

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до роботи

Магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Дослідження та оптимізація конструкції ежектора для
переміщення сипких матеріалів

Виконав: студент VI курсу,
групи 601-ММв
спеціальності 133 – Галузеве машинобудування
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Гончаров Артем Григорович

(прізвище та ініціали)

Керівник Орисенко О.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Аліна О.В.

(прізвище та ініціали)

Полтава – 2024 року

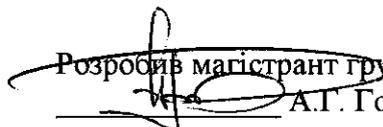
**Дослідження та оптимізація конструкції ежектора для
переміщення сипких матеріалів**

Кваліфікаційна робота магістра

Лист затвердження

ГММ.601-ММв.004-00.00.000 МР - ЛУ

Розробив магістрант групи 601-ММв

 А.Г. Гончаров

„14” 08 2024р.

Керівник к.т.н. доцент

 О.В. Орисенко

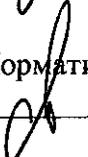
„20” 08 2024р.

Технологічний контроль к.т.н. доцент

 О.С. Васильєв

„26” 08 2024р.

Нормативний контроль к.т.н. доцент

 О.С. Васильєв

„26” 08 2024р.

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Галузевого машинобудування

та мехатроніки к.т.н. доцент



О.В. Орисенко

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення ННІТР

Кафедра, циклова комісія Галузевого машинобудування та мехатроніки

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки _____

(шифр і назва)

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри галузевого
машинобудування та мехатроніки**



О.В. Орисенко

“20” 03

2024 року

**ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Гончарову Артему Григоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження та оптимізація конструкції ежектора для переміщення сипких матеріалів

керівник магістерської роботи Орисенко Олександр Вікторович, к.т.н. доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 18.03.2024 р. № 309-фа.

2. Строк подання студентом роботи “ 20 ” серпня 2024 року.

3. Вихідні дані до магістерської роботи Дослідженню підлягає ежектор для переміщення струминних апаратів з кінчною та профільованою поверхнею вхідної частини камери змішування та осьовим зміщенням сопла.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1 Обґрунтування теми магістерської роботи. 2 Дослідження ежектора запропонованої конструкції. Висновки. Список літератури. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Презентаційні матеріали за темою «Дослідження та оптимізація конструкції ежектора для переміщення сипких матеріалів» (10 листів А4).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 20.03.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний огляд	18.04.2024 р.	
2	Обґрунтування вибраної теми	16.05.2024 р.	
3	Наукові дослідження за вказаною темою, розробка наукових плакатів	20.06.2024 р.	
4	Представлення готової роботи на кафедрі	20.08.2024 р.	

Магістрант


(підпис)

Артем ГОНЧАРОВ
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Олександр ОРИСЕНКО
(прізвище та ініціали)

Анотація

А. Гончаров. Дослідження та оптимізація конструкції ежектора для переміщення сипких матеріалів. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти «магістр» за спеціальністю 133 – «Галузеве машинобудування». – Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2024.

У кваліфікаційній роботі наведені результати вирішення науково-практичної задачі, яка стосується вдосконалення ежектора для переміщення сипких матеріалів та теоретичного обґрунтування параметрів його роботи. Запропоновано методику визначення ефективності роботи ежектора, яка базується на дослідженні коефіцієнта інжекції при конічній та профільованій вхідних частинах камери змішування та зміні осьового положення сопла по відношенню до цієї камери.

Запропоновано конструкцію ежектора у якого вхідна частина камери змішування має профільовано поверхню, а осьове положення сопла може змінюватись. Встановлено, що профільована вхідна частина камери змішування дає можливості більш широкого регулювання параметрів роботи пристрою. На основі проведених досліджень виведено рівняння, які можуть бути використані при розрахунку та проектуванні пристроїв подібного типу. Також результати досліджень доповнюють наукову картину уявлень про роботу ежекторів та можуть бути використані в навчальному процесі при вивченні питань пов'язаних зі струминними апаратами.

Обсяг кваліфікаційної роботи магістра складає листів пояснювальної записки формату А-4.

Ключові слова: струминні апарати, ежектор, коефіцієнт інжекції, апроксимація, математична модель

ГММ.601-ММВ.004-00.00.000 ПЗ

Зм.	Лист	№ докум.		Дат				
Розроб.	Гончаров			14.08				
Перев.	Орисенко			20.08				
Н. контр.	Васильєв							
Затв.	Орисенко			16.08				
Анотація						Літ.	Лист	Листів
						Національний університет імені Юрія Кондратюка, ННІ ІТМ 2024		

The summary

A. Goncharov. Research and optimization of the design of the ejector for moving loose materials – Manuscript.

Qualification work for obtaining the degree of higher education "master" in specialty 133 – «Industrial mechanical engineering». – Yuriy Kondratyuk Poltava Polytechnic National University, Poltava, 2024.

The qualification paper presents the results of solving a scientific and practical problem, which concerns the improvement of the ejector for moving loose materials and the theoretical substantiation of its operation parameters. A technique for determining the efficiency of the ejector is proposed, which is based on the study of the injection coefficient at the conical and profiled inlet parts of the mixing chamber and the change in the axial position of the nozzle in relation to this chamber.

The design of the ejector is proposed, in which the inlet part of the mixing chamber has a profiled surface, and the axial position of the nozzle can be changed. It was established that the profiled inlet part of the mixing chamber allows for wider adjustment of the device's operating parameters. On the basis of the conducted research, equations have been derived that can be used in the calculation and design of devices of this type. Also, the research results complement the scientific picture of ideas about the work of ejectors and can be used in the educational process when studying issues related to jet devices.

The scope of the master's qualification work consists of explanatory notes in A-4 format.

Key words: jet devices, ejector, injection coefficient, approximation, mathematical model

					ГММ.601-ММВ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

**Дослідження та оптимізація конструкції ежектора для
переміщення сипких матеріалів**

Пояснювальна записка

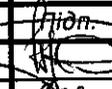
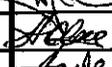
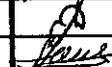
до магістерської роботи

ГММ.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ

Полтава – 2024 року

Зміст

1 Огляд стану питання за темою магістерської роботи	6
1.1 Різновиди струминних апаратів	6
1.2 Застосування ежекторів в установках та обладнанні	11
1.3 Загальна інформація про ефект Вентурі	12
1.4 Будова та принцип дії ежектора	14
1.5 Застосування ежекторів для переміщення сипких матеріалів	16
1.6 Особливості розрахунку струминних пристроїв для транспортування сипких матеріалів	17
1.7 Висновки до розділу 1	20
2 Дослідження ежектора запропонованої конструкції	22
2.1 Теоретичні положення, які обґрунтовують параметри ежектора	22
2.2 Приклад розрахунку ежектора з конічною частиною камери змішування	29
2.3 Дослідження параметрів роботи ежектора при різних розташуваннях сопла та конічній частині камери змішування	32
2.4 Дослідження параметрів роботи ежектора при різних розташуваннях сопла та профільній частині камери змішування	35
2.5 Висновки до розділу 2	38
Висновки	39
Література	40
Додатки	42

ГММ.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ								
					Зміст			
Зм.	Лист	№ докум	Підп.	Дата		Лім.	Лист	Листів
Розроб.	Гончаров			23.08		Н	2	
Перев.	Орисенко			23.08				
Керівн.	Орисенко			23.08				
Н. контр.	Васильев			26.08				
Затв.	Орисенко			23.0				
Національний університет імені Юрія Кондратюка ННІ ІТМ 2024								

Вступ

Струминні апарати знаходять все більшого застосування в найрізноманітніших сферах техніки завдяки притаманній їм особливості, а саме – можливістю підвищення тиску потоку що інжектуються без безпосередніх затрат механічної енергії та відносній простоті їхньої конструкції.

Установки, які використовують у своєму складі ежектори широко розповсюдженні у різних сферах техніки. Це обумовлено наявністю у таких установок ряду переваг у порівнянні з установками іншого принципу дії, які застосовуються для виконання тих же функцій.

Однією з головних переваг таких установок є їх висока надійність, що обумовлено безвідмовністю ряду деталей та вузлів, а також здатністю до стійкої роботи навіть за різних умов, що відрізняються від оптимальних.

Струминні апарати володіють мінімальною чутливістю до складу середовища що подається і можуть бути використані для подачі будь яких середовищ, у тому числі абразивних, агресивних чи радіоактивних.

Для них не є необхідністю встановлення фільтрів з метою очищення середовища що подається, а це зменшує експлуатаційні витрати.

В конструкції таких апаратів відсутні рухомі частини, що забезпечує їхню високу експлуатаційну надійність. В той же час струминні апарати мають невелику матеріаломісткість, доволі просту технологічну форму, компактні та можуть бути розміщені в установках без спеціальних кріплень та фундаментів.

Порівняно невисока вартість дозволяє проектувати, виготовляти та проводити доводку з урахуванням особливостей умов експлуатації та конструктивних особливостей систем, до яких вони входять.

					ГММ.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Вступ		
Розроб.	Гончаров			25.08			
Перев.	Орисенко			25.08			
Вперізн.	Орисенко						
№ контр.	Васильєв			25.08			
Затв.	Орисенко			25.08			
					Літ.	Лист	Листів
					Н	3	
					Національний університет імені Юрія Кондратюка ННІ ІТМ 2024		

Ще однією характерною особливістю струминних апаратів є те, що їхній ресурс обмежується властивостями матеріалів, які використовуються для їхнього виготовлення.

Цим апаратам, також, властиві простота пуску, зупинки чи зміни параметрів в доволі широкому діапазоні без порушення стійкості їх роботи.

В даній магістерській роботі проводиться дослідження можливості покращення робочих параметрів ежектора, який входить до складу установки для переміщення сипких матеріалів.

Метою роботи є встановлення науково обґрунтованих параметрів регулювання ежектора для переміщення сипких матеріалів.

Об'єктом дослідження є газодинамічні процеси що протікають в струминних апаратах.

Предмет дослідження: встановлення оптимальних параметрів регулювання ежектора для переміщення сипких матеріалів.

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі **завдання наукового дослідження:**

– опираючись на результати досліджень, які наведені в літературних джерелах за темою дослідження встановити фактори, які найбільш інтенсивно впливають на протікання процесу інжекції в ежекторі з профільованою камерою змішування;

– провести теоретичні дослідження та встановити величину впливу цих факторів на процес інжекції;

– розробити математичну модель досліджуваного процесу.

Актуальність роботи. На сьогодні є достатньо відомими найрізноманітніші конструкції струминних апаратів, які використовуються в різних галузях техніки. Не зважаючи на значну кількість теоретичних та експериментальних досліджень проведених у напрямку вдосконалення конструкції вказаних апаратів, можливості поліпшення їх робочих якостей повністю не вичерпані. Теоретичне та експериментальне обґрунтування

оптимальних параметрів ежекторів, що мають конічну частину камери змішування висвітлене доволі широко. Проте для досягнення тих чи інших ефектів при інжекції різних середовищ може також застосовуватись камера змішування, яка має профільовану поверхню, а це питання в наукових працях висвітлене недостатньо.

Тому актуальність даної роботи полягає у встановленні оптимальних параметрів регулювання ежектора, що має камеру змішування з профільованою поверхнею.

Наукова новизна. Встановлено параметри налаштувань ежектора з профільованою камерою змішування. На основі проведених досліджень виведено математичну залежність, яка дозволяє встановити оптимальні параметри регулювання з метою досягнення найвищого коефіцієнта інжекції.

Практична значимість. Результати, що отримані при проведенні досліджень доповнюють наукову картину уявлень про роботу струминних апаратів та можуть бути використані при проектуванні ежекторів подібного типу. Також дані напрацювання можна використовувати в навчальному процесі при вивченні питань пов'язаних з газоструминними апаратами.

1 Огляд стану питання за темою магістерської роботи

1.1 Різновиди струминних апаратів

На сьогодні є відомими значна кількість струминних апаратів різної будови та призначення, які використовуються в різних галузях техніки. Проте всі ці апарати можна класифікувати за певними ознаками серед яких головне місце займають процеси, які відбуваються в цих струминних апаратах.

Виходячи з цього всі струминні апарати можна поділити на три основні групи:

1) апарати, в яких є однаковим агрегатний стан робочого та інжектуемого середовищ;

2) апарати, в яких агрегатні стани робочого та інжектуемого середовищ різні, але не змінюються в процесі змішування потоків;

3) апарати, в яких агрегатні стани середовищ змінюються (в таких апаратах робоче та інжектуеме середовища до змішування знаходяться в різних агрегатних станах, а після змішування – в одній фазі, тобто в процесі змішування агрегатний стан одного з середовищ змінюється).

До першої групи належать газоструминні та пароструминні компресори, ежектори та струминні насоси.

До другої групи належать струминні апарати, які використовуються у пневмотранспорті.

До третьої групи належать пароводяні інжектори та струминні підігрівачі.

Умови роботи струминних апаратів залежать також від пружних властивостей середовищ. Під такими властивостями розуміють значну зміну

					ГММ.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата			
Розроб.	Гончаров			14.08	Лім.	Лист	Листів
Перев.	Орисенко			23.08	№	6	
Керівн.	Орисенко			23.08	Національний університет імені Юрія Кондратюка ННІ ІТМ 2024		
Н. контр.	Васильєв			26.08			
Затв.	Орисенко			25.08			

Огляд стану питання за
темою магістерської роботи

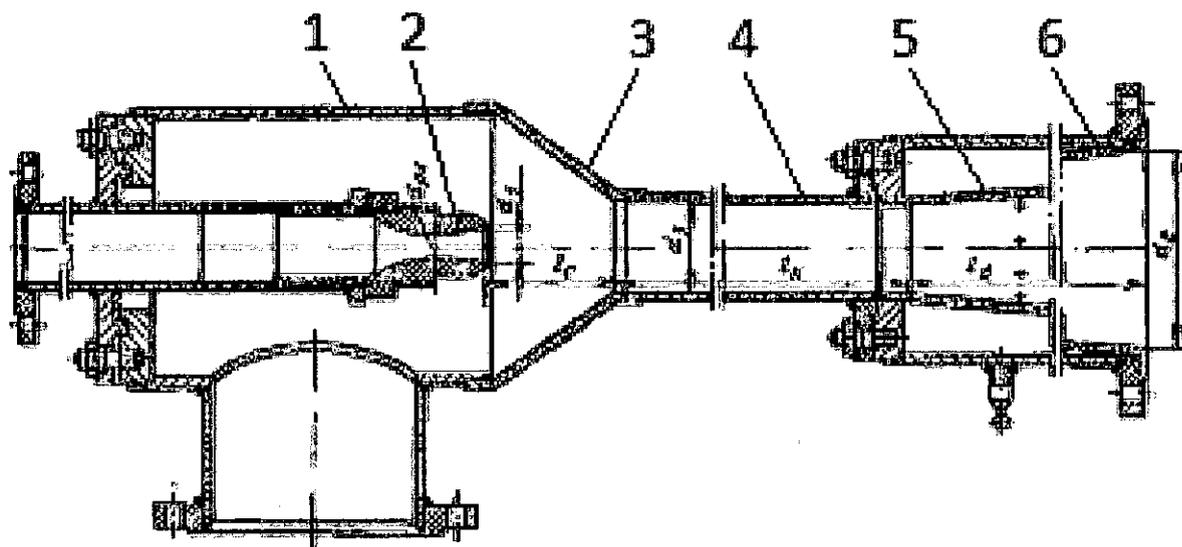
питомого об'єму при зміні тиску. Зазвичай найчастіше застосовують струминні апарати у яких: а) робочий та інжектований струмені є пружними; б) пружним є лише один струмінь; в) обидва струмені є непружними.

Робота рівнофазних апаратів з пружними властивостями значною мірою залежить від ступеню стискуваності інжектованого середовища, а також від ступеню розширення робочого середовища.

За ступенем стискання та розширення рівнофазні струминні апарати для пружних середовищ додатково класифікують за наступними ознаками:

1) апарати з великим ступенем розширення та помірним ступенем стискання. До цих апаратів належать газоструминні та пароструминні компресори (Рис. 1.1). В цих апаратах робочим та інжектованим середовищем є пара або газ.

