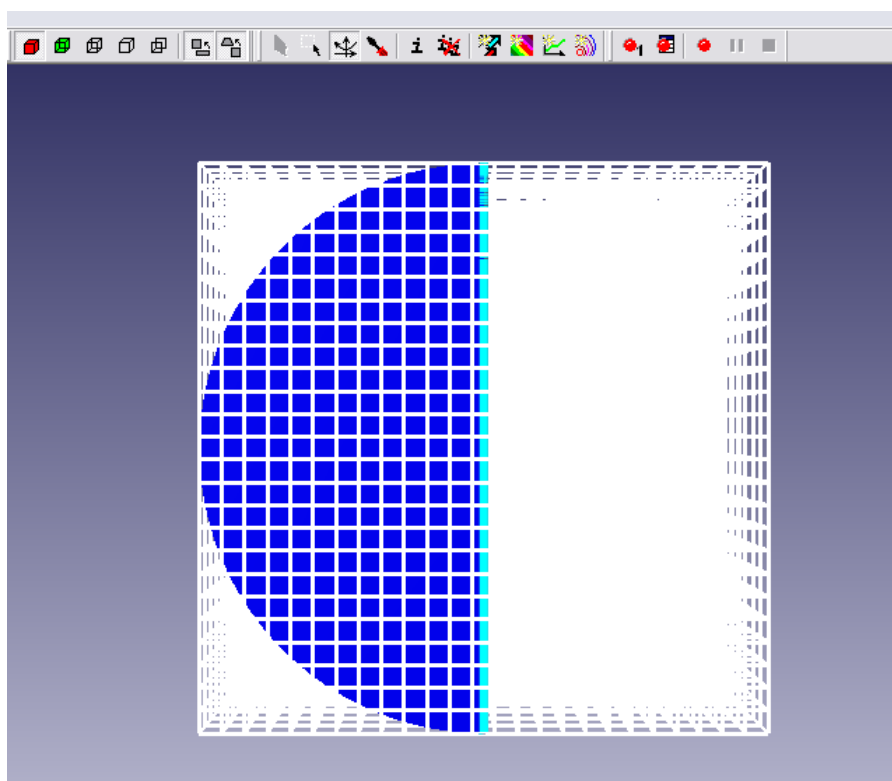
					КМ 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Дослідження циліндричного сопла

Виконано чисельне дослідження проточної частини піскоструменевого сопла з діаметром d , та довжиною l з використанням програмного комплексу FlowVision та Ansys. На малюнку 3.1 представлена 3D модель проточної частини сопла, нижче розрахункову модель (малюнок 3.2) та розрахункова сітка (малюнок 3.3). 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 $p_2 / p_1 = 1,98$ 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.

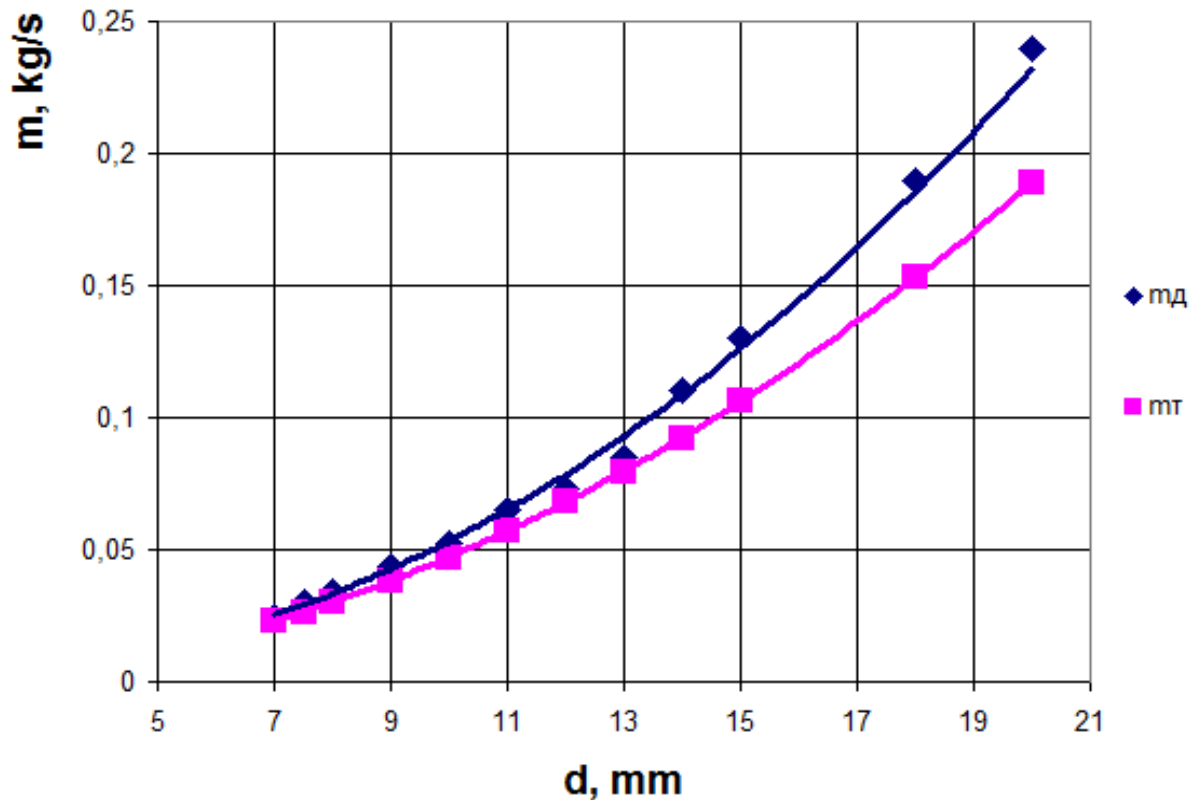


Малюнок 3.1 Розрахункова сітка

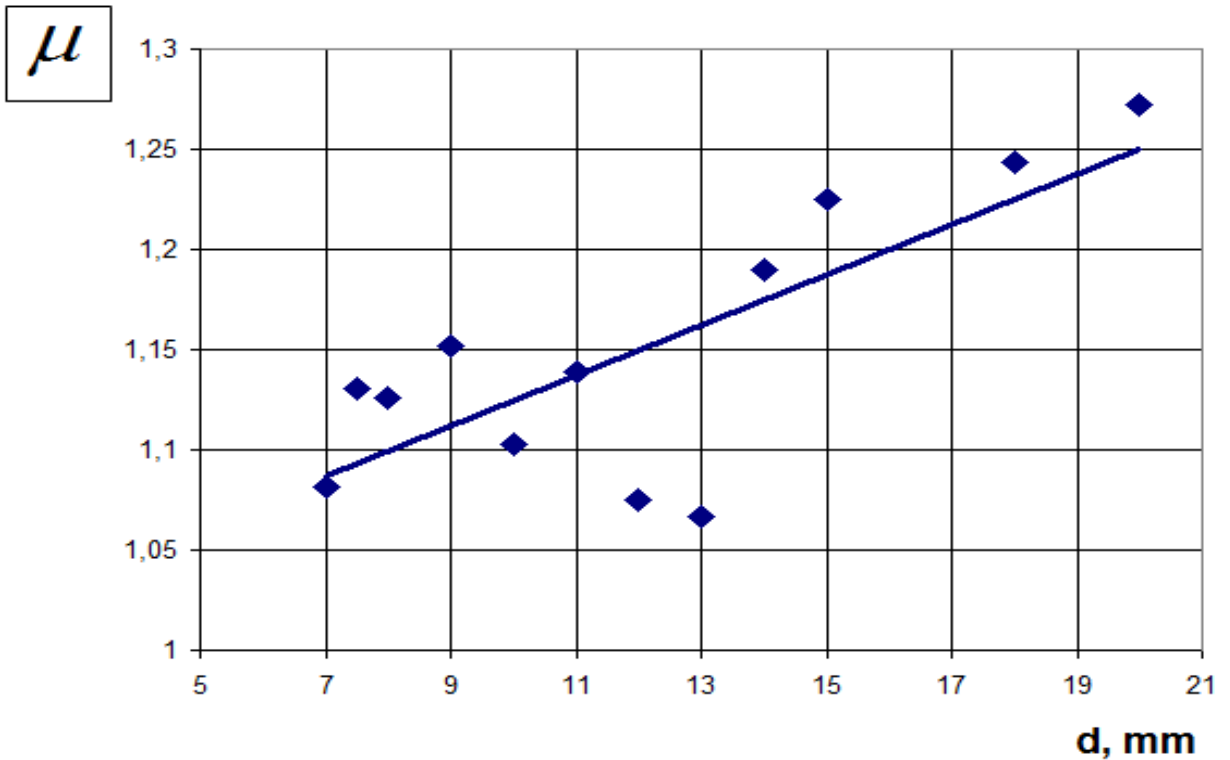
Головним параметром сопла є величина його внутрішнього діаметру d . Виконана серія чисельних розрахунків для встановлення значимості впливу параметру d на величину дійсної та теоретичної витрати.

Таблиця 3.1 Геометричні та режимні параметри роботи циліндричного сопла

№	r , м	d , мм	l , мм	m_d	ρ	f , мм ²	p_1 , Па	p_2 , Па	μ	m_t , кг/с	C_2 , м/с
1	0,0035	7	22	0,025	2,4	0,000038465	201000	101000	1,081738	0,023111	476
2	0,00375	7,5	22	0,03	2,4	4,41563E-05	201000	101000	1,130776	0,02653	479
3	0,004	8	22	0,034	2,4	0,00005024	201000	101000	1,126359	0,030186	482
4	0,0045	9	22	0,044	2,4	0,000063585	201000	101000	1,151717	0,038204	488
5	0,005	10	22	0,052	2,4	0,0000785	201000	101000	1,102507	0,047165	490
6	0,0055	11	22	0,065	2,4	0,000094985	201000	101000	1,138954	0,05707	495
7	0,006	12	22	0,073	2,4	0,00011304	201000	101000	1,074827	0,067918	500
8	0,0065	13	22	0,085	2,4	0,000132665	201000	101000	1,066376	0,079709	504
9	0,007	14	22	0,110	2,4	0,00015386	201000	101000	1,189911	0,092444	510
10	0,0075	15	22	0,130	2,4	0,000176625	201000	101000	1,225008	0,106122	516
11	0,009	18	22	0,190	2,4	0,00025434	201000	101000	1,243331	0,152815	525
12	0,01	20	22	0,240	2,4	0,000314	201000	101000	1,272123	0,188661	531
13	0,0035	7	22	0,041	2,4	0,000038465	201000	101000	1,774123	0,023111	698



а)

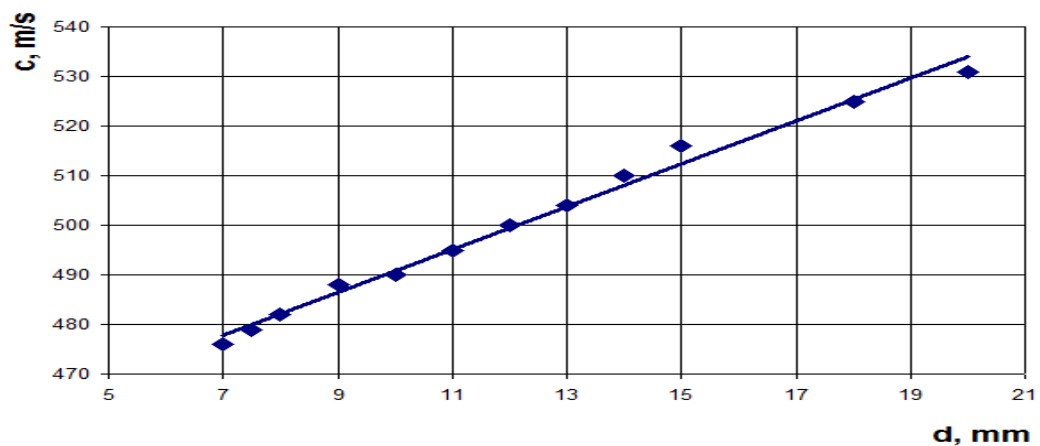


б)

