

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Приладобудівний факультет**  
**Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

«На правах рукопису»  
УДК 681.121

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ **Юрій КИРИЧУК**  
(підпис)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

**Магістерська дисертація**  
**на здобуття ступеня магістра**  
**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно - інтегровані**  
**технології проектування приладів»**  
**зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно - інтегровані технології**

на тему: **Автоматизована система обліку витрати води вихровим методом**

Виконала: студентка 2 курсу, групи ПМ – 01мп  
(шифр групи)

\_\_\_\_\_ **Мельник Анастасія Миколаївна** \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н., доцент Анна ПИСАРЕЦЬ \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Власне ім'я ,ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Консультант Розробка СТАРТАП-проєкту професор, д.е.н., Катерина БОЯРИНОВА \_\_\_\_\_  
(назва розділу) (посада, вчене звання , Власне ім'я ,ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Рецензент доцент, к.т.н., Шумков Ю.С. \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Власне ім'я ,ПРІЗВЕЩЕ) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2021 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Приладобудівний факультет**  
**Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітньо-професійна програма Комп'ютерно-інтегровані технології проектування приладів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ **Юрій КИРИЧУК**

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**

**Мельник Анастасії Миколаївні** \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації **Автоматизована система обліку витрати води вихровим методом**

науковий керівник дисертації **Писарець Анна Валеріївна, к.т.н., доцент,**  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 03 » листопада 2021р. № 3664

2. Строк подання студентом дисертації **06 грудня 2021 р.**

3. Перелік завдань, які потрібно розробити **Вступ. Огляд літературних джерел за темою, вибір і обґрунтування напрямів та методів дослідження. Розробка математичної моделі витратоміра. Визначення метрологічних характеристик. Моделювання роботи витратоміра. Аналіз і узагальнення результатів досліджень.**

4. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу **Імітаційне моделювання у Ansys 1 арк. ф. А1. Автоматизована система обліку витрати води вихровим методом, 1 арк. ф. А1. Складальний кресленник, 1 арк. ф. А1. Робочі креслення деталей, 1 арк. ф. А2. Графічні матеріали, 2 арк. ф. А1. Презентаційний плакат 1 арк. ф. А1.**

5. Орієнтовний перелік публікацій **1 доповідь на науково-технічній конференції; 1 стаття у фаховому виданні**

## 6. Консультанти розділів дисертації\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка СТАРТАП-проекту	Бояринова К. О., д.е.н., професор		

7. Дата видачі завдання 26 жовтня 2021 р.

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літератури за темою	26.10.21 – 10.11.21	
2	Розробка математичної моделі витратоміра	08.11.21 – 16.11.21	
3	Визначення метрологічних характеристик витратоміра	14.11.21 – 20.11.21	
4	Моделювання роботи витратоміра	10.11.21 – 30.11.21	
5	Аналіз отриманих результатів	14.11.20 – 06.12.20	
6	Оформлення МД та її графічної частини	20.11.20 – 05.12.20	
7	Передача МД на перевірку науковому керівнику	06.12.21	
8	Передача матеріалів МД на перевірку виявлення збігів/схожості текстів	09.12.21	
9	Представити МД на рецензію	10.12.21	
10	Представити МД на затвердження зав. кафедри	11.12.21	
11	Передача електронної версії МД до бібліотеки	15.12.21	
12	Представити МД до екзаменаційної комісії НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»	20.12.21	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Анастасія МЕЛЬНИК

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_

(підпис)

Анна ПИСАРЕЦЬ

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

\* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

## ВІДОМІСТЬ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на магістерську дисертацію		
2	A4	МД.ПЗ	Пояснювальна записка		
3	A1	МД.ГД.01	Матеріали аналітичного огляду	1	
4	A1 (A2)	МД. ГД.02 (01...04)	Схеми	1	
5	A1 (A2)	МД.ГД.03.(01..04)	Складальні креслення	1	
6	A1	МД.ГД.04.(01..04)	Графіки	2	
7	A1	МД.ГД.05	Презентаційний аркуш	1	
Загальна кількість графічних документів - 6 арк.ф. А1					

				МД.ВМД		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.				Відомість магістерської дисертації	Лист	Листів
Керівн.					1	1
Конс.					КПІ імені Ігоря Сікорського каф. ПБ гр. ПМ – 01мп	
Н/контр.						
Зав.каф.						