Ступінь розширення робочого середовища в компресорах досягає великих значень. Ступінь стискання в таких апаратах, зазвичай, знаходиться в межах від 2,5 до 1,2. До них належать апарати підвищення тиску відпрацьованої пари чи газу.



1 – циліндричний корпус приймальної камери; 2 – робоче сопло; 3 – конічний перехідник від приймальної камери до камери змішування; 4 – корпус камери змішування; 5 – конічна вставка дифузора

Рисунок 1.1 – Пароструминний компресор

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ

Лист

7

2) апарати з великим ступенем розширення та великим ступенем стискання. Ці апарати застосовують в установках з метою підтримання вакууму. До них належать газоструминні та пароструминні ежектори. Ступінь розширення робочого потоку в ежекторах також доволі значна. Ступінь стискання, який створюється такими апаратами перевищує значення 2,5.

3) апарати з великим ступенем розширення та малим ступенем стискання. Ці апарати відносять до газоструминних чи пароструминних інжекторів (Рис. 1.2). Робочим та інжектованим середовищем в цих апаратах є пара чи газ. Ступінь розширення робочого середовища в таких апаратах доволі значна, проте ступінь стискання порівняно мала і знаходиться в межах до 1,2.

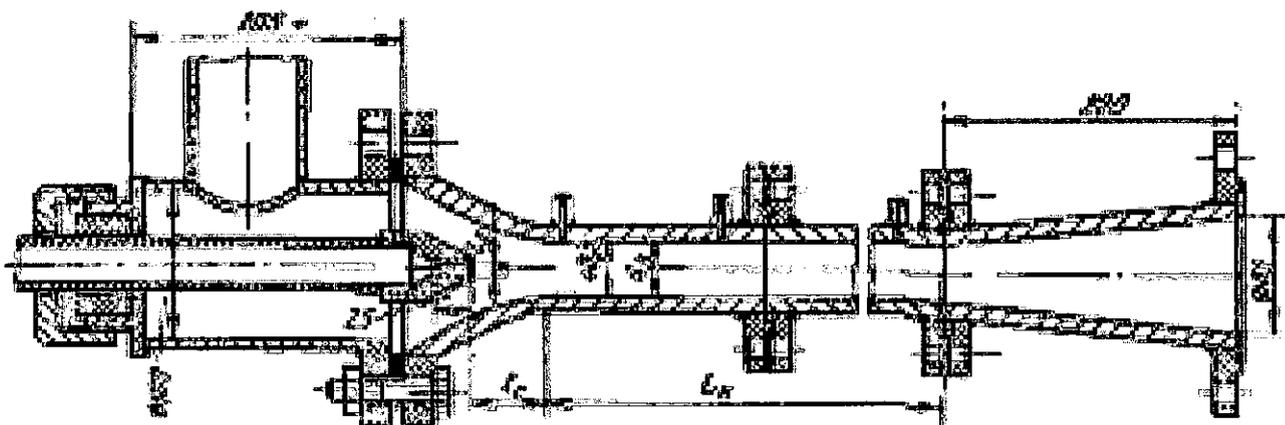


Рисунок 1.2 – Струминний інжектор

Оскільки ступінь стискання мала, то пружні властивості обох потоків проявляються слабо. Тому при розрахунку таких апаратів в основних розрахункових рівняннях властивості стискання інжектованого та робочого середовищ можна не враховувати. До таких апаратів належать пароповітряні інжектори опалювальних котлів котельних установок, повітряні обдувочні інжектори, газові інжекційні пальники тощо. На практиці також застосовують рівнофазні струминні апарати в яких властивості стискуваності робочого та

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ

інжектваного потоків не проявляються. Такі апарати належать до струминних насосів.

В переважній більшості випадків робочим та інжектованим середовищем в такпаратах є рідина. Прикладом можуть бути водоструминні насоси для відкачування води із свердловин та колодязів, елеватори тощо.

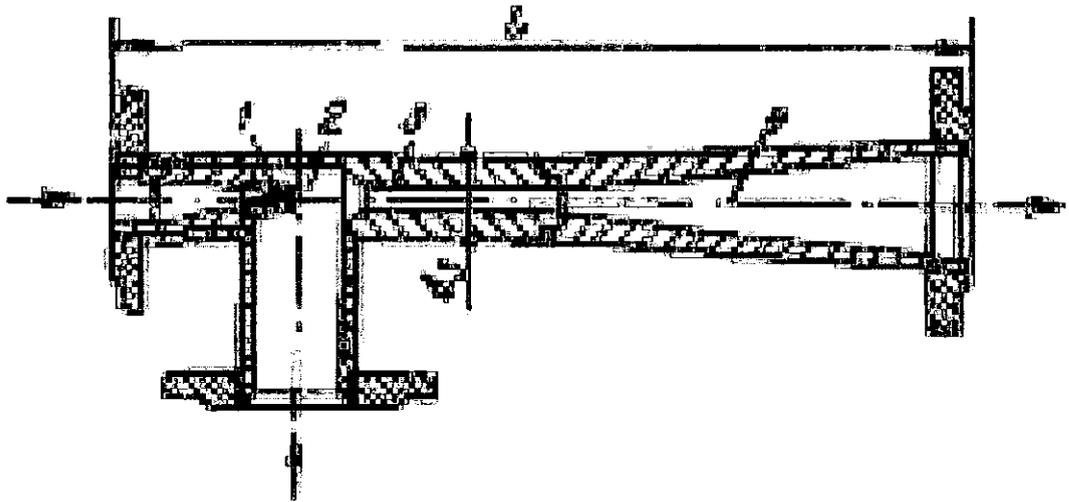


Рисунок 1.3 – Водоструминний елеватор

Також в струминних насосах робочим та інжектованим середовищем можуть бути газ або пара. Проте, у таких випадках ступінь розширення робочого середовища мусить бути значно меншою за критичне відношення тисків. Таким малим повинен бути і ступінь стиснення (не перевищувати 1,2).

Різнофазні струминні апарати залежно від пружних властивостей середовищ поділяють на три типи:

1) апарати з пружним робочим та інжектованим середовищем. Це такі пристрої як пневмотранспортуючі струминні апарати (газова фаза інжектуює сипке тверде середовище або рідину);

2) апарати з непружним робочим та пружним інжектованим середовищем. До них належать рідинно-газові інжектори (Рис. 1.4);

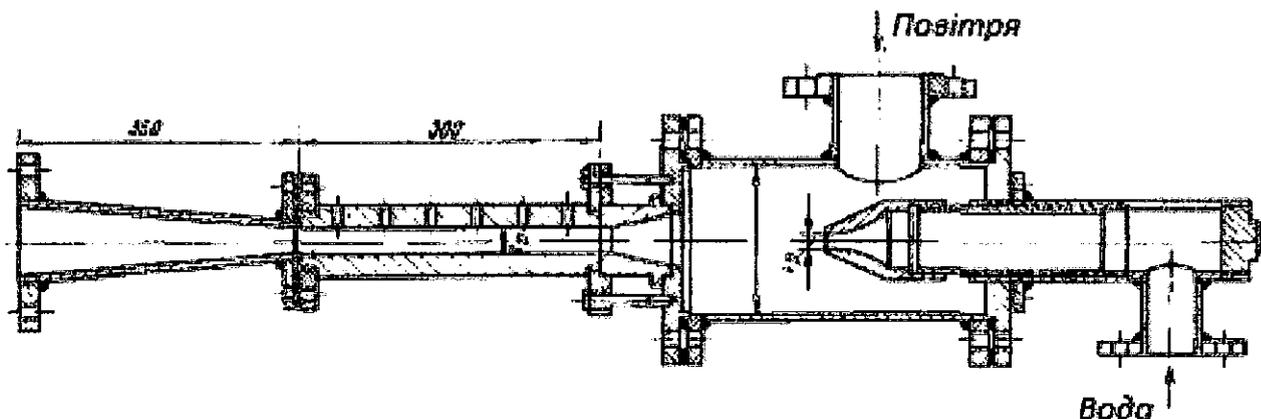


Рисунок 1.4 – Водоповітряний ежектор

3) апарати в яких робоче та інжектване середовище непружні. До них відносять апарати для гідротранспорту твердих сипких середовищ, в яких рідина інжектуює сипке тверде тіло.

Струминні апарати, в яких повністю змінюється агрегатний стан одного із взаємодіючих потоків поділяють на два типи. До першого належать ті в яких робочим середовищем є пара, а інжектованим – рідина, наприклад, парорідинні інжектори (Рис. 1.5). До другого типу належать апарати, в яких робочим середовищем є рідина, а інжектованим – пара, наприклад струминні підігрівачі.

Кожен із наведених типів струминних апаратів має свої характерні особливості, які слід враховувати при їх розрахунках та проектуванні.

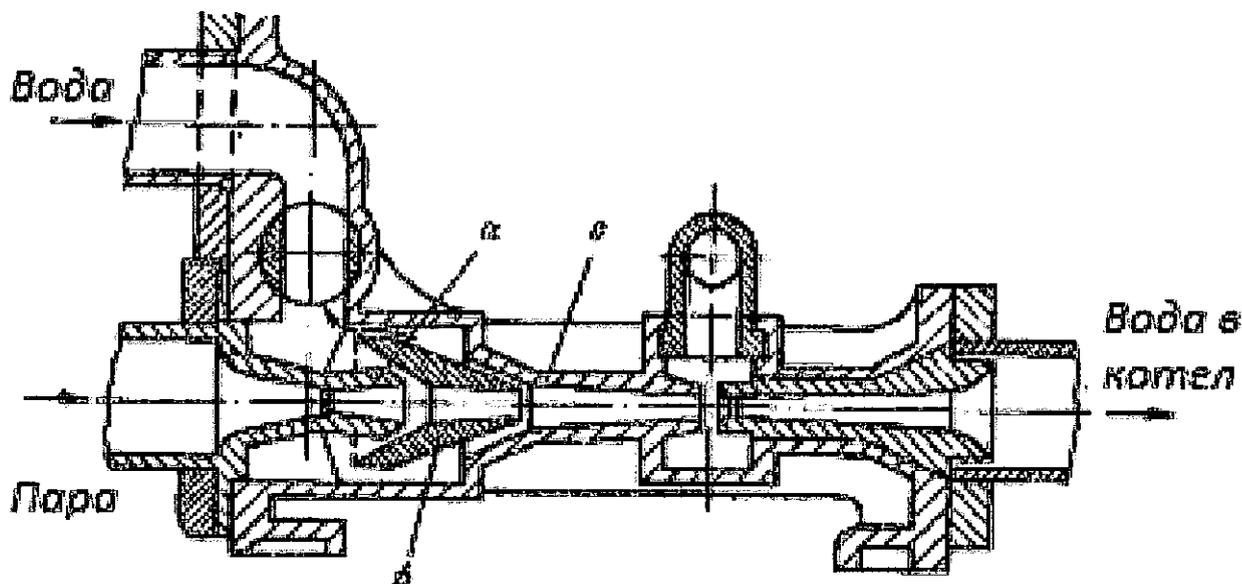


Рисунок 1.5 – Парорідинний інжектор

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ

Лист

10

1.2 Застосування ежекторів в установках та обладнанні

Ежектором називають гідравлічний або пневматичний пристрій, який використовує енергію одного потоку рідини або газу для переміщення іншого потоку. Робота ежектора можлива завдяки ефекту Вентурі, який базується на тому явищі, що коли рідина або газ проходять через звужений канал, їх швидкість збільшується, а тиск зменшується, створюючи зону низького тиску, яка захоплює інший потік.

Ежектори мають широку сферу застосування. Їх застосовують у таких виробничих потребах як:

- створення вакууму в різних технологічних процесах. Це є необхідним у пристроях де потрібно створити вакуум;
- для перемішування або переміщення повітря. Це явище широко застосовують при проектуванні та обладнанні вентиляції приміщень;
- для аерації води у разі необхідності очищення стічних вод;
- для транспортування та змішування речовин. Ця сфера застосування є особливо актуальною для хімічної промисловості.

На цьому сфера застосування ежекторів не вичерпується. Є низка прикладів використання ежекторів у будівельній галузі, наприклад:

- в дренажних системах для видалення ґрунтових або стічних вод з будівельних майданчиків. Це особливо важливо при будівництві підземних споруд, тунелів чи фундаментів, де потрібно забезпечити сухі умови виконання робіт;
- при піднятті та переміщенні важких і великих матеріалів, таких як скляні панелі, бетонні блоки або металеві конструкції. У цьому випадку застосовують вакуумні вантажозахватні пристосування. Це забезпечує швидкий захват та надійне утримання матеріалів, що обумовлює його безпечне та ефективне переміщення без пошкоджень;

					ГММ.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		11

– при пневматичному транспортуванні будівельних матеріалів. Ежектори можуть використовуватися для транспортування сипких матеріалів, таких як пісок, цемент або гравій. За допомогою ежекторів можна подавати матеріали на значні відстані або піднімати їх на великі висоти, що є дуже зручним на великих будівельних об'єктах;

– при очищенні повітря в будівельних зонах для витягування пилу або шкідливих газів з закритих будівельних приміщень. Це допомагає підтримувати чистоту повітря та створювати безпечні умови праці для робітників.

1.3 Загальна інформація про ефект Вентурі

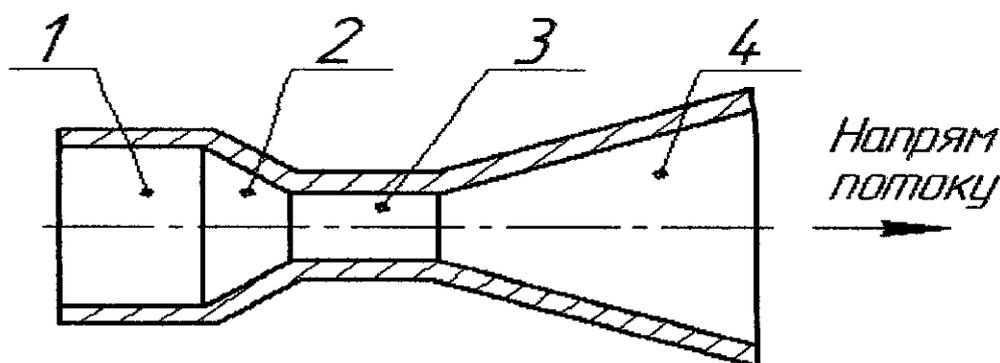
Пристосування, що досліджується в даній магістерській роботі належить до струминних апаратів. В цих апаратах здійснюється процес інжекції, при якому відбувається передача кінетичної енергії одного потоку іншому внаслідок безпосереднього контакту (змішування). Потоки що змішуються можуть знаходитись у однакових (наприклад, рідкій, газовій, паровій), або різних фазах, (наприклад, газова та рідка, газова та тверда, або рідка та тверда, тощо.). В процесі змішування фазовий стан потоків може залишатись без змін, а може і змінюватись (наприклад конденсація води з пари). Зазвичай потік, який бере участь у процесі змішування з більшою швидкістю, називають робочим (або активним), а з меншою швидкістю – інжектуючим (або пасивним).

Зазвичай в таких апаратах відбувається спочатку перетворення потенціальної енергії чи теплоти в кінетичну. В процесі руху через проточну частину струминного апарату відбувається вирівнювання швидкостей потоків що змішуються. Потім відбувається зворотне перетворення кінетичної енергії змішаного потоку в потенціальну енергію чи теплоту.

					ГММ.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		12

Зазвичай тиск змішаного потоку на виході із струминного апарату є вищим за тиск потоку що інжектуюється, але нижчим за тиск робочого потоку.

За основу роботи даного пристрою прийнято ефект Вентурі – це явище, при якому тиск у потоці рідини чи газу зменшується при його проходженні через звужену частину трубопроводу [1 – 3]. Цей ефект реалізується при проходженні рідини чи газу через спеціальне пристосування, яке має назву труби Вентурі, повздовжній переріз якої показаний на Рис. 1.1. Основними компонентами такого пристосування є такі: циліндричний трубопровід – служить для підведення потоку; конфузур – має форму конуса і звужується у напрямку потоку; горловина – має циліндричну форму і являється звуженою частиною пристрою; дифузур – має теж конічну поверхню, але у напрямку потоку розширюється.