Малюнок 3.1 Характеристики сопла

а) масова витрата суміші б) коефіцієнт витрати

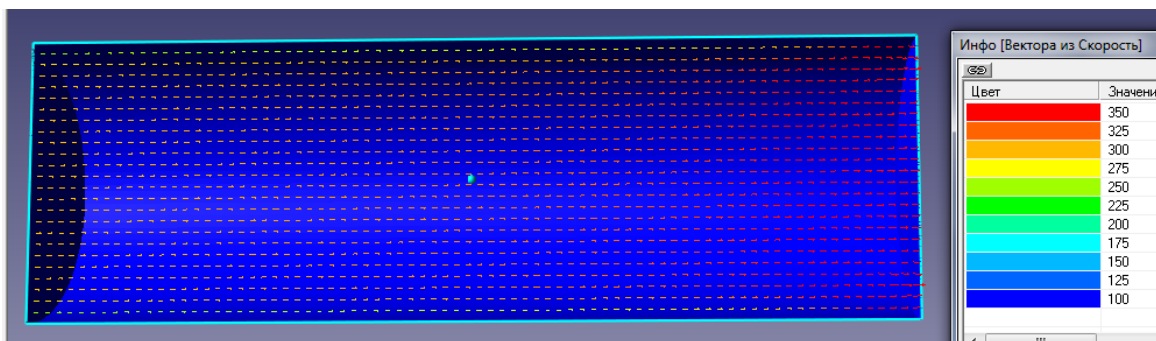
З отриманих залежностей (малюнок 3.1, 3.2) очевидна тенденція до збільшення значення коефіцієнта витрати повітряно-абразивної суміші сопла та його витратної швидкості зі збільшенням його внутрішнього діаметру при сталих значеннях вхідних та вихідних параметрів p_1 , p_2 .



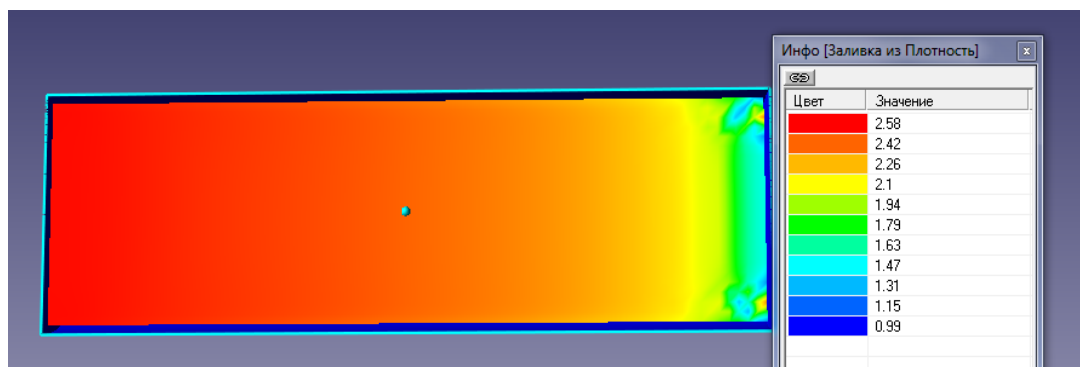
Малюнок 3.3 Вплив діаметра сопла на значення витратної швидкості c

Слід зауважити, що при збільшенні прохідного перетину сопла в два рази, величина витрачі через нього збільшується в 4.5 рази.

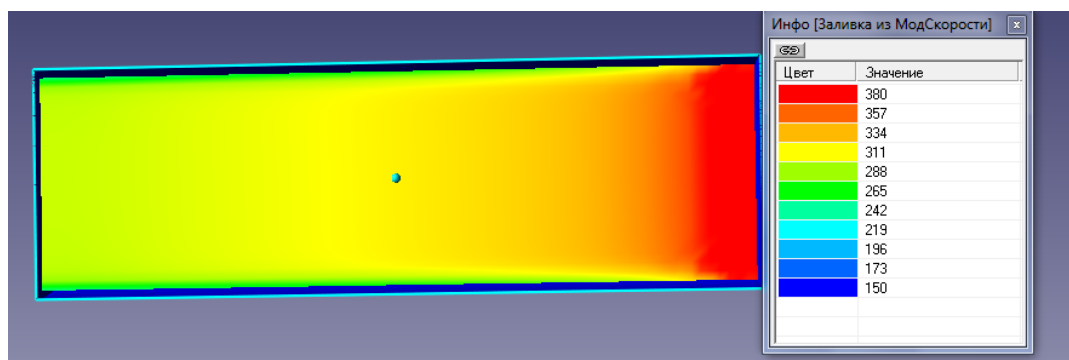
Нижче на малюнку 3.4, 3.5 наведені деякі візуалізації течії



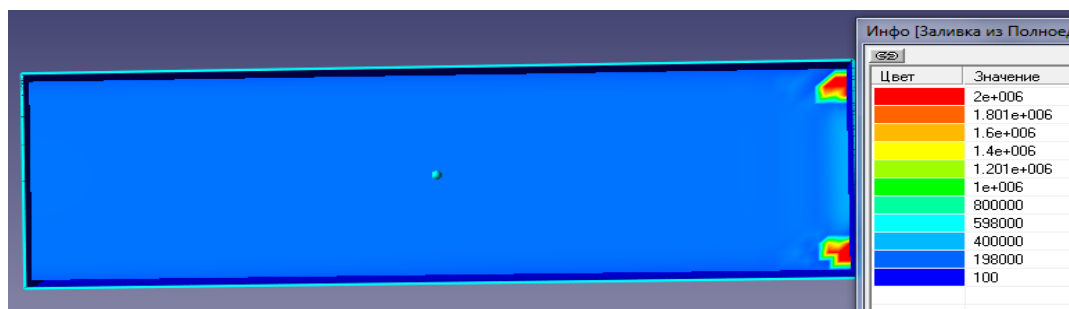
а)



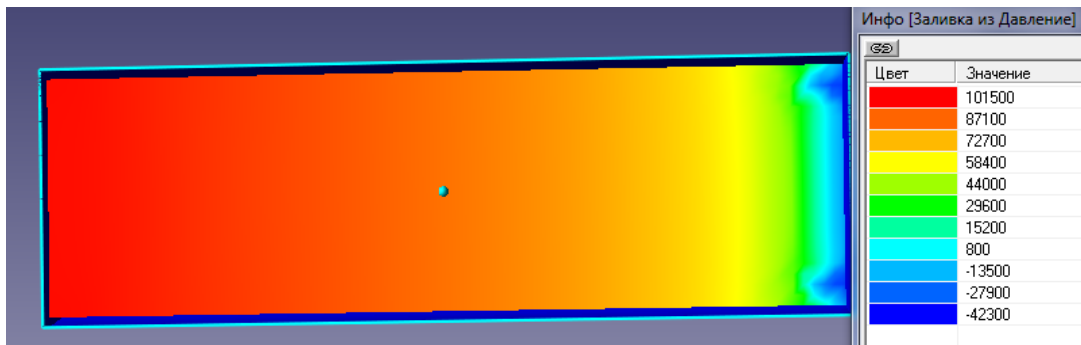
б)



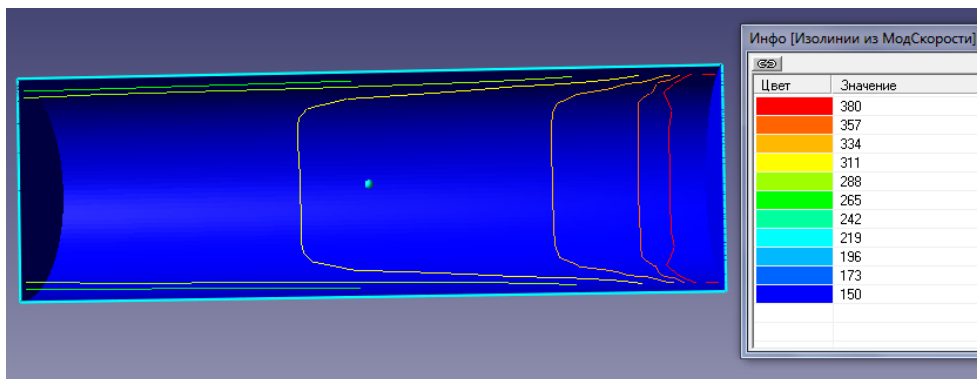
в)



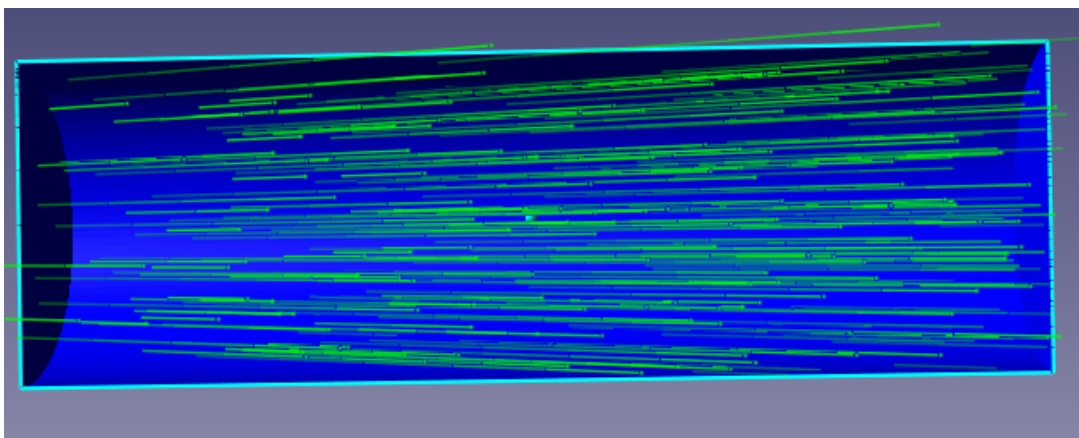
г)



д)



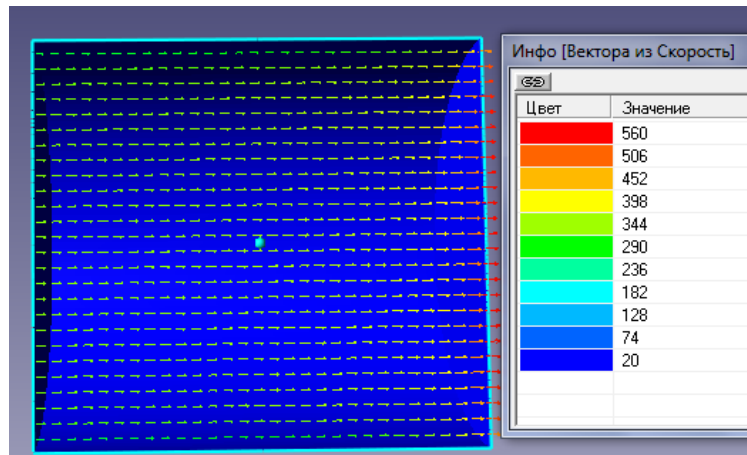
е)