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертаційна робота складається із вступу, п'ятьох розділів, загального висновку, списку використаної літератури. Дисертація містить 69 сторінок основного тексту, 32 ілюстрацій, 41 таблиць і 25 посилань. Загальний обсяг роботи – 85 сторінок.

**Мета і задачі роботи.** Метою роботи є оцінка впливу форми тіла обтікання і гідравлічного каналу на метрологічні характеристики витратоміра в автоматизованій системі обліку витрати води. Досягнення цієї мети передбачає розв'язання наступних задач:

- обґрунтування технології передачі даних для створення автоматизованої системи обліку витрати води;
- узагальнення і аналіз сучасного стану вихрових засобів вимірювання витрат води;
- розробку математичної моделі втрат тиску у перетворювачі витрати;
- проведення математичного моделювання роботи витратоміра для різних варіантів гідравлічного каналу;
- відтворення структури каналу за допомогою CFD-технологій;
- оцінку втрат тиску у перетворювачі витрати.

**Об'єктом дослідження** є процес визначення метрологічних характеристик витратоміра.

**Предметом дослідження** є вихровий витратомір автоматизованої системи обліку витрати води.

**Методи дослідження:** методи, що покладені в основу роботи, базуються на основних законах гідродинаміки (Бернуллі, рівняння нерозривності) для оцінки втрат тиску у гідравлічному каналі витратоміра; методах обчислювальної гідродинаміки (CFD) з використанням програмного комплексу Ansys Fluent для підтвердження отриманих результатів.

**Практичне значення отриманих результатів:**

- створено математичну модель втрати тиску витратоміра;

- обґрунтовано форму чутливого елемента, що забезпечує найбільш широкий діапазон вимірювання;
- здійснено оптимізацію форми тіла обтікання вихрового витратоміра.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на науково-практичній конференції «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні» (м. Київ, 2021 р.).

**Публікації.** Результати роботи опубліковано у матеріалах 1 конференції і статті у фаховому виданні.

**Ключові слова:** автоматизована система обліку витрати води; вихровий витратомір, тіло обтікання, оптимізація, втрата тиску.

## ABSTRACT

The master's dissertation consists of an introduction, five chapters, a general conclusion, a list of references. The dissertation contains 85 pages of the main text, 32 illustrations, 41 tables and 25 references. Total volume of work - 69 pages.

**Purpose and objectives of the work.** The aim of the work is to evaluate the influence of the flow body shape and the hydraulic channel shape on the flow meter metrological characteristics. The investigated instrument is the basis of the automated water metering system.

Achieving this goal involves solving the following tasks:

- substantiation of data transmission technology for the creation of an automated water metering system;
- generalization and analysis of the current state of vortex water flow metering instruments;
- development of a mathematical model of pressure losses in the flow transducer;
- carrying out mathematical modeling of the flow meter operation for different configurations of the hydraulic channel;
- reproduction of the channel structure using CFD technologies;
- assessment of the flow transducer pressure loss.

**The object of research** is the process of determining the metrological characteristics of the flow meter.

**The subject of the study** is the vortex flowmeter of the automated water flow metering system.

**Research methods:** the methods underlying the work are based on the basic laws of hydrodynamics (Bernoulli, continuity equation) to estimate the pressure loss in the hydraulic channel of the flow meter; computational fluid dynamics (CFD) methods using Ansys Fluent software to validate the results.

**Practical significance of the obtained results:**

- a mathematical model of the flow meter pressure loss was created;

- the shape of the sensitive element, which provides the widest measuring range, is established;
- vortex flow meter body flow shape optimization was performed.