1 – Циліндричний патрубок; 2 – Конфузор; 3 – Горловина; 4 – Дифузур

Рисунок 1.1 – Повздовжній переріз труби Вентурі

Згідно з [3] основні співвідношення між геометричними розмірами для труби Вентурі повинні відповідати наступним вимогам. Конфузор повинен мати кут нахилу твірної в межах $21 \pm 1^\circ$ і довжину, яка дорівнює $2,7(D - d)$.

Відносний діаметр β горловини

$$\beta = \frac{d}{D}, \quad (1.1)$$

де d – внутрішній діаметр горловини;

D – внутрішній діаметр трубопроводу перед конфузуром.

Циліндрична частина (горловина) повинна мати довжину $(1 \pm 0,3d)$;

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ

Лист

13

Кут твірної дифузора повинен лежати в межах від 7° до 15° . Найчастіше приймають $7^\circ \leq \varphi \leq 8^\circ$.

Проте, також існують і інші співвідношення між геометричними розмірами, що обумовлено досягненням того чи іншого ефектів. Так, наприклад, застосовується вкорочена труба Вентурі. Вона має вихідний діаметр дифузора, який є меншим ніж діаметр D . В той же час допускається вкорочення дифузора на 35%. Матеріалом для конфузора найчастіше слугують нержавіючі сталі X17, X23H13 та X18H9T.

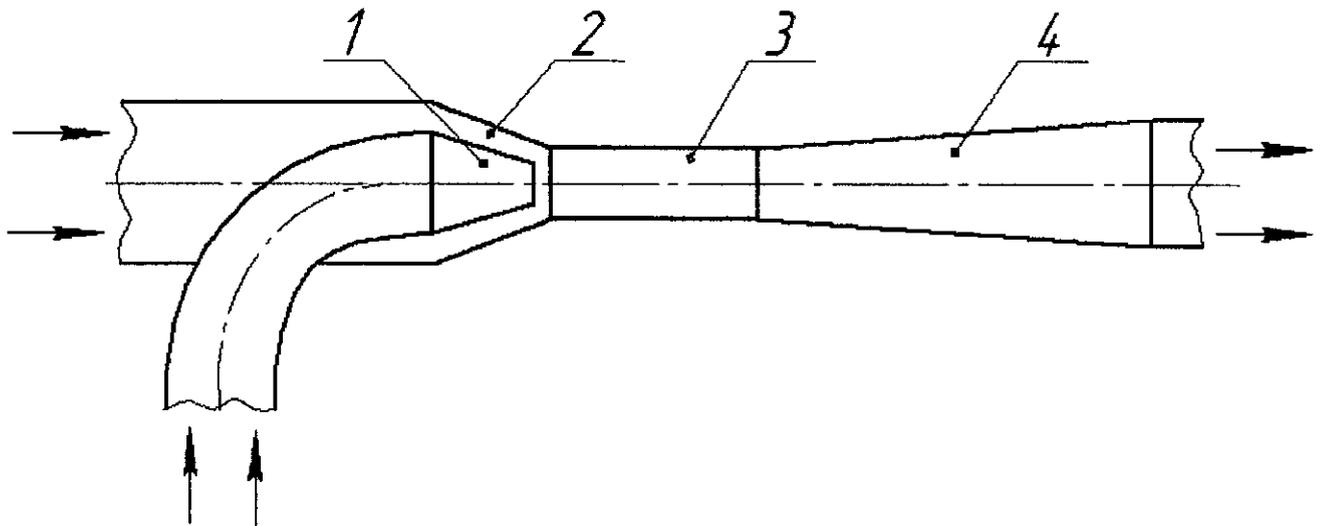
1.4 Будова та принцип дії ежектора

Термін ежектор у техніці має декілька значень, проте у даній роботі мова йде про ежектор, як пристосування для змішування та подальшого транспортування двох компонентів. Це можуть бути газу або пара, рідини та сипкі середовища. Змішування та транспортування здійснюється за рахунок передачі кінетичної енергії від активного (робочого) середовища до пасивного (відсмоктувального).

Дія ежектора полягає у створенні розрідження струменем робочого середовища, яке рухається в ньому з великою швидкістю. Таке явище має назву ежекція. За рахунок створеного розрідження виникає можливість підсмоктування іншого середовища (пасивного). Це відбувається у камері прийому ежектора. В подальшому відбувається змішування цих двох середовищ та вирівнювання їхніх швидкостей та тисків в камері змішування. В подальшому змішаний потік потрапляє до дифузора, де за рахунок зменшення швидкості проходить перетворення його кінетичної енергії в потенціальну та швидкісний напір переходить у статичний. Під впливом статичного тиску здійснюється подальше переміщення суміші.

					ГММ.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		14

В свою чергу, підвищення швидкості руху активного середовища і, відповідно, зменшення тиску досягається застосуванням ефекту Вентурі. Принцип дії ежектора для змішування та подальшої подачі суміші двох середовищ показано на Рис. 1.2.



1 – Сопло; 2 – Камера прийому; 3 – Камера змішування; 4– Дифузور

Рисунок 1.2 – Принципова схема ежектора для змішування та подальшого транспортування суміші двох середовищ

Обладнання, яке містить у своїй конструкції ежектор застосовується у різних сферах. Так, наприклад в гірничій промисловості та системах вентиляції ежектор використовується як змішувач для відбору повітря. Можливе застосування при відкачуванні повітря перед запуском ґрунтових насосів, відкачування води, збагачення корисних копалин та багатьох інших сферах.

Ежектору притаманна простота конструкції та відсутність рухомих частин. Залежно від агрегатного стану середовищ які взаємодіють розрізняють ежектори однофазні (наприклад газо-, паро- і водоструминні), різнофазні (газорідинні, рідинногазовігазові) та змінної фазності (наприклад, парорідинні) Основними компонентами ежектора є сопло, камера прийому, камера змішування та дифузор, що виконує роль розгінної трубки. ККД ежектора лежить в межах 30 % [3].

1.5 Застосування ежекторів для переміщення сипких матеріалів

Струминні апарати, в яких у якості робочого середовища використовується пружне середовище – газ, а у якості середовища що інжектуються не пружне середовище – сипке тверде тіло чи рідина, відносять до апаратів пневмотранспорту. Такі апарати застосовуються для транспортування твердих сипких матеріалів, відкачування води із резервуарів чи колодязів та в інших подібних випадках.

На Рис. 1.3 показана принципова схема струминного апарату для пневматичного транспортування. Згідно зі схемою, в приймальну камеру 2 апарата через конічний приймальний отвір подається сипке середовище. Струменем повітря, яке виходить з великою швидкістю з робочого сопла 1, це середовище захоплюється. При цьому повітря передає сипкому матеріалу частину своєї кінетичної енергії. Суміш повітря і сипкого середовища потрапляє в камеру змішування 3, в якій відбувається вирівнювання швидкостей потоку що рухається і часткове підвищення тиску. Потім ця суміш потрапляє в дифузор 4, де відбувається подальше підвищення тиску рухомого потоку.

З дифузора потік під надлишковим тиском потрапляє в трубопровід для подальшого транспортування.

При цьому надлишковий тиск складає

$$\Delta p_c = p_c - p_i \quad (1.2)$$

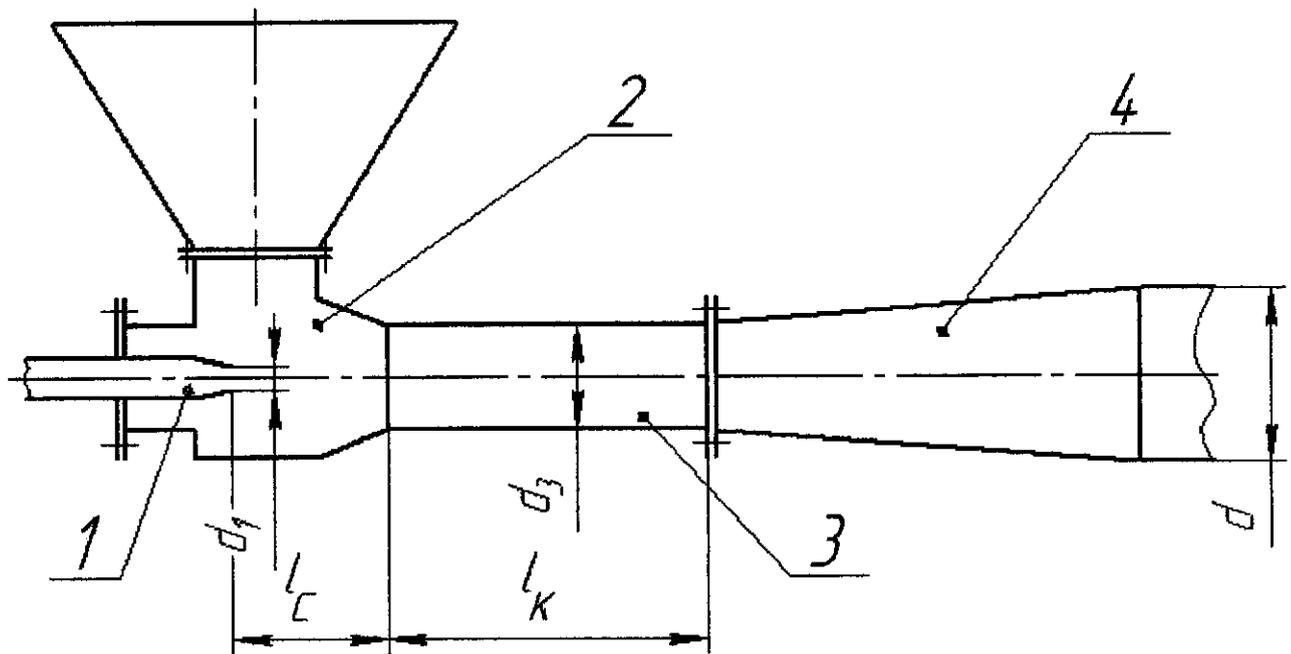


Рисунок 1.3 – Принципова схема пристрою для пневматичного транспортування сипкого середовища

1.6 Особливості розрахунку струминних пристроїв для транспортування сипких матеріалів

В таких пристроях можливе потрапляння в приймальну камеру твердого матеріалу без домішок газу та в суміші з газом чи повітрям []. Якщо у якості інжектуюмого матеріалу в камеру змішування потрапляє твердий матеріал без домішок, або якщо у випадку інжектуюмого середовища є суміш газу та твердої компоненти, а ступінь стиску, що створюється пристосуванням є малою ($\frac{P_c}{P_i} < 1,2 - 1,4$), то для розрахунку таких пристосовань застосовуються розрахункові рівняння такі ж як і для газоструминних інжекторів з великим ступенем розширення та малим ступенем стиску, оскільки в даному випадку рівняння виведені з урахуванням середовища яке не стискається. При цьому приймають, що в середовищі що рухається і складається з газу та твердої фази,

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ

Лист

17

тверда фаза розподілена рівномірно у об'ємі газу і швидкості твердої та газової фаз однакові в усьому перерізі.

В дійсності ж частинки твердої фази розподілені по перерізу нерівномірно, а їхня швидкість є меншою, ніж швидкість газу, що використовується для транспортування. Якщо ці додаткові втрати в апараті враховуються вибором відповідних коефіцієнтів швидкості пристосування, то, як показують дослідження, результати розрахунку пристосувань для пневмотранспорту за рівняннями газоструминних апаратів доволі точно співпадають з результатами експериментальних даних.

Особливістю розрахунку різнофазних струминних апаратів є визначення питомих об'ємів інжектуемого та змішаного середовищ (V_i та V_c), які залежать від масової концентрації інжектуемого твердого матеріалу в потоці стисненого газу.

Під масовою витратною концентрацією розуміють співвідношення масової витрати твердого матеріалу до масової витрати газу. Якщо інжектуеме середовище є сумішшю твердого матеріалу та газу, то питомий об'єм інжектуемого середовища m^3/kg визначають за формулою

$$V_i = v_{i,g} \frac{u_g}{u_g + u_t} + v_t \frac{u_t}{u_g + u_t}, \quad (1.3)$$

де $u_g = \frac{G_{i,g}}{G_p}$ – коефіцієнт інжекції по газу;

$u_t = \frac{G_t}{G_p}$ – коефіцієнт інжекції по твердій фазі;

$G_{i,g}$ – витрата інжектуемого газу, кг/с;

$v_{i,g}$ – питомий об'єм інжектуемого газу, m^3/kg ;

G_t – витрата твердого матеріалу, кг/с;

v_t – питомий об'єм твердого матеріалу, m^3/kg ;

G_p – витрата робочого газу, кг/с.

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ

Лист

18

У випадку, коли інжектуемим середовищем є тверда фаза без газової $u_T = 0$, $v_i = v_T$. В тому випадку, коли величина $v_T u_T$ – дуже мала у порівнянні з $v_{i,r} u_r$ і нею можна знехтувати, приймають

$$v_i = \frac{v_{i,r} u_r}{u_r + u_T}. \quad (1.4)$$

Питомий об'єм змішаного потоку на виході із струминного апарату

$$v_c = v_{c,r} \frac{1 + u_r}{1 + u_r + u_T} + v_T \frac{u_T}{1 + u_r + u_T}, \quad (1.5)$$

де $v_{c,r}$ – питомий об'єм стисненого газу на виході з пристосування, м³/кг.

При $u_T = 0$

$$v_c = v_{c,r} \frac{1}{1 + u_r} + v_T \frac{u_T}{1 + u_r}, \quad (1.6)$$

При $u_T = 0$ $v_c = v_{c,r}$. В тому випадку, коли величина $v_T u_T$ дуже мала у порівнянні з $v_{c,r} (1 + u_r)$, нею можна знехтувати і приймати

$$v_c = v_{c,r} \frac{1 + u_r}{1 + u_r + u_T}. \quad (1.7)$$

Сумарний коефіцієнт інжекції

$$u = u_r + u_T. \quad (1.8)$$

За результатами досліджень струминних апаратів для транспортування піску встановлено наступні експериментальні коефіцієнти швидкості проточної частини: $\varphi_1 = 0,95$; $\varphi_2 = 0,875$; $\varphi_3 = 0,81$; $\varphi_4 = 0,83$, чому відповідають $K_1 = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 = 0,647$ та $K_2 = \varphi_2 \varphi_3 \varphi_4 = 0,587$ [].

Одним із найголовніших параметрів ежектора є коефіцієнт інжекції. Він визначає відношення масової витрати робочого середовища (основного потоку) до масової витрати інжектованого середовища (другого потоку, який всмоктується або додається до основного потоку). Враховуючи це можна записати загальну формулу для визначення коефіцієнта інжекції

$$u = \frac{m_i}{m_p}, \quad (1.9)$$

де m_i – масова витрата інжектваного середовища (того, що всмоктується або додається до основного потоку);

m_p – масова витрата основного робочого середовища (того, що створює основний потік).

Отже коефіцієнт інжекції в ежекторі є важливим параметром, який дозволяє оцінити ефективність змішування і всмоктування додаткового середовища в основний потік

Очевидно, що значення цього параметру безпосередньо впливатиме на роботу самого пристрою, а саме таким чином:

– високий коефіцієнт інжекції означає, що в процесі роботи ежектора велика кількість інжектваного середовища (газу або рідини) додається до основного потоку. Це може бути корисно в системах, де потрібно всмоктувати значні об'єми додаткового середовища.

– низький коефіцієнт інжекції вказує на те, що відносно невелика кількість інжектваного середовища додається до основного потоку.

1.7 Висновки до розділу 1

Огляд літературних джерел за темою магістерської роботи дає можливість зробити такі висновки:

– не дивлячись на значну кількість наукових праць присвячених струминним апаратам, питання їх вдосконалення вирішене не повністю, отже напрямок досліджень є актуальним;

– коефіцієнт інжекції є одним із найважливіших показників роботи струминного апарата, оскільки саме він визначає відношення масових витрат

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ

Лист

20

робочого середовища до середовища що інжектуються і є показником ефективності роботи всього пристрою;

– можливість осьового зміщення сопла по відношенню до камери змішування дає можливість більш широкого налаштування ежектор залежно від потреб та матеріалу, що переміщується.