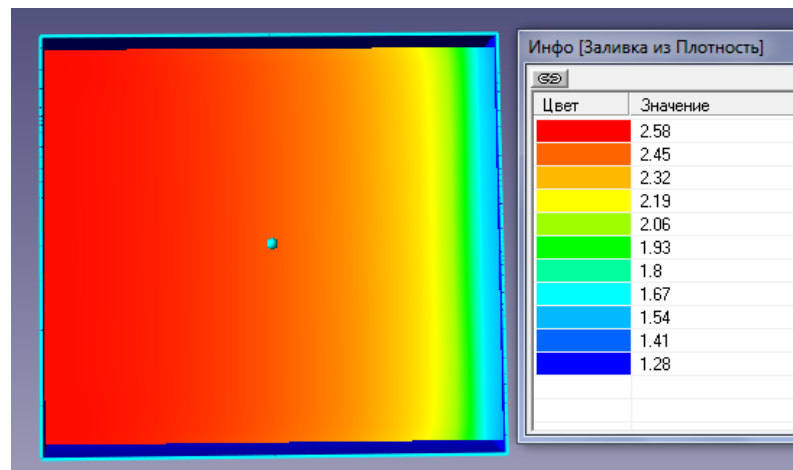
ж)

Малюнок 3.4 Візуалізації течії ($d=7\text{мм}$, $l=22\text{мм}$, $p1/p2=1,99$):

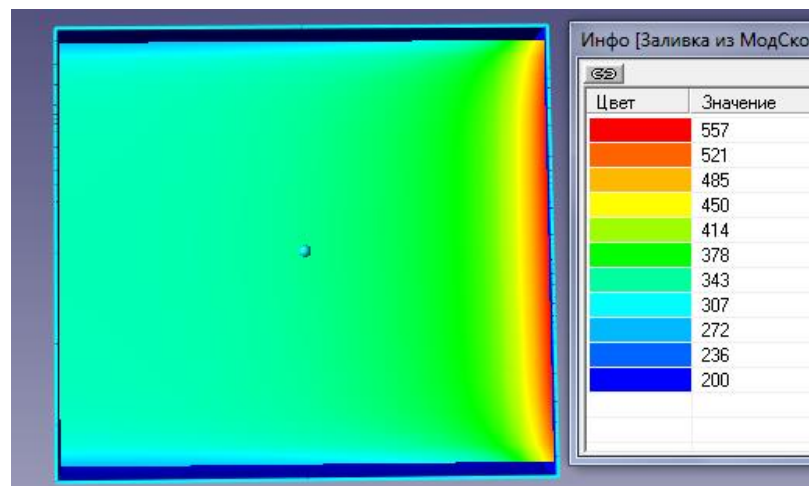
- а) вектора із швидкості; б) густина потоку; в) модуль швидкості;
 г) повний тиск; д) статичний тиск; е) ізолінії з модуля швидкості; ж) спалах швидкості.



а)

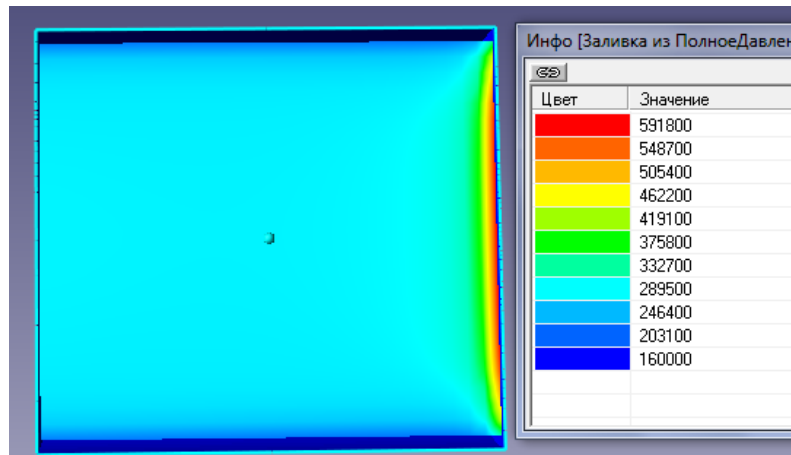


б)

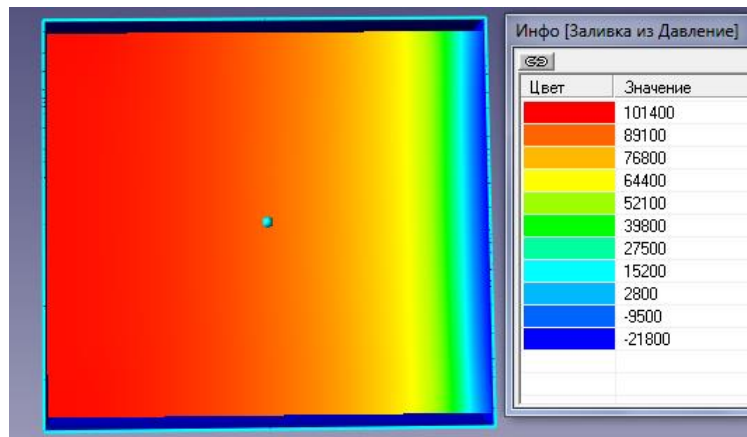


в)

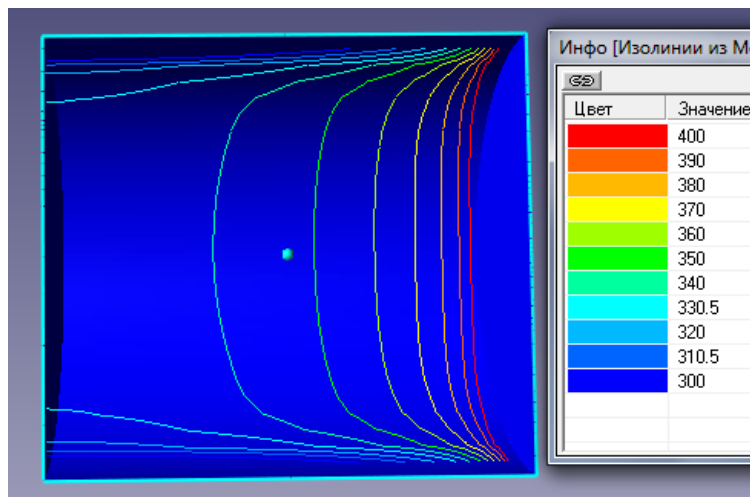
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



г)



д)



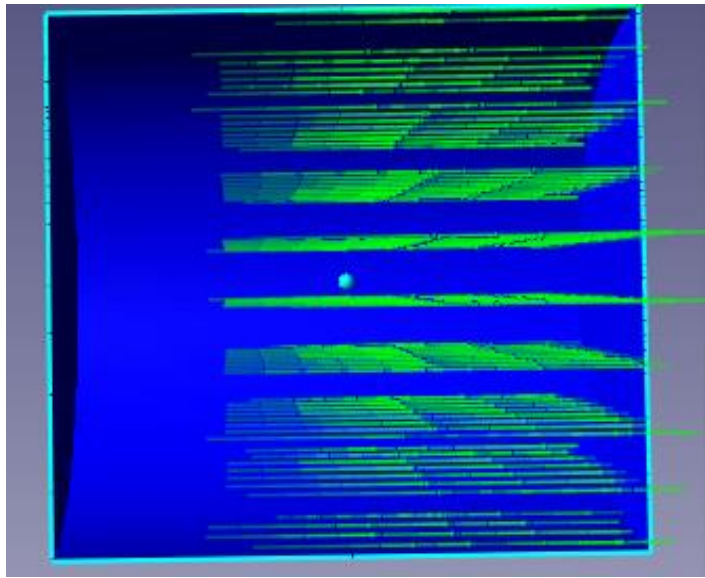
е)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

КМ 06.00.00.00 ПЗ

Лист

40



ж)

Малюнок 3.5 Візуалізації течії ($d=20\text{мм}$, $l=22\text{мм}$, $p_1/p_2=1,99$):

а) вектора із швидкості; б) густина потоку; в) модуль швидкості;
 г) повний тиск; д) статичний тиск; е) ізолінії з модуля швидкості; ж) спалах швидкості.

Звертає на себе увагу відмінність в структурі течії робочого потоку в соплах з різними значеннями внутрішнього діаметру $d=7\text{мм}$ та $d=20\text{мм}$. При $d=7\text{мм}$ маємо чітку нерівномірність параметрів потоку на виході з сопла, чого немає на малюнку 3.5 в силу збільшення прохідного перетину d . Візуалізації течії показують різке підвищення параметрів течії в вихідному перетині сопла. Данне явище не має місця при витіканні однофазного середовища.

На (малюку 3.4, б-д) перед вихідним перетином сопла бачимо запірання частини течії, яке виражається у формі двох локалізованих осередків підвищення робочих параметрів течії, які зникають зі збільшенням параметру d .

Аналіз ступеня забруднення і ступеня очистки обробленої поверхні

Метод аналізу поверхонь, які піддаються абразивоструменевому обробленню – це візуальна оцінка ступеня забруднення поверхні та ступеня її очистки після абразивоструменевого оброблення.

					<i>КМ 06.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		41

По стандарту [22] є чотири ступеня забруднення поверхні яка в буде піддаватися абразивоструменевому обробленню:

А – значна частина сталльної поверхні покрита приклеєною прокатною окалиною, іржа відсутня або наявна в незначних кількостях;

В – сталльна поверхня почала іржавіти і відшаровуватися;

С – сталльна поверхня чи повністю покрита іржею чи іржу можна зняти.

При цьому на поверхні помітні невеликі заглиблення;

Д – сталльна поверхня повністю покрита іржею або на ній незброєним оком помітні раковини внаслідок загальної корозії.

Згідно вищезгаданого стандарту поверхні набувають ступені стану після їх оброблення, в нашому випадку абразивоструменевого оброблення.

Отже є 4 ступені підготовки поверхні:

Sa1 – легке очищення, тобто коли незброєним оком на поверхні не видно мастила, жиру, бруду, виникаючої іржі, залишків захисних покриттів і інших чужорідних речовин;

Sa2 – ретельне очищення, тобто коли незброєним оком на поверхні не видно мастила, жиру, бруду і видалена майже вся іржа, шари фарби й інші чужорідні речовини. Будь-які залишки забруднень повністю скріплені з поверхнею;

Sa2 1/2 – дуже ретельне очищення, тобто коли незброєним оком на поверхні не видно мастила, жиру, бруду, видалена іржа, шари фарби й інші чужорідні речовини. Будь-які залишкові сліди забруднень будуть видні тільки у вигляді невеликих плям або смуг;

Sa3 – очищення до отримання візуально чистої сталльної поверхні, тобто коли незброєним оком на поверхні не видно мастила, жиру, бруду, видалена іржа, шари фарби й інші чужорідні речовини. Поверхня має рівний металічний відтінок.

										Лист
										42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

КМ 06.00.00.00 ПЗ

1.1. Сутність технології абразивоструменевого оброблення

Технологія фінішного оброблення різноманітних деталей абразивом характеризується великими можливостями в порівнянні з класичними методами абразивного оброблення. Доволі привабливим є можливість оброблення деталей, що володіють невеликою жорсткістю [10].