**Approbation of dissertation results.** The main provisions and results of the dissertation were reported and discussed at the scientific-practical conference "Efficiency of engineering solutions in instrument making" (Kyiv, 2021).

**Publications.** The results of the work are published in the materials of the 1 conference and 1 article in the professional publication.

**Key words:** automated water metering system, vortex flowmeter, body flow, optimization, pressure loss.



## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ .....	11
ВСТУП .....	12
ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ .....	14
1. АВТОМАТИЗАЦІЯ В СИСТЕМАХ ОБЛІКУ ВОДИ .....	14
1.1. Мережеві технології передачі даних у системах обліку води.....	14
1.2. Модуль для передачі даних.....	19
1.3. Розробка схеми автоматизованої системи обліку витрати води .....	26
2. ОГЛЯД І АНАЛІЗ ВИХРОВИХ ВИТРАТОМІРІВ .....	28
2.1. Види вихрових витратомірів .....	28
2.2. Різновиди тіл обтікання .....	32
2.3. Перетворювачі вихрових коливань .....	33
3. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИТРАТОМІРА .....	36
4. РОЗРАХУНОК МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК .....	39
4.1. Статична характеристика .....	39
4.2. Похибка вимірювання .....	41
4.3. Втрати тиску .....	42
5. ОПТИМІЗАЦІЯ ВИХРОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ВИТРАТИ З ТІЛОМ ОБТІКАННЯ .....	45
5.1. Вибір форми тіла обтікання .....	45
5.2. Оптимізація форми тіла обтікання .....	50
5.3. Вплив конфігурації гідравлічного каналу на метрологічні характеристики витратоміра .....	54
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ .....	58
РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП – ПРОЄКТУ .....	59
1. Опис та технологічний аудит ідеї проєкту .....	59

					<i>МД ПМ0108.000.00</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Мельник А.М.			<b>Автоматизована система обліку витрати води вихровим методом</b>	Літ.	Арк.	Акрушіє
Перевір.		Писарець А.В.					8	
Н. Контр.					<b>ПБФ, ПМ-01мп</b>			
Затверд.		Писарець А.В.						

2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту .....	62
3. Розроблення ринкової стратегії розвитку .....	69
4. Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту .....	71
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ .....	81
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	82
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	83

					<i>МД ПМ01мн08.000.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ТО – тіло обтікання,

ППВК – приймачі-перетворювачі вихрових коливань,

ВП – вимірювальний перетворювач,

ПП – первинний перетворювач,

МП – модуль передачі,

КП – карта пам'яті,

ПК – персональний комп'ютер,

ОБ – обчислювальний блок.

					<i>МД ПМ01мп08.000.00</i>	Арк.
						11
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## ВСТУП

**Актуальність теми.** В умовах стрімкого подорожчання ресурсів, що використовує людство, виникає необхідність підвищення ефективності обліку енергоносіїв. Однією з основних проблем людства є дефіцит питної води, тому вкрай важливо створювати автоматизовані системи обліку витрат води.

Застосування таких систем має ряд переваг, зокрема: скорочення витрат на транспорт; точність та регулярність збору показань; доступність користувачів до аналізу та перегляду даних; відсутність помилок на етапах, де раніше приймала участь людина.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є оцінка впливу форми тіла обтікання і гідравлічного каналу на метрологічні характеристики витратоміра в автоматизованій системі обліку витрати води. Досягнення цієї мети передбачає розв'язання наступних *задач*:

- обґрунтування технології передачі даних для створення автоматизованої системи обліку витрати води;
- узагальнення і аналіз сучасного стану вихрових засобів вимірювання витрат води;
- розробку математичної моделі втрат тиску у перетворювачі витрати;
- проведення математичного моделювання роботи витратоміра для різних варіантів гідравлічного каналу;
- відтворення структури каналу за допомогою CFD-технологій;
- оцінку втрат тиску у перетворювачі витрати.