					ГММ.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		21

2 Дослідження ежектора запропонованої конструкції

2.1 Теоретичні положення, які обґрунтовують параметри ежектора

Струминні апарати мають різну будову, яка залежить від їхнього призначення і, відповідно, кожен з різновидів має свої особливості розрахунку та проектування. Теоретичні положення, які обґрунтовують параметри ежектора та дозволяють виконати розрахунки його основних параметрів викладені в [11].

Згідно до цього джерела струминні апарати зі ступенем стискання інжектваного середовища $P_c / P_i > 2,5$ відносять до газоструминних ежекторів.

Згідно до проведених досліджень, при такому ступені стискання кінчна форма камери змішування є оптимальною [11].

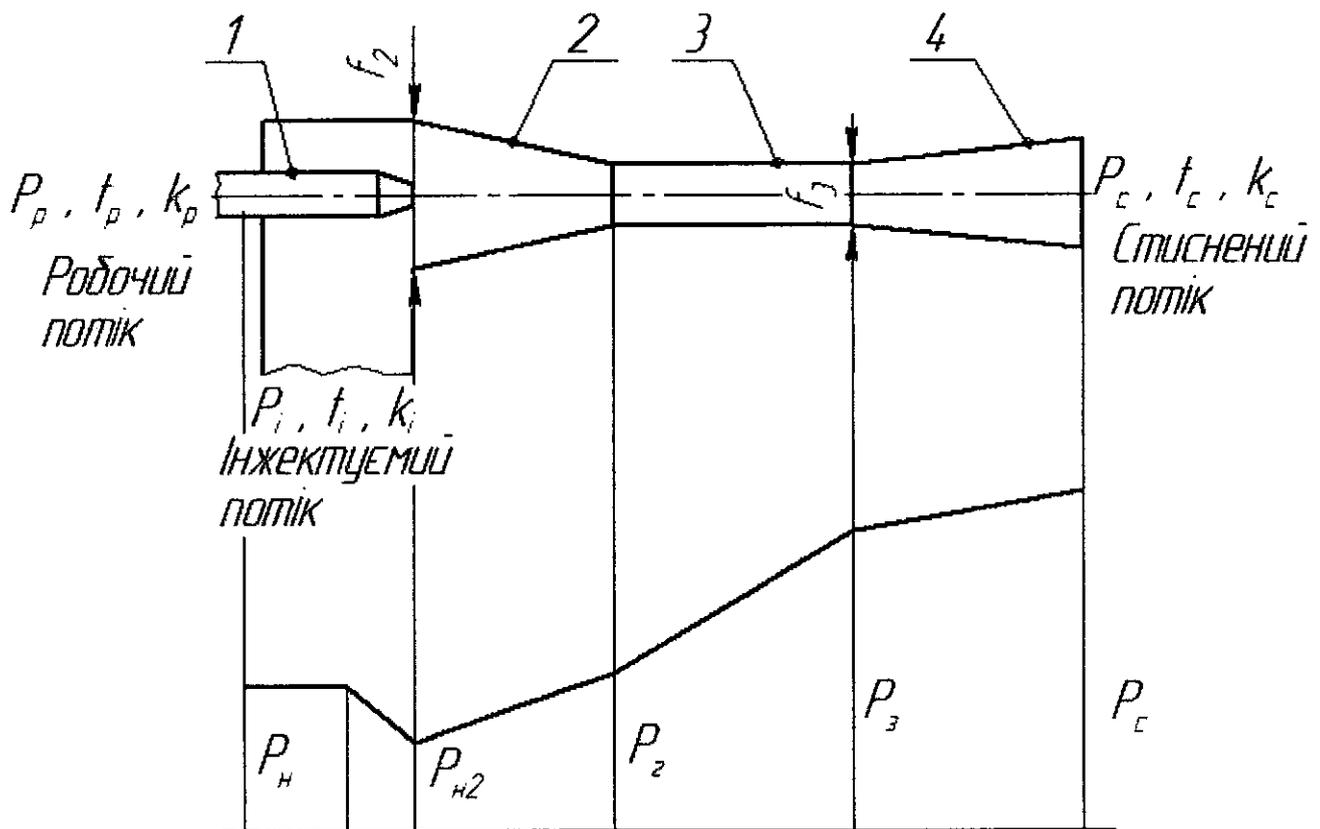
Зазвичай, для підвищення значень граничного коефіцієнта інжекції та підтримання високого ступеню стискання газоструминні ежектори мають камеру змішування, яка складається з двох частин, конічної (конфузору) та циліндричної (горловина).

На рисунку 2.1 наведено схему повздовжнього перерізу ежектора, наведені основні прийняті умовні літерні позначення, які у подальшому будуть використовуватись при розрахунках та розподіл тиску вздовж струминного апарату.

Згідно зі схемою прийнято, що розташування крайньої площини робочого сопла співпадає з площиною вхідного перерізу камери змішування. Це обумовлено тим що вважається, що на відрізьку між вихідним перерізом сопла та вхідним перерізом камери змішування потоки робочого та інжектваного середовищ течуть не змішуючись окремими ізольованими потоками. Тому можна

					ГММ.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Відп.	Дата			
Розроб.	Гончаров			24.08	Літ.	Лист	Листів
Перев.	Орисенко			23.08	Н	22	
Керівн.	Орисенко			23.08	Національний університет імені Юрія Кондратюка ННІ ІТМ 2024		
Н. контр.	Васильєв			26.08			
Затв.	Орисенко			25.08			
Дослідження ежектора запропонованої конструкції							

прийняти, що перерізи крайньої частини сопла та конфузора співпадають.



Розподіл тиску вздовж проточної частини струминного апарату

Рисунок 2.1 – Схема розподілу тиску на окремих ділянках проточної частини ежектора

Рівняння збереження імпульсу для камери змішування, яка складається з конічної та циліндричної частин має вигляд [11]

$$\begin{aligned} \varphi_2 (G_p \omega_{p2} + G_i \omega_{i2}) - (G_p + G_i) \omega_3 = \\ = P_3 f_3 + \int_{f_2}^{f_3} P df - P_{p2} f_{p2} - P_{i2} f_{i2} \end{aligned} \quad (2.1)$$

де $\int_{f_2}^{f_3} P df$ – інтеграл імпульсу сил, що виникають внаслідок тертя стінок

конфузору.

В першому члені лівої частини рівняння (2.1) присутній множник $\varphi_2 < 1$, який враховує втрату кількості руху в камері змішування внаслідок тертя. Оскільки було прийнято, що площини вихідного перерізу сопла та вхідного перерізу конфузора співпадають, то можемо записати, що $f_{p2} = f_{p1}$ та $\omega_{p2} = \omega_{p1}$. За умови, що апарат знаходиться в робочому режимі приймаємо $P_{p2} = P_{p1} = P_i$. Початкові швидкості робочого та інжектowanego потоків у трубопроводах для підведення ω_p та ω_i порівняно малі зі швидкістю в камері змішування. Тому ними можна знехтувати. Вводячи поправку на неіабагичність процесів розширення та стискання за допомогою коефіцієнтів, можна обчислити швидкості потоків у перерізах камери змішування. Рівняння матимуть наступний вигляд.

У вхідному перерізі камери змішування швидкість робочого потоку

$$\omega_{p2} = \varphi_1 a_p \lambda_{p2} = \varphi_1 a_p \lambda_{p1}. \quad (2.2)$$

За умови $P_{p2} = P_i$, $\Pi_{p2} = \frac{P_{p2}}{P_p} = \frac{P_i}{P_p} = \Pi_{p1}$

маємо $\lambda_{p2} = \lambda_{p1}$.

У вхідному перерізі камери змішування швидкість інжектowanego потоку

$$\omega_{i2} = \varphi_4 a_i \lambda_{i2}. \quad (2.3)$$

Якщо знехтувати швидкістю стиснутого потоку на виході з дифузора, то вираз для швидкості на виході з камери змішування матиме вигляд

$$\omega_3 = \frac{a_c \lambda_{c3}}{\varphi_3}. \quad (2.4)$$

У наведених вище рівняннях φ_1 , φ_3 , φ_4 це коефіцієнти швидкості відповідних перерізів.

Якщо камера змішування має конічну форму то

$$f_3 = \frac{f_2}{\beta} = \frac{f_{p2} + f_{i2}}{\beta} = \frac{f_{p1} + f_{i2}}{\beta}. \quad (2.5)$$

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ

Лист

24

Для будь якого потоку критичний переріз становитиме

$$f_* = \frac{G a_*}{k \Pi_* P_0} \quad (2.6)$$

В свою чергу площі перерізів потоку можна виразити через площу критичного перерізу

$$f = \frac{f_*}{q} \quad (2.7)$$

На основі рівнянь наведених вище площа робочого потоку в перерізі 2 – 2 становитиме

$$f_{p2} = \frac{G_p a_{p*}}{k_p \Pi_{p*} P_p q_{p2}} = \frac{G_p a_{p*}}{k_p \Pi_{p*} P_p q_{p*}} \quad (2.8)$$

Оскільки в рівнянні (2.8) приймалось, що $q_{p2} = q_{pi}$, та враховуючи розрахунковий режим і $P_{p2} = P_{p*}$ можемо також прийняти $\Pi_{p2} = \Pi_{p*}$.

Площа інжектowanego потоку в перерізі 2 – 2

$$f_{i2} = \frac{G_i a_i}{k_i \Pi_{i*} P_i q_{i2}} \quad (2.9)$$

Площа змішаного потоку в перерізі 3 – 3

$$f_3 = \frac{G_c a_{c*}}{\beta k_c \Pi_{c*} P_c q_{c3}} \quad (2.10)$$

Враховуючи рівняння (2.5) та кінчну форму камери змішування маємо

$$f_3 = \frac{G_p a_{p*}}{\beta k_p \Pi_{p*} P_p q_{p*}} + \frac{G_i a_i}{\beta k_i \Pi_{i*} P_i q_{i2}} = \frac{G_c a_{c*}}{\beta k_c \Pi_{c*} P_c q_{c3}} \quad (2.11)$$

На початку і в кінці циліндричної камери змішування відбувається підвищення тиску, яке описується залежністю

$$\Pi_{3r} = \frac{P_r}{P_3} > 2,5. \quad (2.12)$$

Для математичного опису підвищення тиску в камері змішування скористаємося залежностями

$$\Pi_{3r} = \frac{P_r}{P_3} = \left(\frac{P_2}{P_3}\right)^\alpha = \left(\frac{P_i}{P_c}\right)^\alpha \left(\frac{P_{i2}}{P_{c3}}\right)^\alpha. \quad (2.13)$$

$$\alpha = \frac{\lg\left(\frac{P_3}{P_r}\right)}{\lg\left(\frac{P_3}{P_2}\right)} = \frac{\lg P_3 - \lg P_r}{\lg P_3 - \lg P_2}. \quad (2.14)$$

Враховуючи, що згідно з рисунком 2.1 зростання тиску в конфузори відбувається за лінійною залежністю та приймаючи $f_r = f_3$, отримуємо

$$\int_{f_2}^{f_3} Pdf = P_{i2}f_3\Phi_1 + P_rf_3\Phi_2 = P_{i2}f_3\Phi_1 + P_3\Pi_{3r}f_3\Phi_2, \quad (2.15)$$

де

$$\Phi_1 = \frac{1}{3}(2\beta - \sqrt{\beta} - 1); \quad \Phi_2 = \frac{1}{3}(\beta + \sqrt{\beta} - 2). \quad (2.16)$$

Середнє значення

$$\Phi_{cp} = \frac{\Phi_1 + \Phi_2}{2} = \frac{1}{2}(\beta - 1). \quad (2.17)$$

Максимальне відносне відхилення Φ_1 і Φ_2 від їхнього середнього значення у випадку, якщо замість Φ_1 і Φ_2 прийняти їхнє середнє значення складає

$$\frac{\Phi_1 - \Phi_2}{2\Phi_{cp}} = \frac{1}{3} \frac{\sqrt{\beta} - 1}{\sqrt{\beta} + 1}. \quad (2.18)$$

Якщо брати до уваги, що значення β зазвичай приймаються в межах $\beta = 2 \dots 3$, відносна похибка при розрахунку інтегралу імпульсу сили $\int_{f_2}^{f_3} Pdf$ при заміні Φ_1 і Φ_2 їхнім середнім значенням знаходиться у межах 5 – 8%. Ця величина відносної похибки є припустимою, якщо враховувати, що зростання тиску в конфузори прийнято лінійним наближено.

					ГММ.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		26

Враховуючи наведені вище припущення отримуємо

$$\int_{f_2}^{f_3} Pdf = \Phi_{cp} f_3 (P_{i2} + P_3 \Pi_{3r}) = 0,5 f_3 (\beta - 1) (P_{i2} + P_3 \Pi_{3r}), \quad (2.19)$$

Підставивши в залежність (2.1) виведені значення швидкостей ω_{p2} , ω_{i2} , ω_3 , що наведені в рівняннях (2.2) – (2.5), значення перерізів потоків f_{p2} , f_{i2} , f_3 з рівнянь (2.9) – (2.11) і значення $\int_{f_2}^{f_3} Pdf$ з рівняння (2.15) та провівши відповідні математичні перетворення отримуємо рівняння для визначення коефіцієнта інжекції газоструменевого ежектора.

$$u = \frac{K_1 \frac{a_{p^*}}{a_{c^*}} \lambda_{pi} - K_3 \lambda_{c3}}{K_4 \lambda_{c3} - K_2 \frac{a_{i^*}}{a_{c^*}} \lambda_{i2}}, \quad (2.20)$$

де

$$K_1 = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3, \quad (2.21a)$$

$$K_2 = \varphi_2 \varphi_3 \varphi_4 \quad (2.21b)$$

$$K_3 = 1 + \varphi_3 \frac{a_{p^*} P_c}{a_{c^*} P_p} \frac{\Pi_{c3} - \frac{P_i}{P_c} \left(\beta - 0,5(\beta - 1) \Pi_{i2} \left(1 + \left(\frac{P_c}{P_i} \right)^{1-\alpha} \left(\frac{\Pi_{c3}}{\Pi_{i2}} \right)^{1-\alpha} \right) \right)}{k_p \beta \Pi_{p^*} q_{pi} \lambda_{c3}} \quad (2.21b)$$

$$K_4 = 1 + \varphi_3 \frac{a_{i^*} P_c}{a_{c^*} P_i} \frac{\Pi_{c3} - \Pi_{c2} \left(\beta - 0,5(\beta - 1) \left(1 + \left(\frac{P_c}{P_i} \right)^{1-\alpha} \left(\frac{\Pi_{c3}}{\Pi_{i2}} \right)^{1-\alpha} \right) \right)}{k_i \beta \Pi_{i^*} q_{i2} \lambda_{c3}} \quad (2.22r)$$

За умови, що $k_p = k_i = k$ та $R_p = R_i = R$ коефіцієнт інжекції

$$u = \frac{K_1 \lambda_{pi} - K_3 \lambda_{c3}}{K_4 \lambda_{c3} - K_2 \lambda_{i2}} \frac{1}{\sqrt{\theta}}, \quad (2.23)$$

де

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ

Лист

27

$$K_3 = 1 + \varphi_3 \frac{P_c}{P_p} \frac{\Pi_{c3} - \frac{P_i}{P_c} \left(\beta - 0,5(\beta - 1) \Pi_{i2} \left(1 + \left(\frac{P_c}{P_i} \right)^{1-\alpha} \left(\frac{\Pi_{c3}}{\Pi_{i2}} \right)^{1-\alpha} \right) \right)}{k\beta\Pi_*q_{pi}\lambda_{c3}} \quad (2.24)$$

$$K_4 = 1 + \varphi_3 \frac{P_c}{P_i} \frac{\Pi_{c3} - \Pi_{c2} \left(\beta - 0,5(\beta - 1) \left(1 + \left(\frac{P_c}{P_i} \right)^{1-\alpha} \left(\frac{\Pi_{c3}}{\Pi_{i2}} \right)^{1-\alpha} \right) \right)}{k\beta\Pi_*q_{i2}\lambda_{c3}} \quad (2.25)$$

Значення величин λ_{i2} та λ_{c3} пов'язані між собою через геометричні розміри газоструминного апарату і визначаються виразом (2.5).