Крім відносно гнучких деталей, також з великою продуктивністю можна обробляти жорсткі великі корпусні деталі, у яких необхідно піддавати обробленню широкі ділянки поверхні.

При виготовленні деталей різноманітної форми можуть виникати певні дефекти (гострі кромки, задирки, припіки, бульбашки, недостатня шорсткість поверхні після лиття), які необхідно усувати, оскільки дані дефекти можуть спричинити проблеми в подальшому обробленні або ж експлуатації. Як приклад, подальше оброблення деталей це фарбування, лакування, гальванічне оброблення та ін.

					КМ 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43



Малюнок 3.6 – Методи обробки матеріалу

Також, деталі, що будуть експлуатуватися з вище згаданими дефектами, будуть працювати неточно та неефективно. Більше 80% трудомістких фінішних операцій оброблення лопаток і дисків парових та газових турбін виконуються вручну. Норматив працездатності на заокруглення кромки на робочих дисках турбін в залежності від їх розміру складає від 4 до 20 год. на один диск. Тому проблемі механізації операції видалення задирок та округлення кромки приділяється дуже серйозна увага в світовій практиці. Наведено схему (мал. 3.6), що демонструє різноманітність

методів фінішного оброблення деталей різної форми [11].

Технологія струменево-абразивного оброблення поверхонь відома кілька десятиріч. Перша згадка про струменево-абразивне оброблення з'явилася вже в 1960-1970-ті роки, але певний час його важко було довести до промислових потужностей. Лише відносно недавно даний метод оброблення набув широкого використання та популярності. Струменево-абразивне оброблення використовується в тих випадках, коли необхідно з малими витратами, якісно та ефективно провести оброблення поверхні, а саме очистити її від окалини, старих лакофарбових покриттів, слідів корозії, припиків, задирків та ін.

Особливе місце займає оброблення зернистим матеріалом, тобто часточками абразиву. Оброблення деталей потоком абразивних часток може досягатися кількома шляхами:

- оброблення абразивною суспензією;
- пневмо-піскоструменеве оброблення;
- пневмо-гідро-піскоструменеве оброблення;

Згідно [10] в загальному вигляді абразивоструменеве оброблення володіє великою кількістю переваг, серед яких можна відмітити:

- низький рівень шуму (10-20 дБ);
- універсальність (можливість оброблення різних деталей складної конфігурації, а також деталей з різних матеріалів без переналагодження);
- нескладне плавне регулювання інтенсивності процесу;
- низькі експлуатаційні витрати;
- можливість суміщення видалення задирків з видаленням окалини, оксидної плівки, старих покриттів і забруднення;
- можливість багатократного використання абразиву;
- можливість простого відокремлення деталей від абразивного матеріалу;
- можливість оброблення деталей у важкодоступних місцях.

					<i>КМ 06.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						45
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Оскільки, абразивоструменеве оброблення володіє специфічними обробними можливостями, то воно все ширше використовується в таких виробництвах як машинобудування, металургія, приладобудування. Наведено технологічні операції, виконання яких можна здійснити абразивоструменевим обробленням:

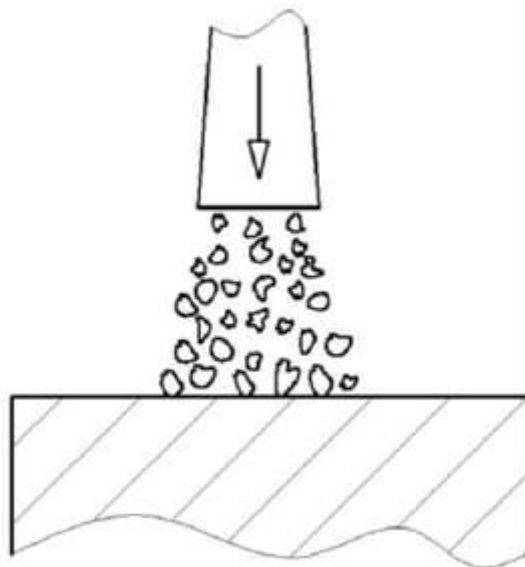
- видалення задирків, що можуть виникати при різноманітних різальних операціях;
- округлення або "затуплення" гострих кромek і радіусів, наприклад для безпечного використання виготовлених деталей;
- видалення окалини, що часто виникає в ливарному, прокатному виробництвах;
- підготовка під візуальний контроль для точного визначення поверхневих дефектів, у більшості випадків тріщин;
- зменшення шорсткості поверхні;
- підготовка поверхонь під гальванічні і лакофарбові покриття наприклад з метою очищення даних поверхонь;
- видалення дефектного поверхневого шару, наприклад для проведення подальших технологічних процесів попереджаючи брак;
- видалення окремих локальних поверхневих дефектів без повного оброблення цілої поверхні;
- утворення мастильних каналів для утримання мастила на поверхні наприклад для зниження сил тертя;
- отримання матової поверхні, яка може виконувати різні функції такі як декоративні, приховати можливі невідповідальні дефекти геометричної форми виробів.

Сама сутність процесу абразивоструменевого оброблення полягає в тому, що на оброблювану поверхню деталі направлено потік абразиву з великою швидкістю. Дані зерна абразиву володіють певною кінетичною енергією, а отже здатні змінити стан поверхні обробної деталі попадаючи на неї. Частіше всього абразивний матеріал змішують з рідиною або повітрям під тиском. Отже потік суміші абразиву з повітрям надає кожному

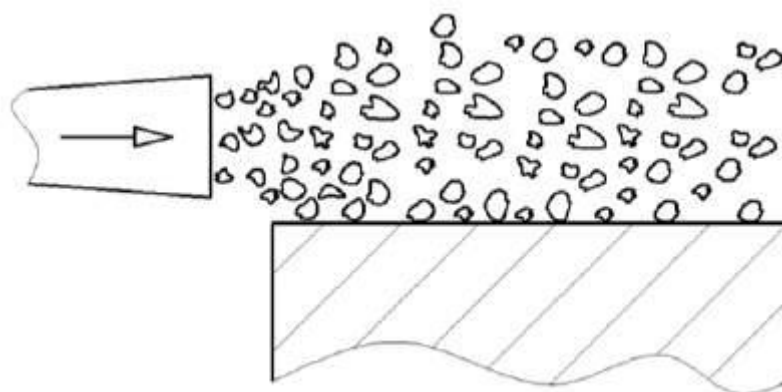
					КМ 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

абразивному зерну запас кінетичної енергії, що, перетворюється в роботу різання і є достатнім для відокремлення від обробної поверхні мікростружки, що створює на поверхні характерний зовнішній вигляд [79].

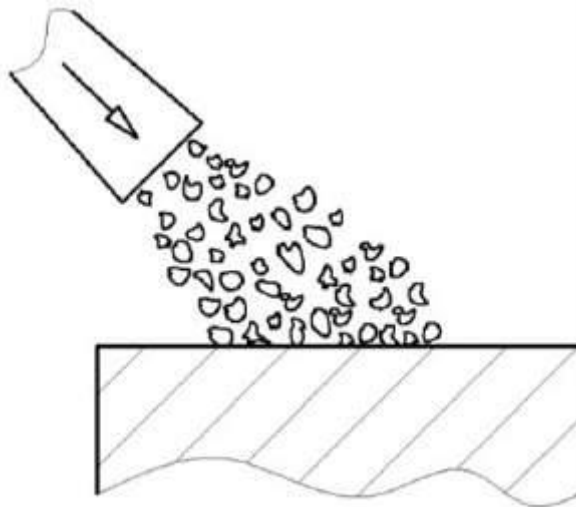
Абразивне руйнування поверхні твердого тіла залежить від характеру впливу абразивних зерен на дану поверхню. Залежно від напрямку дії абразивного струменя на поверхню розрізняють наступні схеми її впливу: руйнування обробним струменем при куті атаки $\alpha=90^\circ$ (мал. 3.7, а); руйнування ковзаючим струменем при куті атаки $\alpha=0^\circ$ (мал. 3.7, б); руйнування нахиленим струменем при куті атаки $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ (мал. 3.7, в) [14, 67].



а)



б)



в)

Малюнок 3.7 Схеми впливу абразивного струменя на оброблювану поверхню деталі

Варто відмітити, що наведені схеми впливу абразивного струменя на поверхню утворюють різні схеми напружень в пластичному та крихкому матеріалі. Для прикладу, при обробці поверхні пластичного матеріалу руйнування ефективніше буде проходити при наявності великих тангенціальних зусиль, які виникають при нахиленому куті атаки струменя, а при обробці крихкого матеріалу більш продуктивним буде прямий центральний удар абразивного зерна по поверхні [17].

Важливим моментом при абразивострумневому обробленні є те, що висока швидкість абразивних часток призводить до інтенсивного зношування каналів сопел, через які проходить абразивний матеріал. В свою чергу, це призводить до підвищеної витрати абразивного порошку, стисненого повітря і фільтрів для очистки повітря.

Досліджуючи процес очистки деталей від окалини, ми побачили, що при високій швидкості абразивні часточки пробиваючи поверхневу плівку зустрічаються з металічною поверхнею та вдаряючись об неї подрібнюються на більш дрібні фракції. Масовим подрібненням абразивних часток пояснюється різке зниження інтенсивності знімання матеріалу .

Експериментально встановлено, що продуктивність оброблення

						<i>КМ 06.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			48

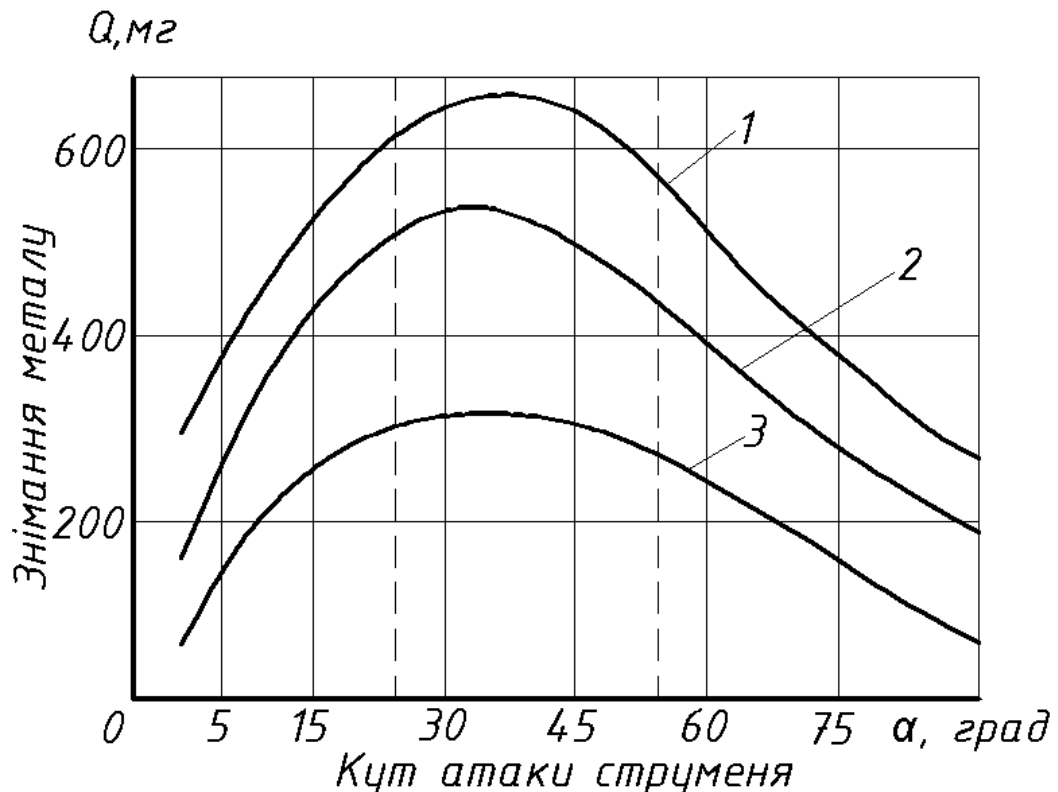
значно залежить від тиску стисненого повітря, що можна побачити з таблиці 3.2, де наведені результати дослідження 0,5 м кв. листового металу товщиною 2 мм зі Ст 45.