**Об'єктом дослідження** є процес визначення метрологічних характеристик витратоміра.

**Предметом дослідження** є вихровий витратомір автоматизованої системи обліку витрати води.

**Методи дослідження:** методи, що покладені в основу роботи, базуються на основних законах гідродинаміки (Бернуллі, рівняння нерозривності) для оцінки втрат тиску у гідравлічному каналі витратоміра; методах

					<i>МД ПМ01мп08.000.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

обчислювальної гідродинаміки (CFD) з використанням програмного комплексу Ansys Fluent для підтвердження отриманих результатів.

**Практичне значення отриманих результатів:**

- створено математичну модель втрати тиску витратоміра;
- обґрунтовано форму чутливого елемента, що забезпечує найбільш широкий діапазон вимірювання;
- здійснено оптимізацію форми тіла обтікання вихрового витратоміра.

**Особистий внесок здобувача.** У розробку наукових результатів, які виносяться на захист, полягає у створенні алгоритму оптимізації конструкції перетворювача витрати, проведенні математичного і чисельного (імітаційного) моделювання роботи витратоміра за різних форм чутливого елемента.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на науково-практичній конференції «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні» (м. Київ, 2021 р.).

**Публікації.** Результати роботи опубліковано у матеріалах 1 конференції і статті у фаховому виданні.

**Структура та обсяг роботи.** Магістерська дисертація складається із вступу, 2 розділів, висновків, переліку використаних джерел. Загальний обсяг роботи 86 сторінок. Дисертація містить 32 рисунків, 41 таблиць. Перелік використаних джерел налічує 25 найменування.

**Ключові слова:** автоматизована система обліку витрати води; вихровий витратомір, тіло обтікання, оптимізація, втрата тиску.

					<i>МД ПМ01мн08.000.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ  
1. АВТОМІТИЗАЦІЯ В СИСТЕМАХ ОБЛІКУ ВОДИ

**1.1. Мережеві технології передачі даних у системах обліку води**

Проведемо дослідження мережевих технологій, які в подальшому можуть бути застосовані для створення автоматизованих систем передачі показань від приладів обліку енергоносіїв та розглянемо особливості їх застосування [1, 2].

Автоматичне зчитування показань розпочалося з дротових технологій, найбільш широкого застосування набули наступні: імпульсний вихід та послідовні інтерфейси RS-485, RS-232, M-Bus. Залежно від кількості приладів обліку на об'єкті та особливостей їх використання, проводиться вибір технологій зняття та передачі даних [1, 2].

Застосування технології імпульсного виходу було першим дротовим способом передачі даних, який реалізовувався за допомогою геркону. Цю технологію автоматичного зчитування показань найбільше використовували через її переваги, такі як: простота реалізації, низька ціна, енергетична незалежність. Досі подібні способи застосовуються для отримання показань з одного вимірювального приладу, який встановлений у важкодоступному місці [1, 2].

До недоліків імпульсного виходу відносять [1, 2]:

- зворотну залежність довжини імпульсу від витрати;
- чутливість до впливу зовнішнього магнітного поля;
- обмежений механічний ресурс геркону.

Послідовний інтерфейс RS-232 призначений для підключення обладнання, яке може приймати дані від енергоресурсів або передавати їх на персональний комп'ютер. Він набув широкого розповсюдження, завдяки незначній вартості, надійності, простоті реалізації. Але низка суттєвих недоліків не дозволяє використовувати його для побудови інформаційних мереж, такі як [1, 2]:

					<i>МД ПМ01мн08.000.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

- низька завадозахищеність;
- неможливість підключення декількох пристроїв до одного порту комп'ютера, через це стає неможливим з'єднання приладів між собою з метою створення інформаційної мережі;
- швидкість передачі даних залежить від довжини з'єднувального кабелю, в кращому випадку не може перевищувати 19200 біт/с;
- довжина з'єднувального кабелю не може перевищувати 15 метрів;
- необхідність використання тридротової лінії.

У випадку необхідності опитувати більш ніж один прилад використовуються цифрові мережі M-Bus та RS-485 [1, 2].