Враховуючи що

$$f_3 = \frac{G_p(1+u)a_{c*}}{k_c\Pi_{c*}P_cq_{c3}} \quad (2.26)$$

можна записати у вигляді

$$f_3 = \frac{a_{p*}}{k_p\Pi_{p*}P_pq_{pi}} + \frac{ua_i}{k_i\Pi_{i*}P_iq_{i2}} = \frac{\beta(1+u)a_{c*}}{k_c\Pi_{c*}P_cq_{c3}} \quad (2.27)$$

Звідки

$$q_{i2} = \frac{u}{\beta(1+u) \frac{a_{c*} k_i \Pi_{i*} P_i}{a_{i*} k_c \Pi_{c*} P_c} \frac{1}{q_{c3}} - \frac{a_{p*} k_i \Pi_{i*} P_i}{a_{i*} k_p \Pi_{p*} P_p} \frac{1}{q_{pi}}} \quad (2.28)$$

У тому випадку, коли у робочому та інжектваному потоках однакові адіабати $k_p = k_i = k$ та $R_p = R_i = R$

$$q_{i2} = \frac{u\sqrt{\theta}}{\beta(1+u\sqrt{\theta}) \frac{P_i}{P_c} \frac{1}{q_{c3}} - \frac{P_i}{P_p} \frac{1}{q_{pi}}} \quad (2.29)$$

Під час розрахунку гранично можливого коефіцієнта інжекції газоструминного ежектора, який має конічну камеру змішування, слід брати до уваги обмежуючу умову, а саме те, що у кожному з перерізів конфузора є неможливим перевищення критичної швидкості $\lambda_{i2} \leq 1$.

У випадку граничного режиму коефіцієнт інжекції слід знаходити за таким

рівнянням

$$u_{гр} = \frac{\mu \frac{a_{c^*} k_i \Pi_{i^*} P_i}{a_{i^*} k_c \Pi_{c^*} P_c} \frac{1}{q_{c3}} - \frac{a_{p^*} k_i \Pi_{i^*} P_i}{a_{i^*} k_p \Pi_{p^*} P_p} \frac{1}{q_{pi}}}{1 - \mu \frac{a_{c^*} k_i \Pi_{i^*} P_i}{a_{i^*} k_c \Pi_{c^*} P_c} \frac{1}{q_{c3}}} \quad (2.30)$$

У випадку $k_p = k_i = k$ та $R_p = R_i = R$

$$u_{гр} = \frac{\mu \frac{P_i}{P_c} \frac{1}{q_{c3}} - \frac{P_i}{P_p} \frac{1}{q_{pi}}}{1 - \mu \frac{P_i}{P_c} \frac{1}{q_{c3}}} \frac{1}{\sqrt{\theta}} \quad (2.31)$$

В реальних умовах коефіцієнт інжекції u не може перевищувати граничного значення $u_{гр}$. У формулі (2.31) бере участь величина μ , яка на сьогодні не визначена теоретично. Її на основі експериментальних даних приймають рівною $\mu = 1,35 - 1,5$ [11].

2.2 Приклад розрахунку ежектора з конічною частиною камери змішування

Дослідження ежектора запропонованої конструкції проводимо методом розрахунку коефіцієнта інжекції при різних налаштуваннях окремих складових частин.

В запропонованій конструкції ежектора передбачено зміну положення сопла відносно площини входу в конічну частину камери змішування, а саме, сопло може переміщуватись вздовж центральної осі симетрії конічної частини (Рис. 2.2).

Приймаємо відношення площ вхідної та вихідної частин камери змішування рівним 2:1 [11]. Тоді, по мірі заглиблення сопла в конічну частину камери змішування буде відбуватись зміна співвідношень цих площ. Проведемо

розрахункове дослідження зміни коефіцієнта інжекції по мірі заглиблення сопла в конічну частину, моделюючи це заглиблення зміною коефіцієнта β .

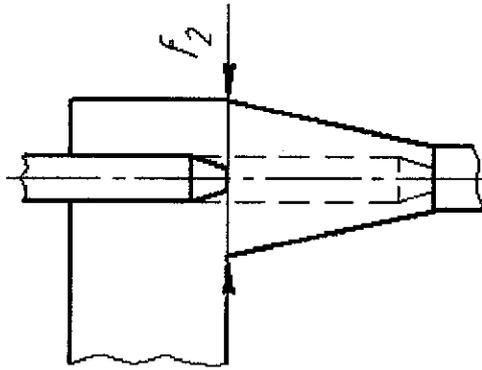


Рисунок 2.2 – Можливі положення сопла відносно площини вхідної частини конфузора

Для прикладу наводимо розрахунок коефіцієнта інжекції для ежектора, який має конічну частину камери змішування та з розташуванням сопла при вказаному співвідношенні площ 2:1 (площини вихідної частини сопла та конічної частини камери змішування співпадають).

Приймаємо наступні вихідні дані для розрахунку:

- стиснене робоче повітря перед входом в ежектор має тиск $P_p = 6 \cdot 10^5$ Па та інжектує пісчано-повітряну суміш з тиском $P_1 = 5,3 \cdot 10^3$ Па;
- після виходу з ежектора стиснена пісчано-повітряна суміш повинна мати тиск $P_c = 3,0 \cdot 10^4$ Па;
- критичне відношення для повітряно-пісчаної суміші становить $\Pi^* = 0,579$ а показник адіабати $k = 1,4$;
- приймаємо швидкісні коефіцієнти робочого сопла, дифузора, вхідної та вихідної ланок камери змішування такими, що дорівнюють один одному;
- приймаємо співвідношення площ поперечного перерізу початку і кінця конічної частини камери змішування $\beta = 2$.
- відношення площі поперечного перерізу з критичною швидкістю

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ

Лист

30

інжектваного потоку та площі кінця конічної частини камери змішування $\mu = 1,5$.

Коефіцієнт інжекції для такого типу ежектора розраховуємо приймаючи до уваги, що показники адіабати для робочої та інжектваної суміші однакові. Це обумовлено тим, що робочим середовищем є стиснене повітря, а інжектованим – пісчано-повітряна суміш. В такому випадку досяжний коефіцієнт інжекції обчислюємо за формулою (2.23).

Знайдемо необхідні для обчислення складові даного математичного виразу.

K_1 та K_2 знаходимо за формулами (2.21а) – (2.21б).

$$K_1 = 0,95 \cdot 0,875 \cdot 0,81 = 0,673, \quad (2.32)$$

$$K_2 = 0,975 \cdot 0,81 \cdot 0,83 = 0,588. \quad (2.33)$$

Коефіцієнт K_3 знаходимо за формулою (2.21в). До складу цієї формули входить відносний тиск Π_{c3} для визначення якого знаходимо відносний тиск інжектваного середовища Π_{p2} в перерізі 2 – 2

$$\Pi_{p2} = \Pi_{p1} = \frac{5,3 \cdot 10^3}{6 \cdot 10^5} = 0,009. \quad (2.34)$$

Знаючи відносний тиск, по газодинамічним таблицям [11] при $k = 1,4$ знаходимо приведену адіабатну швидкість $\lambda_{p1} = 2,1$ та приведену масову швидкість $q_{p1} = 0,1198$.

Приймаємо $\lambda_{c3} = 1$ та газодинамічним таблицям [11] знаходимо приведену масову швидкість $q_{c3} = 1$ та відносний тиск $\Pi_{c3} = 0,5283$.

Для визначення приведеного тиску інжектваного потоку в перерізі 2 – 2 Π_{i2} спочатку визначаємо приведений коефіцієнт інжекції за формулою (2.31)

$$u_{rp} = \frac{1,5 \frac{5,3 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^4} \cdot \frac{1}{1} - \frac{5,3 \cdot 10^3}{6 \cdot 10^5} \cdot \frac{1}{0,1198}}{1 - 1,5 \frac{5,3 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^4} \cdot \frac{1}{1}} \cdot 1,16 = 0,30. \quad (2.35)$$

Знайдемо приведену швидкість q_{i2}

					ГММ.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ	Лист
						31
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$q_{i2} = \frac{0,30 \cdot 0,862}{2(1 + 0,30 \cdot 0,862) \frac{5,3 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^4} \frac{1}{1} - \frac{5,3 \cdot 10^3}{6 \cdot 10^5} \frac{1}{0,1198}} = 0,7. \quad (2.36)$$

Знаючи приведену швидкість q_{i2} за газодинамічними таблицями [11] визначаємо приведену адіабатну швидкість $\lambda_{i2} = 1,54$ та відносний тиск $\Pi_{i2} = 0,1720$.

Тоді

$$K_3 = 1 + 0,9 \cdot \frac{3 \cdot 10^4}{6 \cdot 10^5} \cdot \frac{0,5283 - \frac{5,3 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^4} \left(2 - 0,5 \cdot (2-1) \cdot 0,1720 \cdot \left(1 + \left(\frac{3 \cdot 10^4}{5,3 \cdot 10^3} \right)^{1-0,5} \left(\frac{0,5283}{0,1720} \right)^{1-0,5} \right) \right)}{1,4 \cdot 2 \cdot 0,579 \cdot 0,1198 \cdot 1} = 1,082. \quad (2.37)$$

Коефіцієнт K_4 знаходимо за формулою (2.21 в)

$$K_4 = 1 + 0,9 \cdot \frac{3 \cdot 10^4}{5,3 \cdot 10^3} \cdot \frac{0,5283 - 0,03 \left(2 - 0,5 \cdot (2-1) \cdot \left(1 + \left(\frac{3 \cdot 10^4}{5,3 \cdot 10^3} \right)^{1-0,5} \left(\frac{0,5283}{0,1720} \right)^{1-0,5} \right) \right)}{1,4 \cdot 2 \cdot 0,579 \cdot 0,693 \cdot 1} = 3,065. \quad (2.38)$$

Відносний тиск Π_{c2} змішаного середовища в перерізі 2 – 2

$$\Pi_{c2} = \frac{5,3 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^4} \cdot 0,1720 = 0,03. \quad (2.39)$$

Визначаємо досяжний коефіцієнт інжекції

$$\mu = \frac{0,834 \cdot 2,1 - 1,057 \cdot 1}{3,476 \cdot 1 - 0,812 \cdot 1,54} \cdot 1,16 = 0,139. \quad (2.40)$$

2.3 Дослідження параметрів роботи ежектора при різних розташуваннях сопла та конічній частині камери змішування

На основі пункту 2.2 проводимо розрахунки досяжного коефіцієнта інжекції при різних розташуваннях сопла. Враховуючи значний обсяг однотипних розрахунків в подальшому розрахунки проводимо в програмному середовищі Excel (Додаток А). Розрахунок починаємо з положення, коли кінець

сопла лежить у площині вхідного перерізу конфузора, тобто за початкове приймаємо значення коефіцієнта $\beta = 2$. Потім проводимо серію розрахунків зменшуючи значення коефіцієнта β з кроком 0,2 до $\beta = 1$ (Це крайнє положення сопла як показано на Рис. 2.2).

В результаті проведених розрахунків отримуємо таблицю значень досяжного коефіцієнта інжекції α (Таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Значення коефіцієнта інжекції

β	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
α	0,1337	0,1351	0,1362	0,137	0,1376	0,138	0,1384	0,1386	0,1388	0,1389	0,139

За даними таблиці будуємо графік залежності досяжного коефіцієнта інжекції від положення сопла (Рис. 2.3).

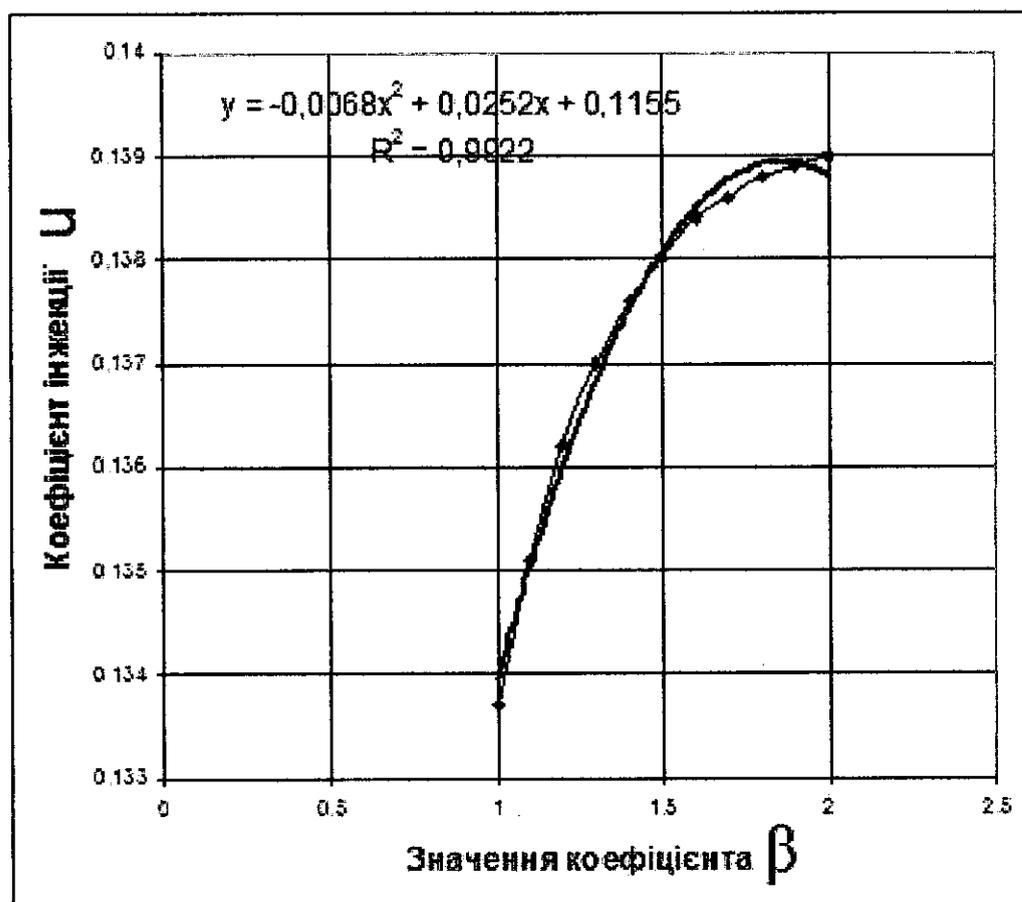


Рисунок 2.3 – Графік залежності досяжного коефіцієнта інжекції від положення сопла

З метою практичного застосування результатів дослідження в програмному забезпеченні Excel проводимо апроксимацію отриманого графіка квадратичною функцією. Ввівши відповідні позначення отримуємо наступне рівняння

$$u = -0,0068 \cdot \beta^2 + 0,0252 \cdot \beta + 0,1155. \quad (2.41)$$

Для встановлення достовірності рівняння отриманого шляхом апроксимації за допомогою онлайн-калькулятора [12] проведемо обчислення коефіцієнтів кореляції r_{xy} , детермінації R^2 та середню похибку апроксимації \bar{A} .

Коефіцієнт кореляції [13, 14] r_{xy} – є статистичним показником, що вказує на схожість двох змінних з точки зору тенденції до їхнього зростання чи спадання. Він може набувати значень від -1 до 1 . Випадок, коли $r_{xy}=1$ означає що змінні корелюють, тобто при зростанні однієї змінної інша теж зростає. Випадок $r_{xy} = -1$ означає, що кореляція від’ємна, тобто простежується спадання змінних. Випадок, коли $r_{xy}=0$ означає, що змінні не корелюють, тобто рівняння є невірним. У нашому випадку коефіцієнт кореляції дорівнює $r_{xy}=0,9961$, що є близьким до одиниці, тобто за даним показником отримане рівняння є вірним.