Таблиця 3.2 – Залежність знімання металу з обробної деталі від тиску стисненого повітря перед соплом, матеріал Ст 45

Знімання матеріалу, Q, мг	Тиск P, МПа	
	Циліндричне сопло	Сопло Вентурі
80	0,08	-
92	0,089	-
110	0,091	-
144	0,12	-
156	0,18	0,11
182	0,24	-
191	0,31	-
210	0,39	0,30
260	0,42	-
300	0,44	-
420	0,53	0,48
510	0,57	-
710	0,64	0,51
870	0,68	-
910	0,705	-
1100	0,72	0,60

На малюнку 3.8 показано залежність інтенсивності руйнування поверхневого слою від швидкості потоку абразиву.

Видно, що продуктивність оброблення зростає з підвищенням концентрації абразиву до насичення суспензії. При подальшому збільшенні концентрації продуктивність оброблення стабілізується, а потім процес витoku струменя зупиняється через блокування соплового каналу абразивним матеріалом. На малюнку 3.8 зображені графіки залежності кількості знятого матеріалу від кута нахилу струменя, дані графіки утворені згідно експериментальних даних.



Малюнок. 3.8 Залежність продуктивності оброблення від кута між віссю струменя і площиною та від зернистості абразиву: 1 – абразив 80 мкм; 2 – абразив 60 мкм; 3 – абразив 40 мкм.

Під час проведення експериментальних досліджень змінювався лише кут і зернистість абразиву. З графіків можна дійти висновку, що зона найбільш ефективних кутів нахилу струменя під час оброблення деталей середньої забрудненості знаходиться в межах 25-50° незалежно від зернистості абразиву. Якщо поверхня має глибоку корозію, або товстий шар фарби, необхідно збільшувати кут до 90 градусів. Якщо працюємо з

нержавіючою сталлю, або з новим металом, з якого необхідно зняти жирові плями та легку окалину, нут нахилу можна зменшити до значень менше 25 градусів, що суттєво підвищить швидкість обробки деталі (табл.3.3).

Таблиця 3.3 – Залежність часу обробки деталі виконаної із нержавіючої сталі 12Х18Н10Т від кута нахилу сопла

Кут нахилу, Град.	Час обробки t, с	
	Циліндричне сопло	Сопло Вентурі
15	40	25
30	55	43
45	70	58
60	90	80
75	180	147
90	210	179

Сопла для абразивоструменевого оброблення та технологія їх виготовлення

Згідно [100] існує багато різних видів сопел, кожне для певної області використання. Сопло має розглядатися як штучний ручний інструмент. При виборі сопла для певного оброблення воно характеризується наступними параметрами: прохідний отвір сопла, довжина сопла, матеріал сопла, форма (конструкція) сопла. Розглянемо детальніше кожен з вище перерахованих параметрів.

Прохідний отвір сопла

Даний параметр повинен визначатися залежно від наявного в кожному окремому випадку кількості повітря. Варто пам'ятати, що потужність струменя пропорційна наявному в нашому розпорядженні об'єму повітря, який проходить через сопло під високим тиском. Для кращого розуміння

потужності сопла нижче наведені відсоткові показники згідно [17].

Приймаючи за 100% сопло з отвором 1/4" = 6 мм ми отримуємо наступні дані:

- сопло з отвором 1/4" = 6 мм має потужність 100%;
- сопло з отвором 5/16" = 8 мм має потужність 157%;
- сопло з отвором 3/8" = 9,5 мм має потужність 220%;
- сопло з отвором 7/16" = 11 мм має потужність 320%;
- сопло з отвором 1/2" = 12,5 мм має потужність 400%.

Можна зробити висновок, що, наприклад, використовуючи сопло розміром 1/4" досягають середньої потужності струменя в розмірі 30 м3/год, то при використанні сопла розміром 3/8" потужність складе вже 66 м3/год.

Серійно виготовляються сопла наступних розмірів (діаметри найменшого прохідного отвору сопла):

- Ø 6 мм;
- Ø 8 мм;
- Ø 10 мм;
- Ø 12 мм.

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.

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 :

					КМ 06.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		52

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

Показники довговічності розраховані для матеріалу – пісок. При використанні як матеріалу сталєних 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 [17]. 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 використовуватись для всіх відомих матеріалів. Сопла, облицьовані карбїдом бору, можуть використовуватись для будь-яких матеріалів [17].

Форма (конструкція) сопла

З моменту виникнення абразивоструменєвого 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 [100]. 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 [17].

- 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 [17].

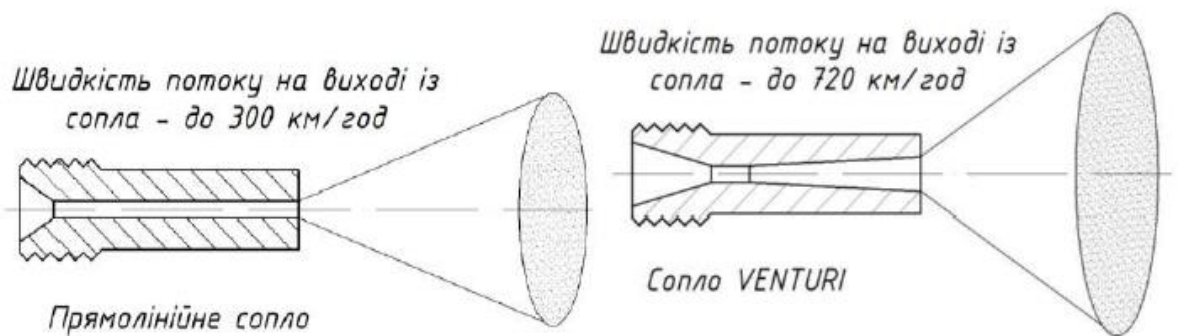
Усі сопла Вентурі мають горловину діаметром не менше 1" \approx 25 мм. Горловинним отвором позначають діаметр отвору, через який стиснене повітря і матеріал входять в струменево сопло з абразивоструменевого шлангу. Збільшення горловинного отвору до 32 мм внутрішнього діаметру грає роль у великих соплах, 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 струменево шлангу спеціальним швидкороз'ємним з'єднанням. Для таких спеціальних сопел можна використовувати тільки струменевий шланг з внутрішнім діаметром 32 мм. Різниця в потужності прямих сопел і однотипних широкогорловинних сопел Вентурі наведена в таблиці 3.4 [17]

					КМ 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

Таблиця 3.4 – Порівняльна таблиця абразивоструменевих сопел

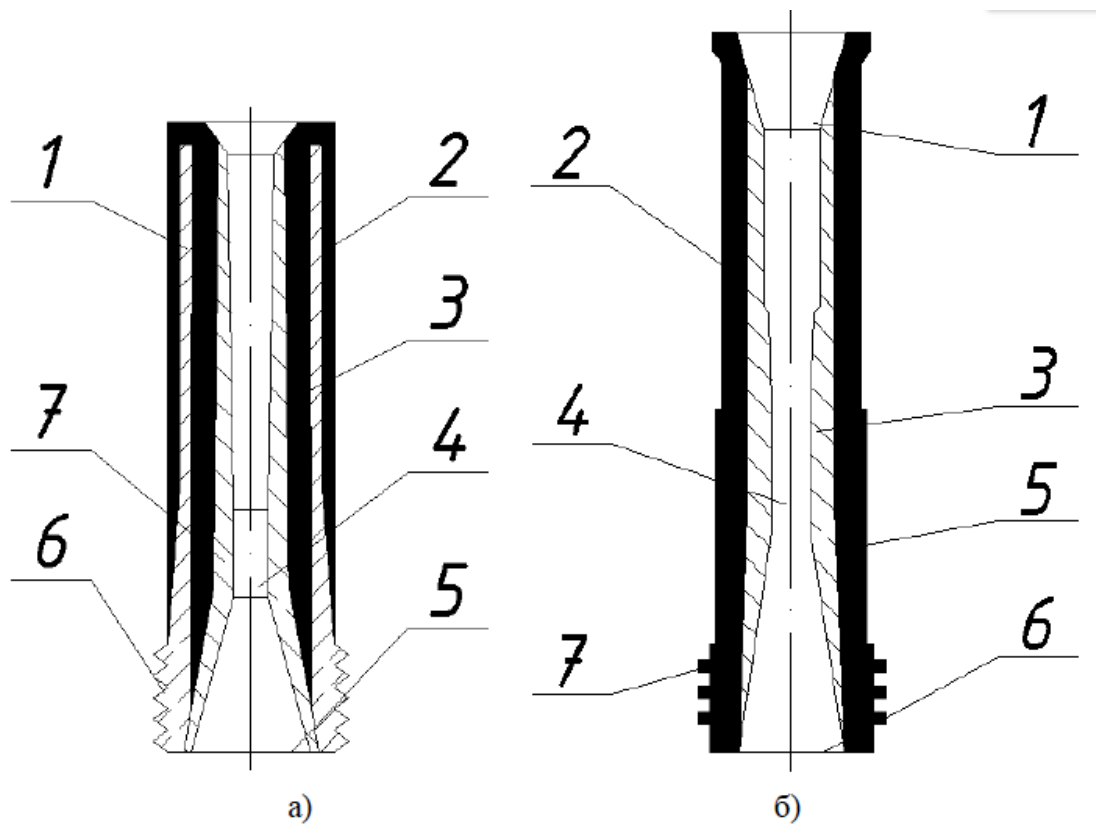
Конструкція сопла	Довжина	Діаметр отвору сопла	Потужність
Широкогорловинне Вентурі	175 мм	11 мм	100 %
пряме	150 мм	11 мм	75 % потужності широкогорловинних сопел Вентурі
пряме	50 мм	11 мм	65 % потужності широкогорловинних сопел Вентурі

На малюнку 3.9 зображено порівняльні конструкції двох основних типів сопел – прямолінійного і сопла форми Вентурі. Очевидна ефективність сопла Вентурі.



Малюнок 3.9 – Порівняння двох сопел

На малюнку 3.10 наведені основні конструктивні частини сопел абразивоструменевих машин з керамічними вставками.



Малюнок 3.10 – 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.

Виробництво 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].