Розглянемо RS-485: довжина кабелю може сягати 1 кілометра, а для низьких швидкостей передачі до 3 кілометрів. Можливо одночасно під'єднати 32 пристрої. Подібний спосіб забезпечує високу завадостійкість, це зумовлено тим, що завада впливає однаково на обидва дроти, залишаючи різницю потенціалів незмінною. Для підключення до мережі RS-485 вимірювальні прилади повинні бути оснащені відповідним інтерфейсом або імпульсним виходом. Стандарт RS-485 дозволяє передавати з великою швидкістю (до 10 Мбіт/с) значні обсяги даних, кожен прилад за потреби може ініціювати передачу своїх даних [1, 2].

M-Bus є європейським стандартом побудови систем збору даних з комерційних вузлів обліку. Протокол обміну даних між приладами M-Bus мережі ґрунтується на принципі: один головний та багато підпорядкованих. Швидкість передачі даних у такій мережі обмежена електричною ємністю шини і коливається у межах (300 – 9600 біт/с). Обмеження за кількістю підпорядкованих приладів у одному сегменті мережі визначається потужністю джерела живлення головного приладу та граничними можливостями адресації (до 250 пристроїв) [1, 2].

Інтерфейси M-Bus та RS-485 схожі між собою, але перший має низку переваг у якості інформаційної мережі, таких як: можливість значно більшої кількості приєднаних приладів, швидкість передачі даних, відсутність

					<i>МД ПМ01мп08.000.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

необхідності використання узгоджувальних резисторів, нечутливість до полярності сигналу [1, 2].

Дротові технології досі широко застосовуються для створення систем дистанційної передачі показань від приладів обліку, завдяки високій надійності та незалежності від погодних умов, високій захищеності даних та завадостійкості, але для доступу до інформації необхідний фізичний доступ до обладнання [1, 2].

Розглянемо бездротові технології передачі показань від приладів обліку. Існує широке різноманіття бездротових мережевих технологій для створення автоматизованих систем передачі показань від приладів обліку енергоносіїв. Широкого застосування знайшли наступні технології: Wireless M-Bus, GSM/GPRS, NB-IoT, LoRaWAN, різноманітні системи від виробників лічильників, які використовують неліцензійні частотні діапазони [1, 2].

Протягом тривалого часу одним з розповсюджених способів отримання інформації був доступ за допомогою аналогових модемів, які під'єднані до телефонних ліній. Застосування такої технології для значної кількості систем виявилось незручним, через необхідність тривалих інтервалів часу для набору номера та встановлення з'єднання, для опитування усіх приладів системи. Система не дозволяє одночасно опитувати декілька приладів. Схожі системи не знайшли широкого застосування через суттєві недоліки, такі як [1, 2]:

- низька швидкість передачі даних (до 9,6кбіт/с);
- необхідність у попередньому встановленні з'єднання та значний час відклику;
- тарифікація зв'язку за часом з'єднання досить дорога.

GPRS. Використання цього каналу зв'язку набуло більш широкого використання у GSM модемах. Технологія пакетної передачі даних забезпечує з'єднання пристроїв через мережу інтернет (TCP/IP). Такі GPRS модеми здатні працювати в будь якому місці, де від базової станції мобільного зв'язку є достатній рівень сигналу. Основними перевагами GPRS технології є [1, 2]:

- висока швидкість передачі даних (85,6 кбіт/с);

					<i>МД ПМ01мн08.000.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



- можливість одночасної передачі з усіх вузлів системи обліку;
- усталене з'єднання з приймальним обладнанням;
- простота налаштування обладнання.

Недоліком технології передачі є суттєве енергоспоживання модему, на одному елементі живлення здатні працювати до двох років, але за умови передачі даних не частіше одного разу на тиждень [1, 2].

Wireless M-Bus комунікаційний протокол та європейський стандарт побудови систем збору даних. Інформація передається на сервер через концентратори шини M-Bus або напряму. Особливостями цього протоколу є простота та швидкість впровадження і монтажу, мінімальні вимоги до ліній зв'язку та самого обладнання.