Коефіцієнт детермінації R^2 застосовується для встановлення відповідності того, наскільки дана математична модель добре співпадає з реальними даними. Цей коефіцієнт набуває значень 0 до 1 . Випадок, коли $R^2 = 1$ свідчить про повну відповідність математичної моделі реальним значенням. У нашому випадку цей коефіцієнт дорівнює $R^2 = 0,9922$, що говорить про добре співпадіння математичної моделі з фактичними значеннями.

Середня похибка апроксимації \bar{A} вказує на середню абсолютну різницю між значеннями, що отримані за допомогою математичної моделі та даними, які прийняті за фактичні (тобто отримані розрахунком чи експериментально). У нашому випадку $\bar{A} = 0,095\%$, що вказує на досить високе співпадіння даних, які отримані розрахунком і тих, що були прийняті за фактичні.

Враховуючи викладене вище можемо стверджувати, що отримана нами

					ГММ.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		34

математична модель з достатньою точністю відповідає фактичним значенням і має право на застосування.

Дане рівняння дозволяє провести розрахунок досяжного коефіцієнта інжекції при різних положеннях сопла по відношенню до вхідної частини конфузора.

Аналізуючи даний графік приходимо до висновку, що коефіцієнт інжекції при зміні положення сопла змінюється нелінійно. Найбільшого значення для прийнятих розрахункових даних він досягає при положенні крайньої частини сопла у площині вхідної частини конфузора.

2.4 Дослідження параметрів роботи ежектора при різних розташуваннях сопла та профільній частині камери змішування

Проведемо аналогічне дослідження для ежектора, який має профільну поверхню приймальної частини камери змішування (Рис. 2.3).

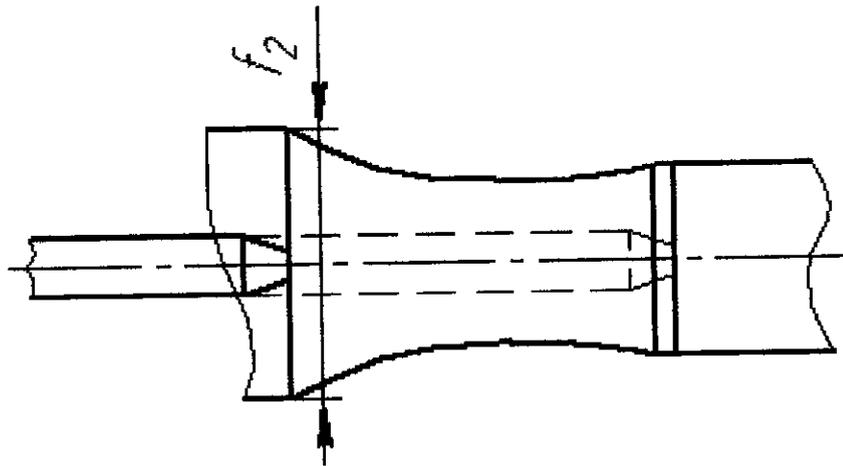


Рисунок 2.3 – Можливі положення сопла при профільній частині камери змішування

Для розрахунку приймемо, що за довжиною цієї частини камери

змішування діаметр її внутрішньої частини (Рис. 2.4) змінюються за законом (визначено на основі графічної побудови та вимірювань і наведено в Додатку Г)

$$d = 0,29 \cdot x^2 - 4,09 \cdot x + 31,03. \quad (2.42)$$

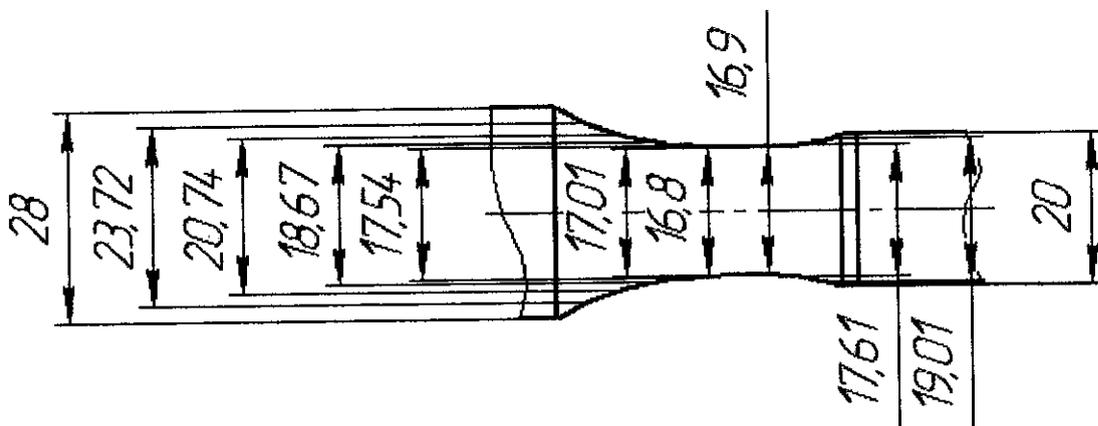


Рисунок 2.4 – Зміна діаметру внутрішньої частини сопла

Знаючи діаметри визначаємо площі поперечних перерізів внутрішньої частини профільної камери змішування та відношення цих площ при поступовому просуванні сопла в його крайнє заглиблене положення (Додаток Г).

При побудові профільної частини було виконано вимогу, що відношення площі входу до площі виходу вказаної камери знаходиться у межах 2:1, так як і у випадку конічної камери змішування.

За раніше представленою методикою (п.п. 2.2, Додаток А) проводимо серію розрахунків коефіцієнта інжекції для різних положень сопла приймаючи дані положення через рівні відстані

Отримані в результаті розрахунків дані зводимо до Таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Значення коефіцієнта інжекції при профільній поверхні

β	1,66	1,29	1,02	0,835	0,71	0,64	0,61	0,62	0,63	0,82	1
α	0,139	0,137	0,134	0,13	0,125	0,121	0,119	0,12	0,121	0,125	0,134

За даними таблиці будемо графік залежності досяжного коефіцієнта

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ

Лист

36

інжекції від положення сопла (Рис. 2.5).

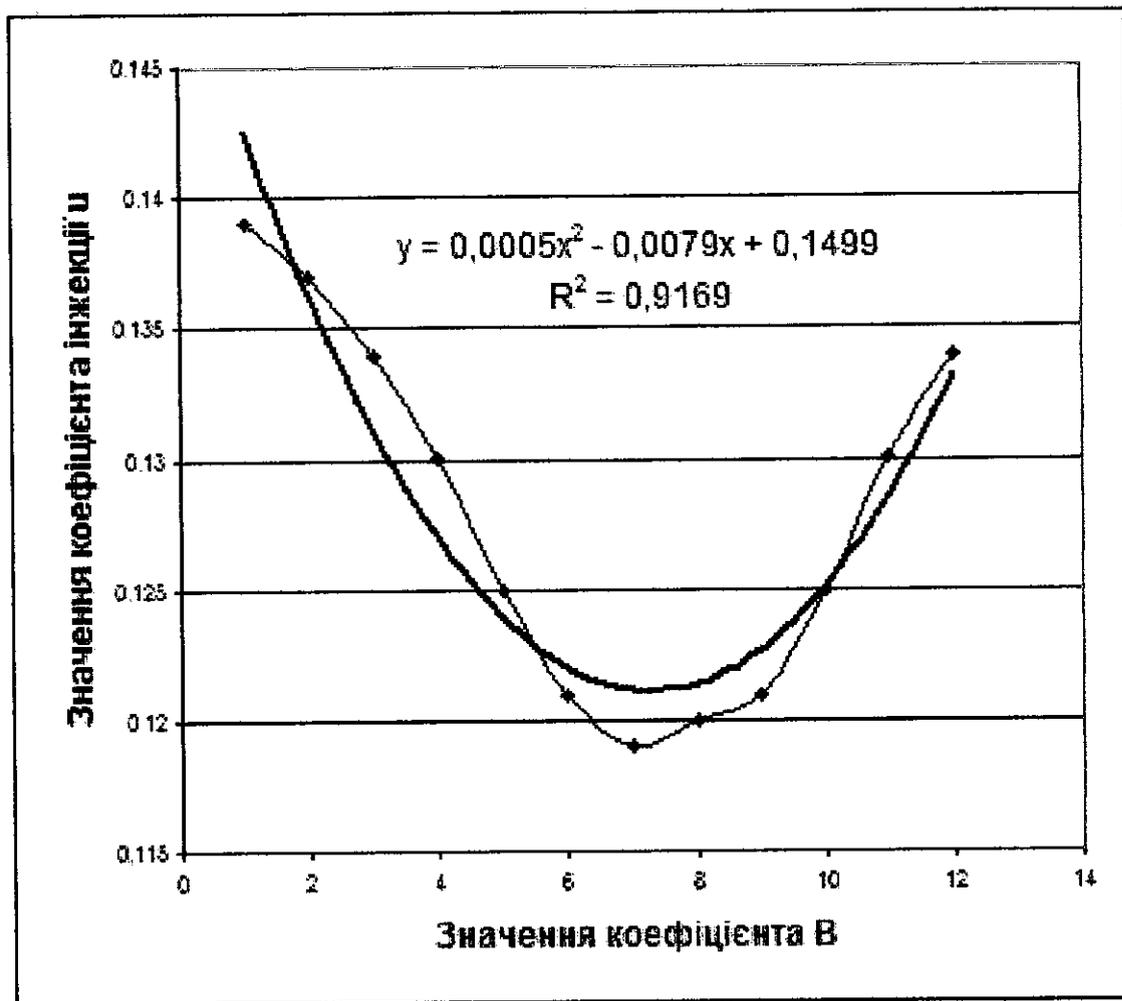


Рисунок 2.5 – Графік залежності досяжного коефіцієнта інжекції від положення сопла при профільній внутрішній поверхні

З метою практичного застосування результатів дослідження в програмному забезпеченні Excel проводимо апроксимацію отриманого графіка квадратичною функцією. Ввівши відповідні позначення отримуємо наступне рівняння

$$u = 0,0005 \cdot \beta^2 + 0,0079 \cdot \beta + 0,1499. \quad (2.43)$$

Достатня точність апроксимації підтверджується значеннями обчислених коефіцієнтів: коефіцієнт кореляції $r_{xy} = 0,87$, детермінації $R^2 = 0,92$ та середня похибка апроксимації $\bar{A} = 0,49\%$.

Аналізуючи графік (Рис. 2.5) приходимо до наступних висновків:

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ

Лист

37

– зміна коефіцієнта інжекції при застосуванні профільної частини камери змішування відбувається нелінійно;

– по мірі просування сопла в камеру змішування спочатку відбувається зменшення коефіцієнта інжекції, але потім, після проходження поперечного перерізу з найменшою площею спостерігається його зростання;

– це свідчить про більш широкі можливості регулювання струминних пристроїв, які мають профільовану частину камери змішування;

– в подальшому є необхідним дослідження профільованих камер змішування, форма яких у напрямку проточної частини ежектора змінюється за іншими законами.

2.5 Висновки до розділу 2

На основі результатів проведених досліджень ежекторів з різними формами камер змішування можемо зробити наступні висновки:

– максимальне значення коефіцієнта інжекції при обох камерах змішування знаходиться на одному рівні, що обумовлено відношенням площ вхідної та вихідної частин камери змішування.

– проте, у порівнянні з конічною профільна форма камери змішування дає більш широкі можливості до регулювання ежектора, а саме розташування крайньої частини сопла по відношенню до вхідної площини камери змішування.

№	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ

Лист

38

Висновки

За результатами досліджень проведених при виконанні магістерської роботи можна зробити наступні висновки:

– аналіз літературних джерел за темою магістерської роботи дає можливість стверджувати, що даний напрямок досліджень є актуальним, оскільки, не дивлячись на значну кількість наукових праць присвячених струминним апаратам, питання їх вдосконалення вирішене не повністю;

– одним із найважливіших показників роботи струминного апарата є коефіцієнт інжекції, оскільки саме він визначає відношення масових витрат робочого середовища до середовища що інжектуються і є показником ефективності роботи ежектора;

– запропоновано конструкцію ежектора у якого є можливим налаштування параметрів роботи за рахунок зміни осьового положення сопла по відношенню до камери змішування;

– проведені дослідження ежектора з конічною та профільованою частинами камерами змішування та регульованим положенням сопла дають підстави стверджувати, що профільована поверхня дає можливість більш широкого регулювання параметрів роботи ежектора щодо коефіцієнта інжекції;

– з метою можливості практичного застосування результатів досліджень при проектуванні пристроїв подібного типу виведено рівняння, які дозволяють обчислити значення коефіцієнта інжекції при різних розташуваннях сопла по відношенню до камери змішування;

– також результати досліджень доповнюють наукову картину уявлень про роботу ежекторів та можуть бути використані в навчальному процесі при вивченні питань пов'язаних зі струминними апаратами.

					ГММ.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Проп.	Дата	Висновки	Літ.	Лист	Листів
Розроб.		Гончаров		14.08		Н		
Перев.		Орисенко		20.08			39	
Керівн.		Орисенко		20.08				
Н.контр.		Васильєв		26.08				
Затв.		Орисенко		26.08				
						Національний університет імені Юрія Кондратюка ННІ ІТМ 2024		

Література

- 1 Гусак О. Г. Г 96 Гідрогазодинаміка : навчальний посібник / О. Г. Гусак, С. О. Шарапов, О. В. Рагушний. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 296 с.
- 2 Пістун Є. П., Лесовой Л. В. Нормування витратомірів змінного перепаду тиску. – Львів: Видавництво ЗАТ «Інститут енергоаудиту та обліку енергоносіїв», 2006. – 576 с.
- 3 Андрішин М.П., Канєвський С.О., Капрпаш О.М. та ін. Вимірювання витрати та кількості газу: Довідник. – Івано-Франківськ: ПП «Сімик». – 2004. – 160 с.
- 4 Буренніков Ю.А., Гідравліка і гідропневмопривод. Навч. посіб. / Ю.А. Буренніков, І.А. Немировський, Л.Г. Козлов – Вінниця: ВНТУ, 2003 – 123 с.
- 5 Лаврівський, З.В. Технічна механіка рідин та газів: навч. посіб. / З.В. Лаврівський, В.І. Мандрус. – Львів : СПОЛОМ, 2004. – 198 с.
- 6 Вамболь, С.О. Технічна механіка рідини і газу: підручник / С.О. Вамболь, І.В. Міщенко, О.М. Кондратенко – Харків: НУЦЗУ, 2016. – 300 с.
- 7 Левицький Б.Ф. Гідравліка. Загальний курс / Б.Ф. Левицький, Н.П. Лещій – Львів: Світ, 1994. – 264с.
- 8 Коваленко О.М. Інженерна гідравліка. Розділ І. Рух рідини в закритих руслах / О.М. Коваленко, Т.О. Шевченко – Харків: ХНАМГ, 2007. – 76 с.
- 9 Тертишний О.О. Механічні процеси в хімічній технології. О.О. Тертишний, С.О. Опарін, П.В. Рябік – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2015. – 215 с.
- 10 Гнеушев В.О. Вентиляція і пневматичний транспорт: навч. посіб. – Рівне:

ГММ.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ							
Зм.	Лист	№ докум.	Глід.	Дат	Література		
Розроб.		Гончаров	<i>[Signature]</i>	14.08			
Перев.		Орисенко	<i>[Signature]</i>	20.08			
Керівн.		Орисенко	<i>[Signature]</i>	20.08			
Н. контр.		Васильєв	<i>[Signature]</i>	26.08			
Затв.		Орисенко	<i>[Signature]</i>	26.08	Літ.	Лист	Листів
					П	40	
					Національний університет імені Юрія Кондратюка ННІ ІТМ 2024		

2010. – 138 с.

11 Методичні вказівки до курсового і дипломного проектування «Розрахунок ежектора» для студентів фахів 7.090510 «Теплоенергетика» і 7.000008 «Енергетичний менеджмент» / Уклад. Р.Г. Акмен, А.П. Желтоноженко. – Харків: НТУ «ХП», 2008. – 21 с.