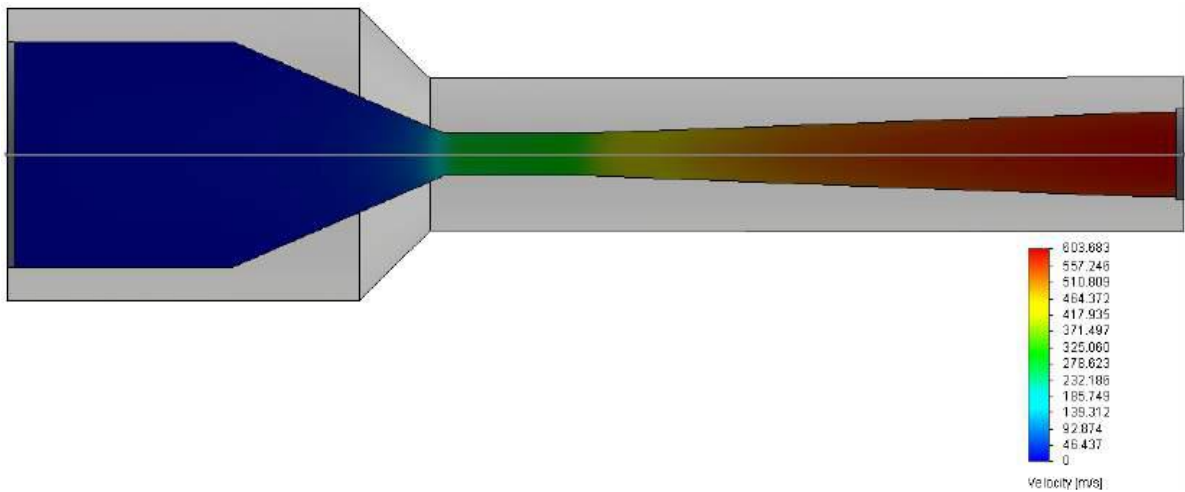
Моделювання умов зниження ефективності роботи сопла абразивоструменевої машини.

В сучасній науці при дослідженні різноманітних фізико-хімічних процесів широко використовуються так звані САЕ (Computer-aided engineering) програмні продукти. Вони дозволяють проводити віртуальні експерименти з отриманням результатів, які володіють великою достовірністю в порівнянні з лабораторними та практичними дослідженнями. Щоб уявити картину зношення, а отже і вихідних робочих характеристик потоку повітря з абразивом змодельємо роботу сопла при збільшенні внутрішнього діаметру від 6 мм до 12 мм, тобто до діаметру при якому сопло стане звичайним прямоточним.

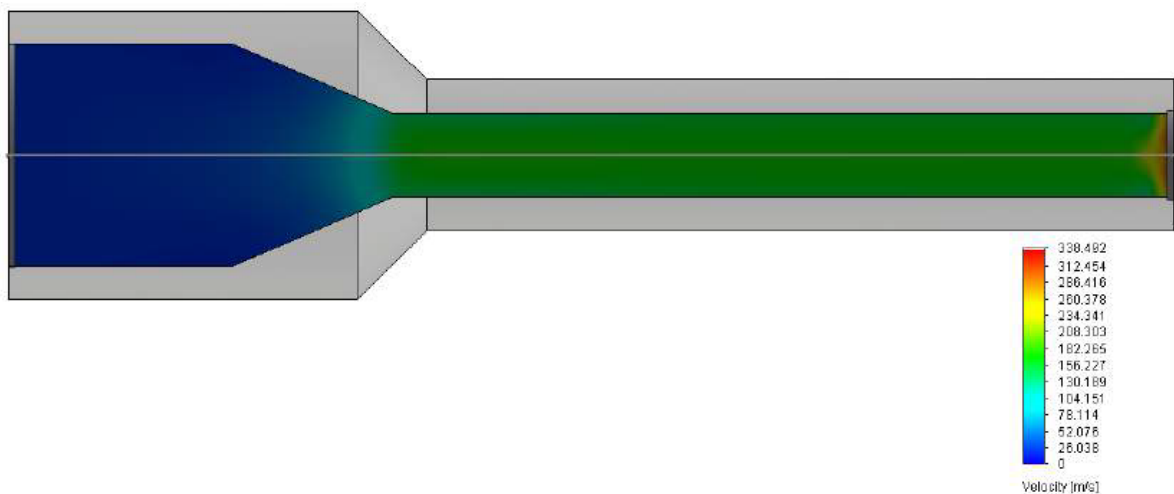
Згідно рекомендацій з використання абразивоструменевих сопел Вентурі з прохідним діаметром 6 мм, що використовуються на машинобудівних підприємствах, для продуктивної роботи необхідні такі параметри повітря, яке заходить в сопло: тиск повітря – 0,6 МПа, об'єм повітря, що входить в сопло – 0,0264 м³/с. Отже, початкові параметри при моделюванні: абразивний матеріал – пісок, речовина потоку – повітря, тиск повітря на вході – 0,6 МПа. На виході з сопла потік потрапляє у навколишнє середовище з атмосферним тиском (0,1 МПа), весь процес потоку проходить в попередньо змодельованому 3D об'єкті, тобто соплі форми Вентурі згідно

					КМ 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

розмірів. Для наочності наведемо градієнти розподілу швидкостей потоку повітря в соплах з прохідними діаметрами 6 мм, 9 мм та 12 мм абразивоструменевих машин (мал. 3.11-3.12).

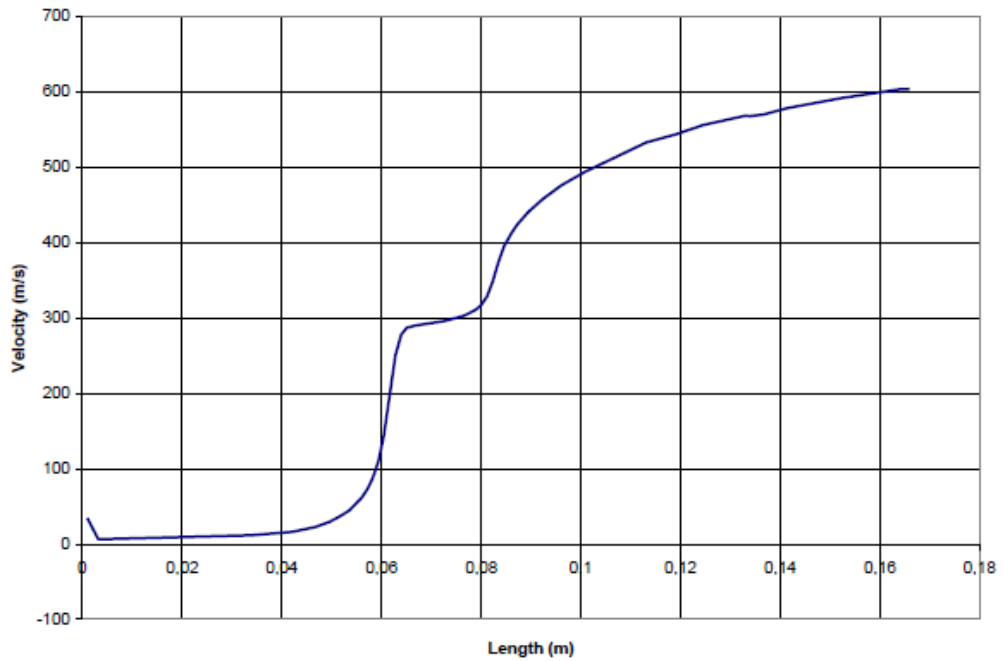


Малюнок 3.11 – Градієнт швидкості потоку повітря в соплі при діаметрі зони розгону 6 мм

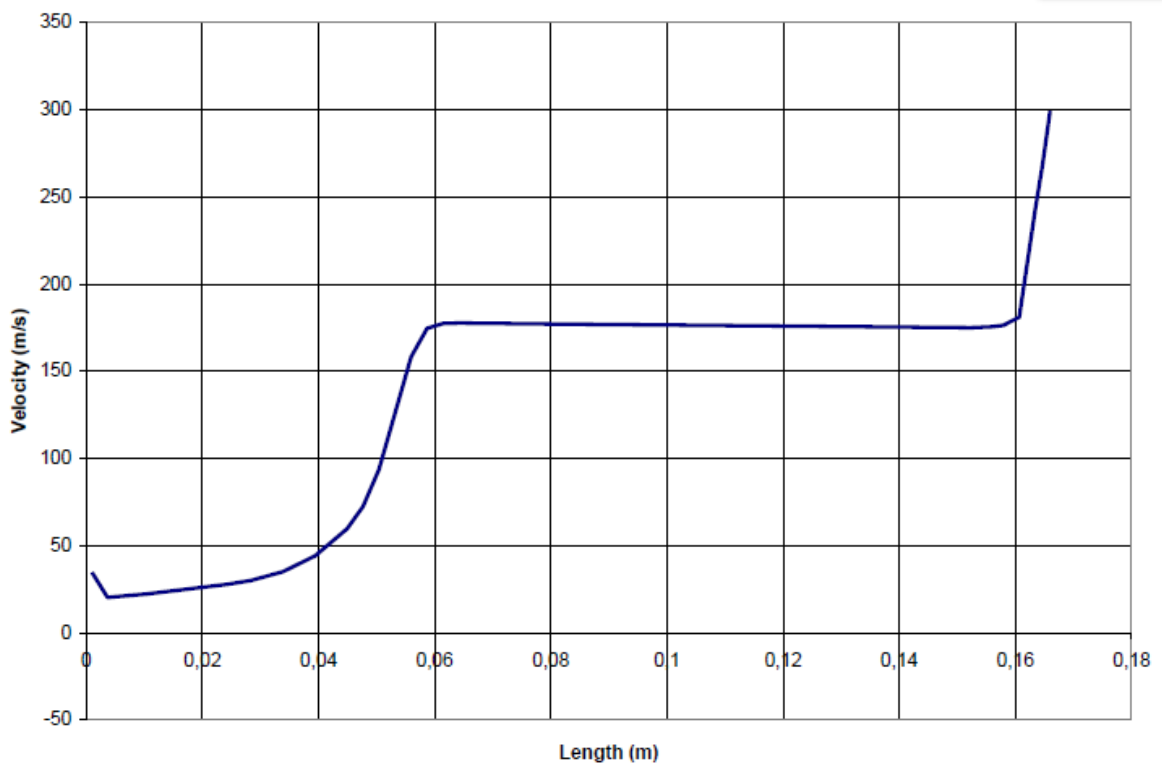


Малюнок 3.12 – Градієнт швидкості потоку повітря в соплі при діаметрі зони розгону 12 мм

На малюнку 3.13-3.14 зображено графіки розподілу швидкостей потоків повітря за результатами моделювання відповідно двох крайніх варіантів при діаметрах зони розгону 6 мм та 12 мм.



Малюнок 3.13 – Крива швидкості потоку по центральній осі сопла по довжині (діаметр зони розгону 6 мм)



Малюнок 3.14 – Крива швидкості потоку по центральній осі сопла по довжині (діаметр зони розгону 12 мм)

В таблиці 3.5 наведені швидкості потоку в зоні розгону отримані розрахунковим шляхом.