12 Апроксимація функції однієї змінної. [Електронний ресурс.] Режим доступу: <https://planetcalc.ru/5992/> (Дата звернення 15.07.2024).

13 Основи наукових досліджень: навч. посіб. / за заг. ред. Т. В. Гончарук. – Тернопіль, 2014. – 272 с.

14 Лапач С.М. Теорія планування експериментів: Навч. посібник / С.М. Лапач. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 86 с.

15 Іванов Є.О. Основи роботи з системою Microsoft Excel: навч. посіб. / Є.О.Іванов, В.Т.Матвієнко, Ю.Д.Попов. – К.: ВПЦ «Київський університет», 1999, – 80 с.

16 Павленко П.М. Математичне моделювання систем і процесів: навч. посіб. / П.М. Павленко, С.Ф. Філоненко, О.М. Чередніков, В.В. Трейтяк. – Київ: НАУ. 2017. – 392 с.

17 Чуйко Г. П. Математичне моделювання систем і процесів : навч. посіб. / Г. П. Чуйко, О. В. Дворник, О. М. Яремчук. – Миколаїв : Вид-во ЧДУ імені Петра Могили, 2015. – 244 с.

18 Бахрушин В.Є. Математичні основи моделювання систем: Навчальний посібник для студентів. – Запоріжжя: Класичний приватний університет, 2009. – 224 с.

19 ДСТУ 3282-95 (ГОСТ 30371-96). Енергозбереження установки для вакуумної деаерації води. Загальні технічні вимоги [Електронний ресурс] URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=25860 (Дата звернення 25.07.2024).

20 Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. – Д. : Донбас, 2004. – Т. 1 : А – К. – 640 с.

ГЛАН.601-ММв.004-00.00.000 ПЗ

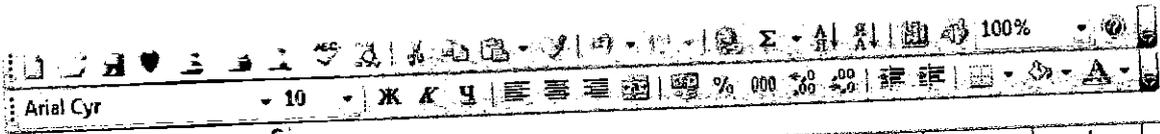
41

Додатки

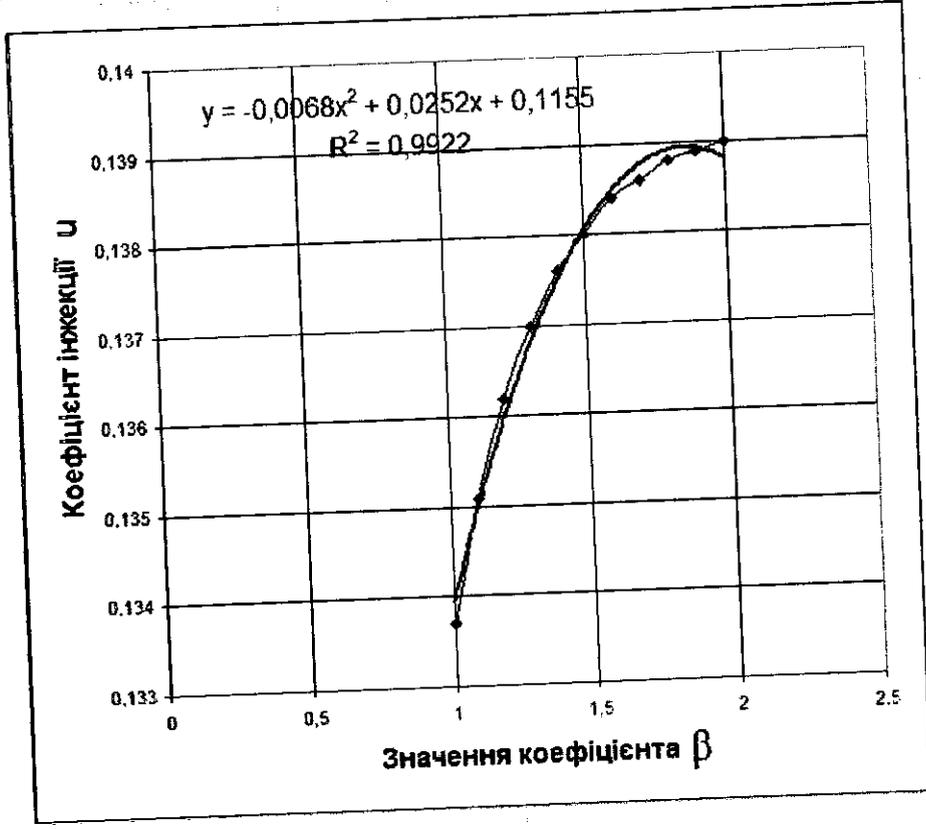
Додаток А – Розрахунок досяжного коефіцієнта інжекції

Microsoft Excel - Розрахунок ежектора													
Файл Правка Вид Вставка Формат Сервіс Данніе Окно Справка													
Arial Cyr - 12 Ж К Ц % 000 0,00 0,00 75%													
C34 =((C9*C17-C12*C20)/(C31*C20-C10*C28))*1.16													
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L		
1	Обчислення коефіцієнтів												
2	φ1 =	0,95			Pp =	600000		α =	0,5				
3	φ2 =	0,875			Pl =	5300		β =	2				
4	φ3 =	0,81			Pc =	30000		μ =	1,5				
5	φ4 =	0,83						κ =	1,4				
6													
7	Коефіцієнти												
8													
9	k1 =	0,6733											
10	k2 =	0,5883											
11													
12	k3 =	1,0819											
13													
14													
15	Pr2 =	0,0088											
16													
17	λp1 =	2,1											
18	qr1 =	0,1198											
19													
20	λλ3 =	1											
21	qc3 =	1											
22	Пс3 =	0,5283											
23													
24	upr =	0,3019											
25													
26													
27													
28	ql2 =	0,7003											
29													
30													
31	k4 =	3,0645											
32													
33													
34	u =	0,139											
35													
36													
37													
Лист1 / Лист2 / Лист3													

Додаток Б – Побудова графіка залежності коефіцієнта інжекції від розташування сопла ежектора



S13		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1		Побудова графіка залежності коефіцієнта інжекції										
2		від розташування сопла в конічній частині камери змішування										
3		β	μ									
4		2	0.139									
5		1,9	0.1389									
6		1,8	0.1388									
7		1,7	0.1386									
8		1,6	0.1384									
9		1,5	0.138									
10		1,4	0.1376									
11		1,3	0.137									
12		1,2	0.1362									
13		1,1	0.1351									
14		1	0.1337									
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												



Додаток В – обчислення парної кореляції r_{xy} , коефіцієнт адетермінації R^2 та середньої похибки апроксимації \bar{A}

PLANETCALC Онлайн калькулятори

Апроксимація функції однієї змінної

Калькулятор використовує методи регресії для апроксимації функції однієї змінної.

Даний калькулятор за введеними даними буде кілька моделей регресії: лінійну, квадратичну, кубичну, степенну, логарифмічну, гіперболічну, показову, експонентну. Результати можна порівняти між собою за кореляцією, середнього помилкою апроксимації та наною на графіку. Теорія та формули регресії під калькулятором.

Якщо не ввести значення x , калькулятор прийме, що значення x змінюється від 0 з кроком 1.

Апроксимація функції однієї змінної

1 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 2

0.1337 0.1351 0.1362 0.137 0.1376 0.138 0.1384 0.1386 0.1388 0.1389 0.139

Лінійна апроксимація

Квадратична апроксимація

Кубична апроксимація

Квадратична регресія

$$y = 0.0068x^2 + 0.0252x + 0.1155$$

Коефіцієнт кореляції

0.9961

Коефіцієнт адетермінації

0.9922

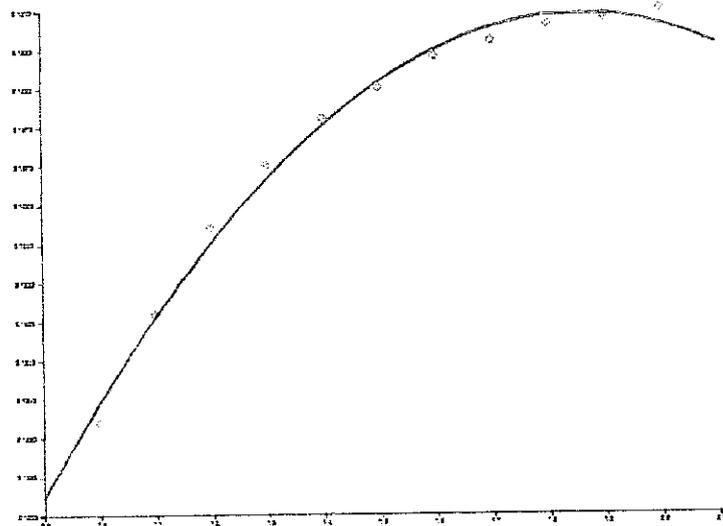
Середня помилка апроксимації

0.0950%

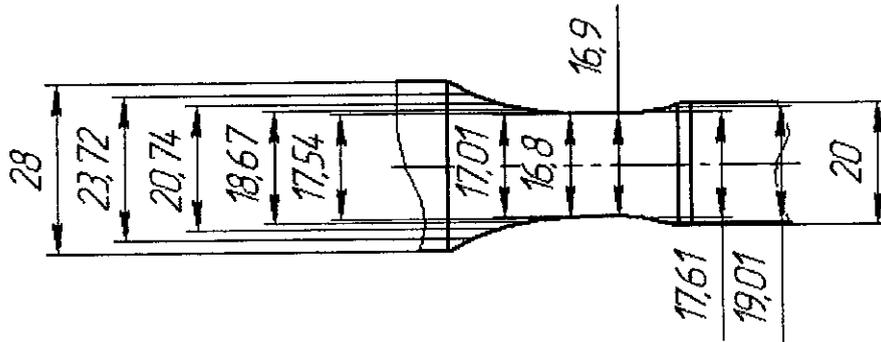
Результат

x

Квадратична регресія



Додаток Г – Визначення діаметрів та залежності їх зміни при профільованій частині камери змішування



Microsoft Excel - Розрахунок ежектора

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервіс Данніе Окно Справка

Анал Сур - 10 Ж К Ч

$f = -0,29 \cdot A_{11}^2 + 4,09 \cdot A_{11} + 31,03$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Діаметр входу		28							
2										
3	Діаметр виходу		20							
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10		діаметр	площа	бета						
11	1	27,23	582,056	1,06072					1	28
12	2	24,01	452,537	1,29118					2	23,72
13	3	21,37	358,491	1,02285					3	20,74
14	4	19,31	292,708	0,83515					4	18,67
15	5	17,83	249,558	0,71204					5	17,54
16	6	16,93	225,001	0,64197					6	17,01
17	7	16,61	216,575	0,61793					7	16,8
18	8	16,87	223,409	0,63743					8	16,9
19	9	17,71	246,211	0,70249					9	17,61
20	10	19,13	287,276	0,81985					10	19,01
21	11	21,13	350,484	1					11	20

$y = 0,29x^2 - 4,09x + 31,03$

Лист1 / Лист2 / Лист3 / Лист4

**Кваліфікаційна робота магістра
за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування**

**Дослідження та оптимізація
конструкції ежектора для
переміщення сипких матеріалів**

Розробив здобувач вищої
освіти групи 601-ММВ

Артем ГОНЧАРОВ

Керівник, к.т.н., доцент

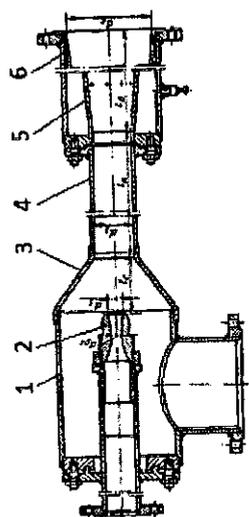
Олександр ОРИСЕНКО

Полтава 2024

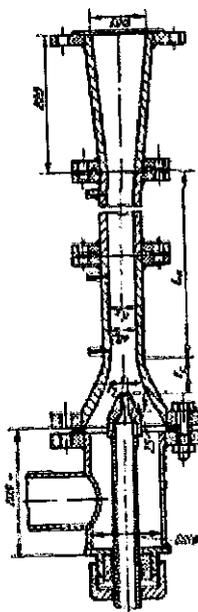
- **Метою роботи** є встановлення науково обґрунтованих параметрів регулювання ежектора для переміщення сипких матеріалів.
- **Об'єктом дослідження** є газодинамічні процеси що протікають в струминних апаратах.
- **Предмет дослідження:** встановлення оптимальних параметрів регулювання ежектора для переміщення сипких матеріалів.
- **Актуальність роботи.** На сьогодні є достатньо відомими найрізноманітніші конструкції струминних апаратів, які використовуються в різних галузях техніки. Не зважаючи на значну кількість теоретичних та експериментальних досліджень проведених у напрямку вдосконалення конструкції вказаних апаратів, можливості поліпшення їх робочих якостей повністю не вичерпані. Теоретичне та експериментальне обґрунтування оптимальних параметрів ежекторів, що мають конічну частину камери змішування висвітлене доволі широко. Проте для досягнення тих чи інших ефектів при інжекції різних середовищ може також застосовуватись камера змішування, яка має профільовану поверхню, а це питання в наукових працях висвітлене недостатньо.
- Тому актуальність даної роботи полягає у встановленні оптимальних параметрів регулювання ежектора, що має камеру змішування з профільованою поверхнею.
- **Наукова новизна.** Встановлено параметри налаштувань ежектора з профільованою камерою змішування. На основі проведених досліджень виведено математичну залежність, яка дозволяє встановити оптимальні параметри регулювання з метою досягнення найвищого коефіцієнта інжекції.
- **Практична значимість.** Результати, що отримані при проведенні досліджень доповнюють наукову картину уявлень про роботу струминних апаратів та можуть бути використані при проектуванні ежекторів подібного типу. Також дані напрацювання можна використовувати в навчальному процесі при вивченні питань пов'язаних з газоструминними апаратами.

- **завдання наукового дослідження:**
- – опираючись на результати досліджень, які наведені в літературних джерелах за темою дослідження встановити фактори, які найбільш інтенсивно впливають на протікання процесу інжекції в ежекторі з різними формами камери змішування;
- – провести теоретичні дослідження та встановити величину впливу цих факторів на процес інжекції;
- – розробити математичну модель досліджуваного процесу.