Таблиця 3.5 – Розподіл швидкості по довжині зони розгону сопла

Довжина, мм	Швидкість, м/с
10	270
20	282
30	295
40	309
50	330

Експериментальне визначення причини спрацювання сопла форми Вентурі абразивоструменевої машини

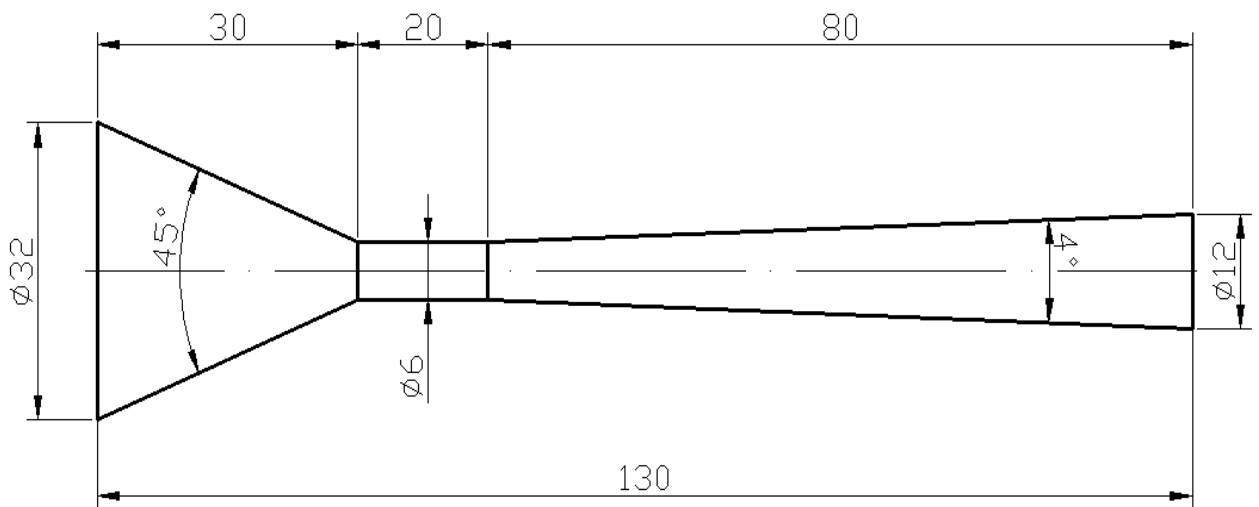
Для визначення причини втрати продуктивності роботи абразивоструменевого сопла форми Вентурі необхідно провести ряд випробувальних робіт.

Для проведення експерименту прискореного спрацювання сопла було вирішено виготовити його з менш зносостійкого матеріалу ніж ті що використовуються в сучасних соплах для абразивоструменевого оброблення, а саме карбід вольфраму (довговічність близько 300 год), карбід бору (довговічність 750 – 1000 год) та ін.

Експериментальні зразки сопел було виготовлено з сталі Ст 45 малянок 3.15, 3.16 згідно усіх геометричних розмірів внутрішньої робочої поверхні та приєднувальної дюймової різі 4½” аналогічно соплу форми Вентурі UDC32–450.



Малюнок 3.15 – Загальний вигляд експериментальних зразків сопел виготовлених з Ст 45



Малюнок 3.16 – Геометричні розміри внутрішньої поверхні сопла форми Вентурі UDC32–450

Виготовлені експериментальні сопла форми Вентурі використовувалися в абразивоструменевому обладнанні.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

КМ 06.00.00.00 ПЗ

Лист

61



а)



б)

Абразивоструменеве оброблення проводилася в два етапи:

1 етап. протягом 1,5 год при тиску у 0,6 МПа над батареєю (рис. 2.11) з усіх сторін абразивом (пісок річковий) з фракційним складом, який наведено в табл. 2.6.

2 етап. протягом 2,5 год при тиску у 0,6 МПа, який поступово знизився протягом процесу оброблення до тиску на ресивері у 0,52 МПа, що свідчить про критичне зниження продуктивності оброблення, що в свою чергу вказує

					KM 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

на повне зношення сопла. Оброблений виріб зображено на рис. 2.12. Фракційний склад оброблення наведено в табл. 2.7.

Розмір фракції, мм	Маса, г
До 0,1	2780
0,1-0,2	5110
0,2-0,32	3510
0,32-0,4	550
0,4-0,63	320
0,63 і більше	215
Сума	12485

Після спрацювання експериментальних зразків сопел, можна проаналізувати зони спрацювання та виявлення причин зниження продуктивності оброблення. Після накладання контуру профілів сопла нового і спрацьованого отримали зони зношення внутрішньої поверхні сопла форми Вентурі. Аналізуючи зношені сопла можна побачити, що зона 1 практично не зносилася. Навіть при використанні незносостійкого матеріалу, спрацювання внутрішньої поверхні сопла почалося з зони 2 і поширилося на зону 3. Зона розгону збільшилася в діаметрі з $\varnothing 6$ мм до $\varnothing 6,6$ мм (збільшення отвору на 10%) і перетворилася з циліндричної на конічну. І далі, як наслідок, зона 2, також зносилася, а її вихідний отвір збільшився з $\varnothing 12$ мм до $\varnothing 18$ мм (збільшення отвору на 50%). Провівши комп'ютерно-імітаційне моделювання проміжного варіанту зношення отримаємо криві розподілу швидкості потоку суміші повітря з абразивом вздовж сопла з різним ступенем спрацювання. Результати моделювання наведено на рис. 2.15.

Кут нахилу, Град.	Час обробки t, с			
	Циліндричне сопло		Сопло Вентурі	
	Нове	Зношене	Нове	Зношене
15	40	94	25	80
30	55	123	43	103
45	70	155	58	122
60	90	260	80	193
75	180	486	147	400
90	210	600	179	500

Аналізуючи вище наведене, можна дійти висновку, що найбільшу увагу потрібно приділити саме зоні 2, тобто зоні розгону, яка суттєво впливає на зношення внутрішньої робочої поверхні сопла в цілому. Навіть незначна зміна її геометричних параметрів (форми і розмірів) – суттєво впливають на швидкість процесу зношення робочої поверхні сопла.

Висновки за розділом 3

1. Виконано чисельне дослідження проточної частини піскоструменевого сопла з діаметром d , та довжиною l з використанням програмного комплексу FlowVision та Ansys.
2. Головним параметром сопла є величина його внутрішнього діаметру d . Виконана серія чисельних розрахунків для встановлення значимості впливу параметру d на величину дійсної та теоретичної витрати. Видна тенденція до збільшення значення коефіцієнта витрати повітряно-абразивної суміші сопла та його витратної швидкості зі збільшенням його внутрішнього діаметру при сталих значеннях вхідних та вихідних параметрів p_1 , p_2 .
3. Виконаний Аналіз ступеня забруднення і ступеня очистки обробленої поверхні.
4. Експериментально встановлено, що продуктивність оброблення значно залежить від тиску стисненого повітря та ступеня зносу сопла. Продуктивність оброблення зростає з підвищенням концентрації абразиву до насичення суспензії. При подальшому збільшенні концентрації продуктивність оброблення стабілізується, а потім процес витоку струменя зупиняється через блокування соплового каналу абразивним матеріалом.
5. Виконане зіставлення циліндричного сопла і сопла Вентурі виготовлених із Ст 45. Останнє більш ефективне, оскільки дозволяє в декілька разів швидше обробляти заготовки.
6. зона найбільш ефективних кутів нахилу струменя під час оброблення деталей середньої забрудненості знаходиться в межах $25-50^\circ$ незалежно від зернистості абразиву. Якщо поверхня має глибоку корозію, або товстий шар фарби, необхідно збільшувати кут до 90 градусів. Якщо працюємо з нержавіючою сталлю, або з новим металом, з якого необхідно зняти жирові плями та легку окалину, нут нахилу можна зменшити до значень менше 25 градусів, що суттєво підвищить швидкість обробки деталі.

					КМ 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

7. Чисельним шляхом отриманий розподіл швидкості в робочих соплах піскоструминної уставки, найбільші значення має зона розгону, яка в першу чергу і зношується.

8. Проаналізована зміна фракційного складу абразиву. Очевидна необхідність підмішування неспрацьованого абразиву до спрацьованої суміші. При обробці глибоких раковин від корозії слід використовувати мілку фракцію, при знятті фарби навпаки.

9. Експериментально встановлена зміна продуктивності циліндричного сопла та сопла Вентурі внаслідок зносу.

					<i>КМ 06.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		66

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 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].

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

4.2 Вимоги щодо монтажу (демонтажу), ремонту та модифікації (реконструкції та модернізації) обладнання під тиском

Монтаж (демонтаж) має виконуватися відповідно до вимог проекту виконання робіт на монтаж (демонтаж), розробленого з урахуванням технічної документації на встановлення обладнання під тиском і експлуатаційних документів (настанови з експлуатації, інструкції з монтажу, пуску, регулювання).

Улаштування фундаментів стаціонарних котлів та посудин здійснюється відповідно до проектною документації з урахуванням вимог

					КМ 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

документації на встановлення обладнання під тиском і експлуатаційних документів (настанови з експлуатації, інструкції з монтажу, пуску, регулювання).

Після проведення монтажу та налагодження обладнання під тиском складається акт, що підтверджує проведення монтажних робіт і налагодження.

У акті має бути зазначено:

найменування монтажної організації;

найменування, тип, виробник, заводський (серійний) номер обладнання під тиском;

відомості про матеріали, що використовувалися монтажною організацією;

відомості про зварювання (вид зварювання, тип і марка електродів, зварювального дроту, прізвище зварника і номер його посвідчення, результати випробувань контрольних зразків (у разі проведення));

висновки про відповідність проведених монтажних і налагоджувальних робіт вимогам документів, зазначених у пункті 1 цієї глави.

Роботи з налагодження, передбачені системою планово-попереджувальних ремонтів, виконуються відповідно до вимог настанови з експлуатації обладнання під тиском.

4.3 Вимоги щодо ремонту обладнання під тиском

Вимоги цієї глави поширюються на такі види ремонту складових частин обладнання під тиском:

ремонт основних елементів з метою їх відновлення (ремонт із застосуванням зварювання, а також ремонт, пов'язаний з відновленням деформованих або пошкоджених елементів, відновленням чи зміною конструкції стиків металоконструкцій), крім робіт, передбачених настановою з експлуатації;

					КМ 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

ремонт приладів і пристроїв безпеки, крім робіт, передбачених настановою з експлуатації.

Ремонт обладнання під тиском слід виконувати відповідно до вимог технічної документації, до складу якої мають входити технічні умови на ремонт.

Документи, що підтверджують якість застосованих матеріалів і зварювання, зберігаються в організації, що виконувала роботи, а їх копії разом з журналом нагляду (паспортом) - у власника протягом строку служби обладнання під тиском.

Відомості про ремонти обладнання під тиском, передбачені системою планово-попереджувальних ремонтів, записуються до ремонтного журналу.

Виведення обладнання під тиском в ремонт здійснюється працівником, відповідальним за справний стан і безпечну експлуатацію, відповідно до графіка ремонту, затвердженого роботодавцем, у разі необхідності проведення ремонту - в порядку, встановленому роботодавцем.

Проведення ремонту обладнання під тиском здійснюється за нарядам-допуском.

Експлуатація обладнання під тиском за призначенням під час його ремонту не дозволяється.

Після проведення ремонту відомості про виконані роботи із зазначенням місць ремонту (або додаються ремонтні креслення), відомості про застосовані матеріали із зазначенням номерів документів про їх якість зазначаються також у журналі нагляду (паспорті).

4.4 Вимоги щодо модифікації (реконструкції та модернізації) обладнання під тиском

Технічна документація на модифікацію (реконструкцію та модернізацію) має містити технічні умови.

Залежно від виду модифікації (реконструкції та модернізації) і обсягу змін, що вносяться, має надаватися нова настанова з експлуатації, а також

					<i>КМ 06.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		69

інструкція з технічного обслуговування, інструкція з монтажу, пуску, регулювання та обкатки виробника обладнання під тиском або доповнення чи зміни до існуючих, розроблені відповідно до вимог технічних умов на модифікацію (реконструкцію та модернізацію).

Після проведення модифікації (реконструкції та модернізації) суб'єкт господарювання, який проводив ці роботи, повинен оснастити обладнання під тиском маркувальною табличкою, укріпленою на видному місці, із зазначенням:

назви суб'єкта господарювання, який проводив модифікацію (реконструкцію чи модернізацію), і його знак для товарів і послуг (за наявності);

позначення обладнання під тиском після модифікації (реконструкції та модернізації) відповідно до технічних умов на модифікацію (реконструкцію чи модернізацію);

дати проведення модифікації (реконструкції та модернізації) із зазначенням місяця і року;

позначення технічних умов на модифікацію (реконструкцію чи модернізацію).

Після проведення модифікації (реконструкції та модернізації) суб'єкт господарювання, який виконував відповідні роботи, вносить до журналу нагляду (паспорту) відомості про виконані роботи із зазначенням усіх змін параметрів, характеристик і показників, відомості про застосовані матеріали із зазначенням номерів документів про їх якість.

Якщо ці дані неможливо відобразити, до нового журналу нагляду додається як додаток попередній журнал нагляду (паспорт).

Документи, що підтверджують якість застосованих матеріалів і зварювання, зберігаються у суб'єкта господарювання, який проводив модифікацію (реконструкцію чи модернізацію), а їх копії разом із журналом нагляду (паспортом) - протягом строку служби обладнання під тиском.

Крім того, додається і зберігається разом із журналом нагляду (паспортом) така документація:

					КМ 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

довідка про характер модифікації (реконструкції та модернізації), підписана відповідальною особою організації, що розробила технічну документацію на модифікацію (реконструкцію та модернізацію);

креслення загального вигляду з основними габаритними розмірами, якщо вони змінилися, та новими технічними характеристиками в разі їх зміни;

копії документів (або виписки з них) про якість металу, що використовувався під час модифікації (реконструкції та модернізації);

відомості про присадний матеріал (результати випробування наплавленого металу чи копії документів (або виписки з них) про якість електродів);

відомості про результати контролю якості зварювання металоконструкції.

Після модифікації (реконструкції та модернізації) обладнання під тиском проводяться приймальні випробування суб'єктом господарювання, який проводив модифікацію (реконструкцію чи модернізацію), відповідно до вимог технічних умов на модифікацію (реконструкцію та модернізацію). Допускається проводити приймальні випробування випробувальними лабораторіями (власника обладнання під тиском, суб'єкта господарювання, що проводив модифікацію (реконструкцію та модернізацію), чи іншого суб'єкта господарювання або призначеного органу з оцінки відповідності), органами з інспектування, акредитованими у відповідних сферах з акредитації.

За результатами випробувань складаються технічні звіти (протокол випробувань, акт приймання), які затверджуються в порядку, визначеному технічними умовами на модифікацію (реконструкцію та модернізацію), або залученими до проведення випробувань акредитованими випробувальними лабораторіями, органами з інспектування. Результати випробувань відображаються в журналі нагляду (паспорті) обладнання під тиском. До журналу додаються акт і протокол приймання.

					<i>КМ 06.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		71

На підставі позитивних результатів випробувань, зазначених у протоколі випробувань, технічних звітах, суб'єкт господарювання, який проводив модифікацію (реконструкцію чи модернізацію), складає декларацію про відповідність.

4.5 Інструкція з охорони праці при експлуатації апаратів і судин під тиском

4.5.1 До робіт у компресорних допускаються особи, що досягли 18 років і пройшли медичний огляд, вступний інструктаж, інструктаж і навчання на робочому місці, перевірку знань по охороні праці й інструктаж з безпечного обслуговування судин [18].

4.5.2. Працівники компресорних зобов'язані:

Знати і дотримувати правила по охороні праці при роботах на підприємстві в обсязі виконуваних обов'язків .

Знати порядок перевірки і користування ручним механічним і електричним інструментом, пристосуваннями по забезпеченню безпечного провадження робіт (драбини сходи й ін.). засобами захисту (діелектричні коврики і рукавички, інструмент з ізольованими ручками. індикатори напруги захисні окуляри);

Виконувати тільки ту роботу, що визначена інструкцією з експлуатації устаткування чи посадовими інструкціями, затвердженими адміністрацією підприємства і за умови що безпечні способи виконання добре відомі;

Знати і вміти робити першу медичну допомогу потерпілим від електричного струму і при інших нещасних випадках;

Дотримувати інструкції пожежної безпеки.

4.5.3. При обслуговуванні компресорних установок (судин) можливі впливи наступних небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

небезпечної напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може пройти через тіло людини, електричного удару, опіку електродугою;

виникнення шкідливих речовин (пари бензину, аерозолі свинцю);

					КМ 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

зниженої вологості повітря і підвищеної температури, недостатньої освітленості робочої зони;

небезпеки виникнення пожежі;

падіння персоналу при роботах на драбинах і сходах

падіння предметів з висоти (інструменту, елементів устаткування).

4.5.4. Про кожен нещасний випадок потерпілий чи очевидець негайно сповіщає безпосереднього керівника.

4.5.5. За невиконання даної інструкції винні притягуються до відповідальності відповідно до правил внутрішнього трудового розпорядку чи стягненням, визначеному КЗпП.

4.6 Вимоги безпеки перед початком робіт

Перевірити справність інструмента, засобів індивідуального захисту, засобів пожежегасіння

Перевірити стан освітлення.

Про всі недоліки і несправності, виявлених при огляді на робочому місці, докласти старшому зміни.

Розташувати інструмент на робочому місці, не допускаючи наявності зайвих предметів.

Вимоги безпеки під час роботи.

Ремонт судини і його елементів під час роботи не допускається.

Судина повинна бути зупинена у випадку:

при підвищенні тиску в судині понад дозволений, незважаючи на дотримання вимог, зазначених в інструкції;

при несправності запобіжних клапанів;

при виявленні в основних елементах судини тріщин, випучин, значного стоншення стінок, пропусків чи потіння в зварних швах, течі в заклепувальних і болтових з'єднаннях, розриву прокладок;

при виникненні пожежі, що безпосередньо загрожує судині під тиском;

					КМ 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

при несправності манометра і неможливості визначити тиск по інших приладах;

при зниженні рівня рідини нижче припустимого в судинах з вогневим обігрівом;

при несправності чи неповній кількості кріпильних деталей кришок і люків;

при несправності показчиків рівня рідини;

при несправності запобіжних блокувальних пристроїв;

при несправності контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматики;

При роботі компресора забороняється перевищувати граничне значення тиску (червона риска на шкалі кожного манометра).

Балони з газом у приміщеннях повинні знаходитися від радіаторів опалення на відстані не менш 1 м., а від джерел тепла з відкритим вогнем не менш 5 м.

Випуск газів з балонів у ємності з меншим тиском виробляється через редуктор, призначений винятково для даного газу і пофарбований у відповідний колір.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.

Кожен працівник, що знайшов порушення вимог даної інструкції і правил по охороні праці чи помітив несправність, небезпеку для людей, зобов'язаний сповістити про це безпосередньому керівнику.

У тих випадках, коли несправність становить загрозу безпеки для людей чи самого устаткування, працівник зобов'язаний ужити заходів по припиненню дії устаткування а потім сповістити керівника.

Якщо під час роботи стався нещасний випадок, необхідно негайно зробити першу медичну допомогу, доповісти про те, що трапилося, своєму начальнику і вжити заходів для збереження обстановки нещасного випадку якщо це не сполучено з небезпекою для життя і здоров'я людей.

При поразці електричним струмом необхідно якомога швидше звільнити потерпілого від струму, дотримуючи техніку безпеки.

					КМ 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		74

При пожежі в технічному приміщенні варто негайно приступити до його гасіння наявними засобами і викликати пожежну частину.

При виявленні сторонньої напруги на робочому місці необхідно негайно припинити роботу і доповісти старшому зміни.

Вимоги безпеки по закінченні робіт.

Упорядкувати робоче місце, інструмент.

Повідомити зміннику (старшому зміни) про всі несправності, замічених під час роботи.

Спецодяг забрати в спеціально відведене місце.

					КМ 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		75

Висновки за розділом 4

1. Виконано розрахунок шуму при витіканні з сопла.
2. Вказані вимоги щодо монтажу (демонтажу), ремонту та модифікації (реконструкції та модернізації) обладнання під тиском.
3. Вказані вимоги щодо ремонту обладнання під тиском.
4. Вимоги щодо модифікації (реконструкції та модернізації) обладнання під тиском.
5. Описана інструкція з охорони праці при експлуатації апаратів і судин під тиском.
6. Вимоги безпеки перед початком робіт.

					КМ 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

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 та типових труднощів при моделюванні течії з двофазним середовищем. Описана конструкція та принцип роботи експериментальної ежекторно-очисної установки.
3. Виконано чисельне дослідження проточної частини піскоструменевого сопла з діаметром d , та довжиною l з використанням програмного комплексу FlowVision та Ansys.
4. Головним параметром сопла є величина його внутрішнього діаметру d . Виконана серія чисельних розрахунків для встановлення значимості впливу параметру d на величину дійсної та теоретичної витрати. Видна тенденція до збільшення значення коефіцієнта витрати повітряно-абразивної суміші сопла та його витратної швидкості зі збільшенням його внутрішнього діаметру при сталих значеннях вхідних та вихідних параметрів p_1, p_2 .
5. Виконаний Аналіз ступеня забруднення і ступеня очистки обробленої поверхні.
6. Експериментально встановлено, що продуктивність оброблення значно залежить від тиску стисненого повітря та ступеня зносу сопла. Продуктивність оброблення зростає з підвищенням концентрації абразиву до насичення суспензії. При подальшому збільшенні концентрації продуктивність оброблення стабілізується, а потім процес витоку струменя зупиняється через блокування соплового каналу абразивним матеріалом.
7. Виконане зіставлення циліндричного сопла і сопла Вентурі виготовлених із Ст 45. Останнє більш ефективне, оскільки дозволяє в декілька разів швидше обробляти заготовки.
8. Зона найбільш ефективних кутів нахилу струменя під час оброблення деталей середньої забрудненості знаходиться в межах $25-50^\circ$ незалежно від

											Лист
											77
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							

КМ 06.00.00.00 ПЗ

зернистості абразиву. Якщо поверхня має глибоку корозію, або товстий шар фарби, необхідно збільшувати кут до 90 градусів. Якщо працюємо з нержавіючою сталлю, або з новим металом, з якого необхідно зняти жирові плями та легку окалину, нут нахилу можна зменшити до значень менше 25 градусів, що суттєво підвищить швидкість обробки деталі.

9. Чисельним шляхом отриманий розподіл швидкості в робочих соплах піскоструминної уставки, найбільші значення має зона розгону, яка в першу чергу і зношується.

10. Проаналізована зміна фракційного складу абразиву. Очевидна необхідність підмішування неспрацьованого абразиву до спрацьованої суміші. При обробці глибоких раковин від корозії слід використовувати мілку фракцію, при знятті фарби навпаки.

11. Експериментально встановлена зміна продуктивності циліндричного сопла та сопла Вентурі внаслідок зносу.

Виконано розрахунок шуму при витіканні з сопла.

12. В розділі охорони праці виконано розрахунок шуму при витіканні з сопла вказані вимоги щодо монтажу (демонтажу), ремонту та модифікації (реконструкції та модернізації) обладнання під тиском.

					КМ 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

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 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

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. Сопла абразивоструйные [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа до ресурсу: http://www.blastanticor.ru/sopla_abrazivostruynye/.

18. Інструкція з охорони праці при експлуатації апаратів і судин під тиском (1488)

					КМ 06.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80