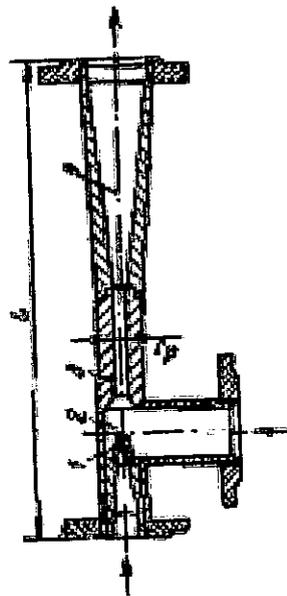
1 Огляд стану питання за темою магістерської роботи



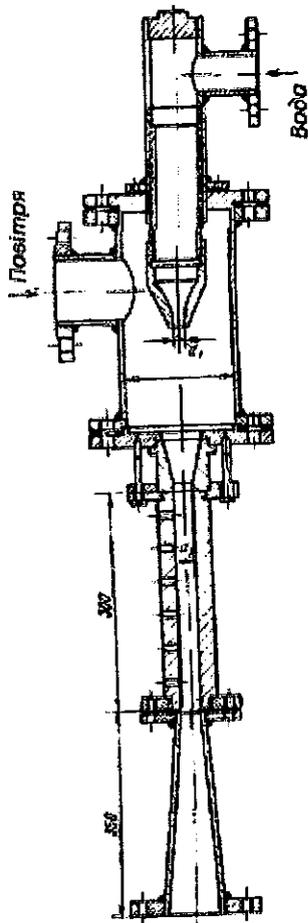
Парострумний компресор



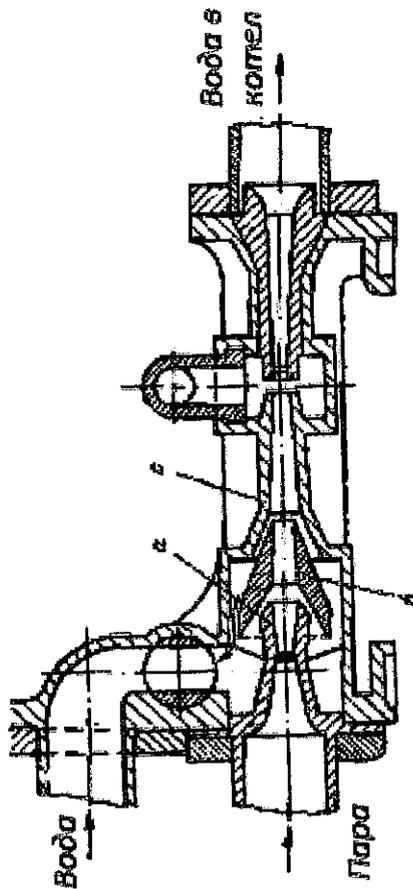
Струмний інжектор



Водострумний елеватор

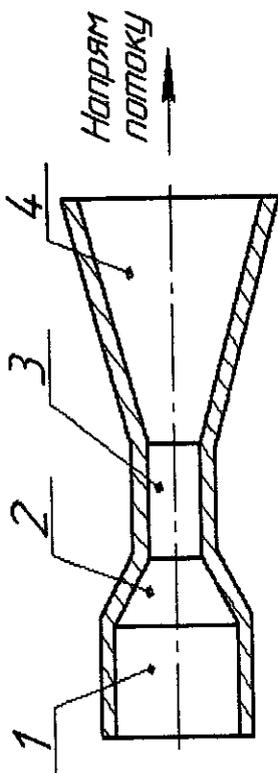


Водоповітряний ежектор

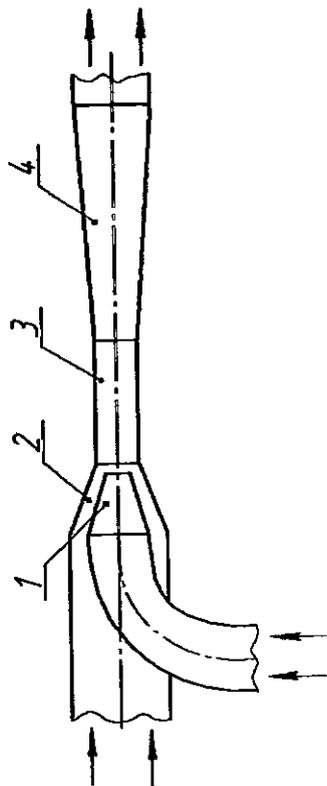


Парорідний інжектор

Ефект Вентурі

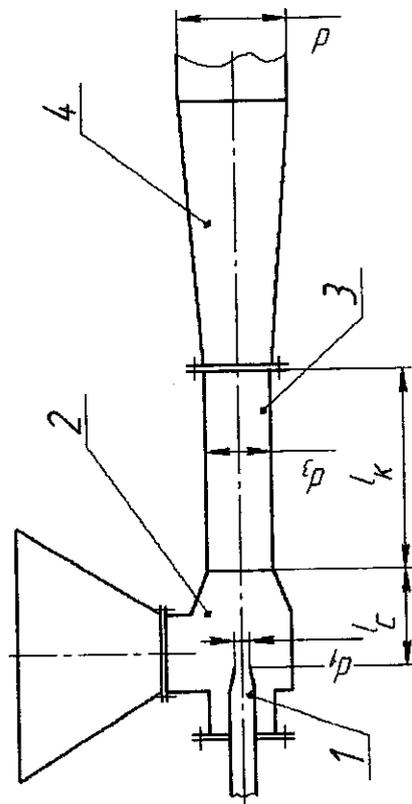


1 – циліндричний патрубок; 2 – конфузор;
3 – горловина; 4 – дифузор



1 – сопло; 2 – камера прийому;
3 – камера змішування; 4 – Дифузор

Повздовжній переріз труби Вентурі



Принципова схема пристрою для пневматичного транспортування сипкого середовища

Принципова схема ежектора для змішування та подальшого транспортування суміші двох середовищ

Розрахунок коефіцієнта інжекції

Коефіцієнт інжекції

$$u = \frac{K_1 \lambda_{pi} - K_3 \lambda_{c3}}{K_4 \lambda_{c3} - K_2 \lambda_{i2}} \frac{1}{\sqrt{\theta}}$$

$$\beta = \frac{f_2}{f_3}$$

Відношення площ вхідного та вихідного перерізів конфузора

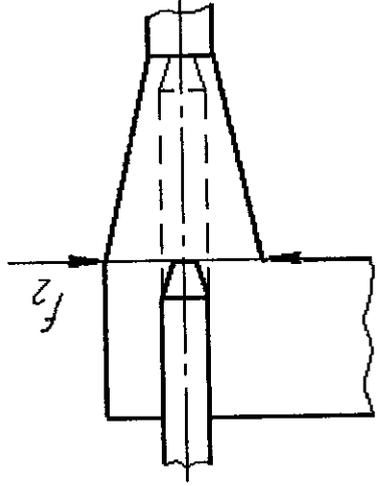
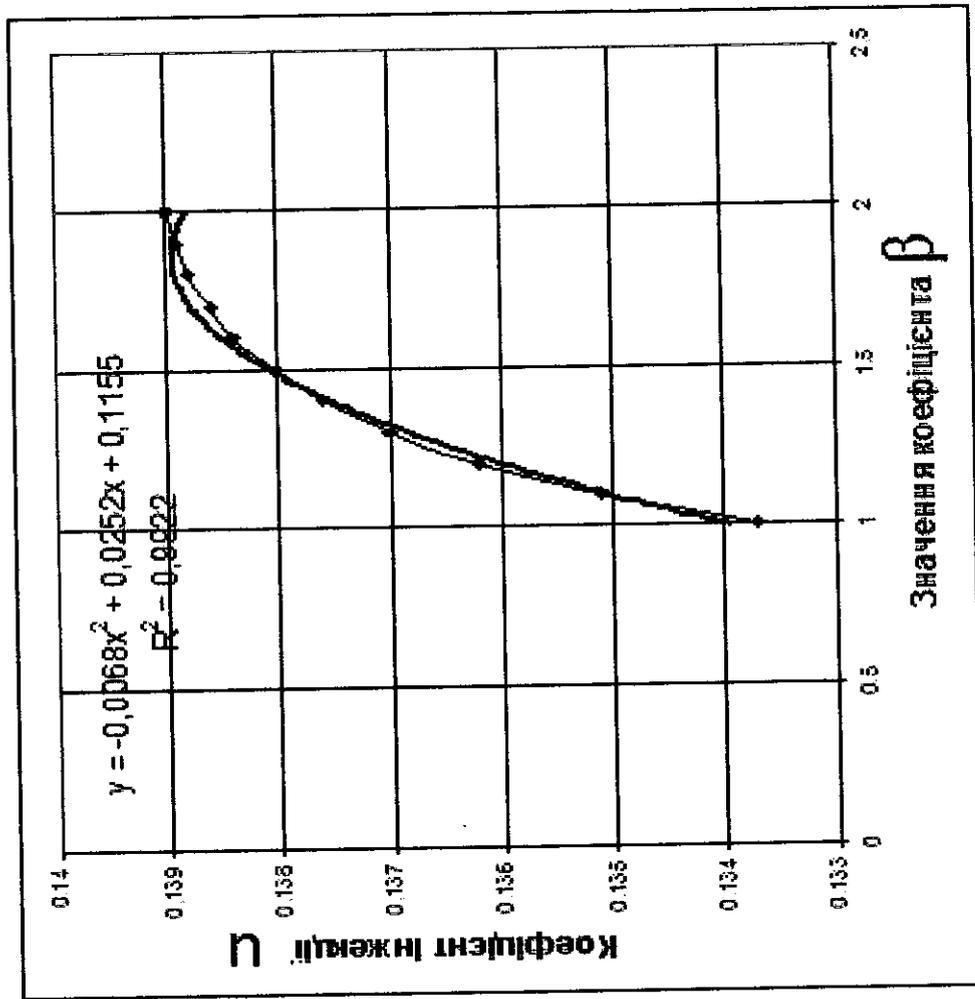
$$K_1 = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3$$

$$K_2 = \varphi_2 \varphi_3 \varphi_4$$

$$K_3 = 1 + \varphi_3 \frac{P_c}{P_p} \frac{\Pi_{c3} - \frac{P_i}{P_c} \left[\beta - 0,5(\beta - 1) \Pi_{i2} \left(1 + \left(\frac{P_c}{P_i} \right)^{1-\alpha} \left(\frac{\Pi_{c3}}{\Pi_{i2}} \right)^{1-\alpha} \right) \right]}{k\beta \Pi_{pi} \lambda_{c3}}$$

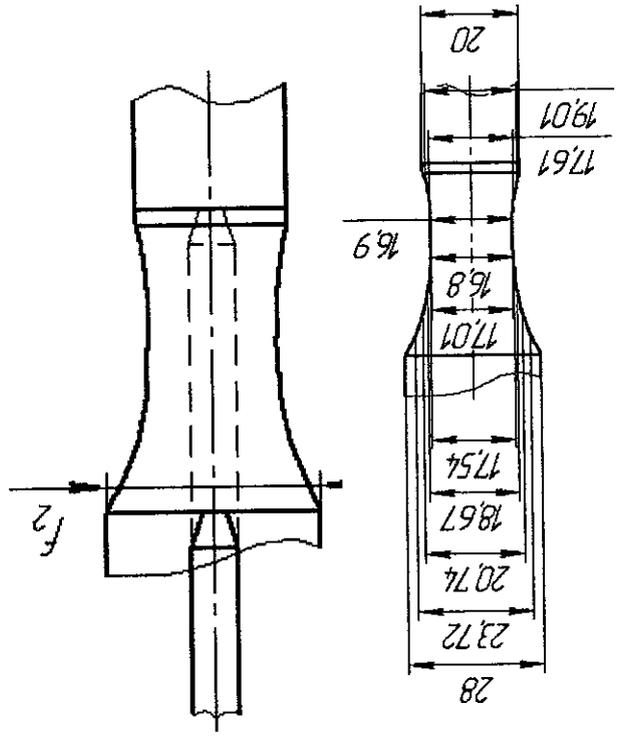
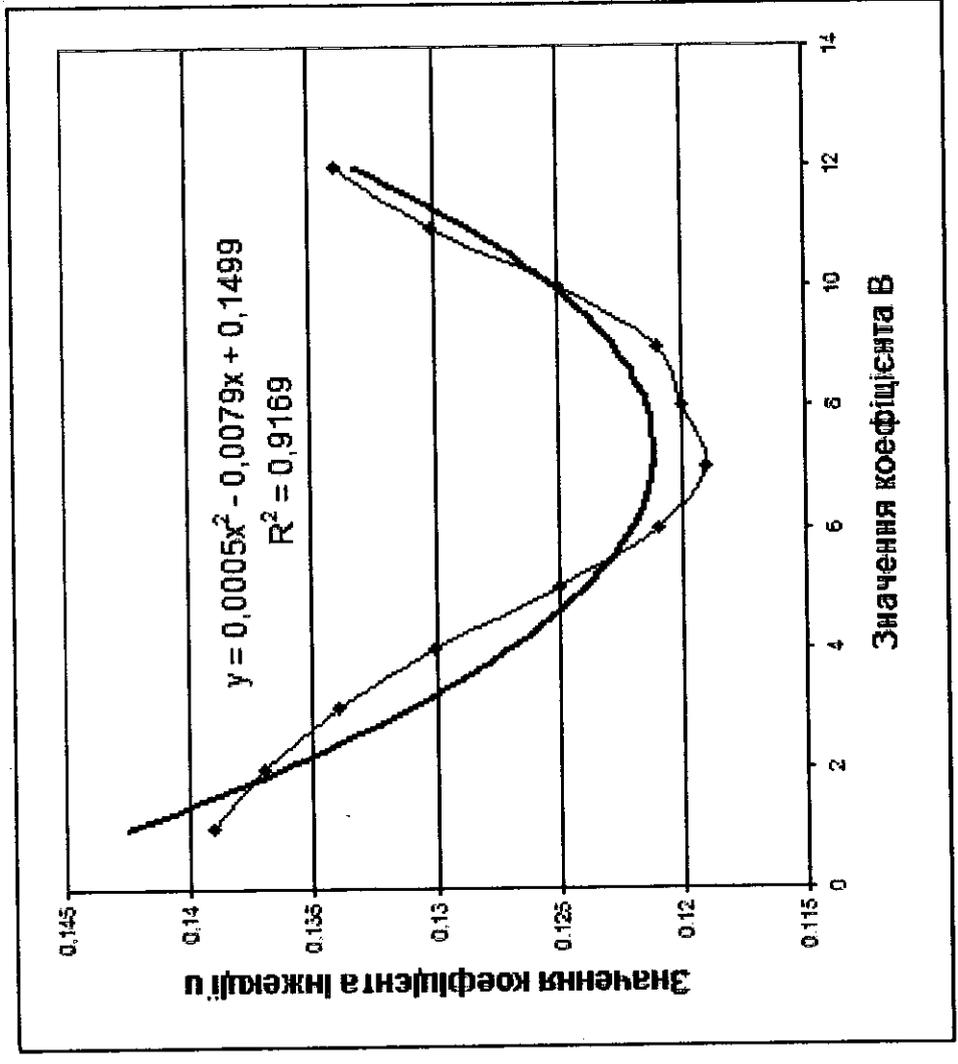
$$K_4 = 1 + \varphi_3 \frac{P_c}{P_i} \frac{\Pi_{c3} - \Pi_{c2} \left[\beta - 0,5(\beta - 1) \left(1 + \left(\frac{P_c}{P_i} \right)^{1-\alpha} \left(\frac{\Pi_{c3}}{\Pi_{i2}} \right)^{1-\alpha} \right) \right]}{k\beta \Pi_{i2} \lambda_{c3}}$$

Зміна коефіцієнта інжекції при конічній формі входу в камеру змішування та $\beta = 2$



$$u = -0,0068 \cdot \beta^2 + 0,0252 \cdot \beta + 0,1155$$

Зміна коефіцієнта інжекції при профільній формі входу в камеру змішування та $\beta = 2$



$$d = 0,29 \cdot x^2 - 4,09 \cdot x + 31,03$$

$$u = 0,0005 \cdot \beta^2 + 0,0079 \cdot \beta + 0,1499$$

Висновки

За результатами досліджень проведених при виконанні магістерської роботи можна зробити наступні висновки:

- аналіз літературних джерел за темою магістерської роботи дає можливість стверджувати, що даний напрямок досліджень є актуальним, оскільки, не дивлячись на значну кількість наукових праць присвячених струминним апаратам, питання їх вдосконалення вирішене не повністю;
- одним із найважливіших показників роботи струминного апарата є коефіцієнт інжекції, оскільки саме він визначає відношення масових витрат робочого середовища до середовища що інжектуються і є показником ефективності роботи ежектора;
- запропоновано конструкцію ежектора у якого є можливим налаштування параметрів роботи за рахунок зміни осьового положення сопла по відношенню до камери змішування;
- проведені дослідження ежектора з конічною та профільованою частинами камерами змішування та регульованим положенням сопла дають підстави стверджувати, що профільована поверхня дає можливість більш широкого регулювання параметрів роботи ежектора щодо коефіцієнта інжекції;
- з метою можливості практичного застосування результатів досліджень при проектуванні пристроїв подібного типу виведено рівняння, які дозволяють обчислити значення коефіцієнта інжекції при різних розташуваннях сопла по відношенню до камери змішування;
- також результати досліджень доповнюють наукову картину уявлень про роботу ежекторів та можуть бути використані в навчальному процесі при вивченні питань пов'язаних зі струминними апаратами.