Ця технологія подібна до раніше розглянутих систем, таким чином її використання та розгортання є аналогічним, але при цьому головною відмінністю є застосування стандартизованого протоколу обміну. Прилади обліку із вбудованим радіомодулем, який підтримує технологію WM-Bus, набули широкого поширення як серед виробників, так і серед споживачів. Це пояснюється наступними перевагами [1, 2]:

- можливість використання в одній мережі обладнання різних виробників;
- технологія енергозбереження забезпечує тривалий термін служби батареї;
- використання неліцензованого частотного діапазону, що дозволяє використання обладнання без оформлення дозволів на експлуатацію;
- можливість знаття показань як окремих лічильників методом обходу, так і для створення стаціонарних мереж з використанням підсилювачів сигналу;
- можливість шифрування даних, які передаються;
- конкуренція серед виробників дозволила знизити ціни на обладнання, завдяки чому цю технологію раціонально використовувати для зняття показань з декількох приладів обліку.

					<i>МД ПМ01мн08.000.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Технологія IoT (Internet of Things). Усе більшого поширення набуває мережа, яка складається з різноманітних об'єктів, які унікально ідентифікуються і можуть взаємодіяти між собою за допомогою IP підключення без втручання людини. Впроваджуються два стандарти технології інтернету речей, такі як: LoRaWAN та NB-IoT [1, 2].

Стандарт LoRaWAN забезпечує мережевий принцип передачі даних на великі відстані, призначений для одночасного обслуговування великої кількості приладів обліку. Важливою перевагою мережі є можливість застосування обладнання різних виробників. Усі елементи цієї мережі працюють у неліцензованому частотному діапазоні 868 МГц. Підключення відбувається за допомогою спеціальних радіомодулів з автономним живленням, які здатні отримувати показання за допомогою безпосереднього підключення приладу, який оснащений імпульсним виходом, а також бездротовим методом за протоколом WM-Bus. Якість передачі даних залежить від прямої відстані між абонентом та базовою станцією. Програмне забезпечення за допомогою сервера застосунків отримує необхідну інформацію по обраним вимірювачам, які зберігаються на мережевому сервері [1, 2].

Стандарт NB-IoT (Narrow Band Internet of Things) – це стандарт мобільного зв'язку для пристроїв телеметрії. Оскільки базова станція оператора мобільного зв'язку самостійно ідентифікує пристрій і зв'язується з ним, немає потреби встановлювати додаткове обладнання [1, 2].

Підключення приладів обліку до NB-IoT мереж вимагає використання спеціальних модемів з SIM картою відповідного мобільного оператора. З'єднання виконується за допомогою імпульсного виходу приладу або за радіоканалом WM-Bus. Іншого обладнання система не потребує. Оператор мобільного зв'язку забезпечує передачу даних від приладу обліку на сервери постачальника енергоресурсів [1, 2].

Основними перевагами NB-IoT мережі є [1, 2]:

- низька вартість обладнання;

					<i>МД ПМ01мн08.000.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

- низьке енергоспоживання, приблизний час роботи пристрою від батареї становить 5-10 років;
- визначення рівню сигнал/шум у місцях розгортання системи;
- велика ємність мережі, тисячі підключених пристроїв на одну базову станцію.

Таким чином можна зробити висновок, що характерними особливостями застосування бездротових технологій автоматизованих систем передачі даних є [1, 2]:

- зменшення кількості кабельних ліній до елементів системи або повна відмова від них;
- швидкість та простота розгортання;
- зниження часових та фінансових витрат на етапах проектування, розгортання та експлуатації мереж.

Аналіз особливостей передачі даних за допомогою бездротових технологій для здійснення віддаленого зняття показань з приладів обліку свідчить про наступне [1, 2]:

- за допомогою сучасних технологій та використання стандартизованих протоколів обміну інформацією забезпечують можливість поєднання приладів різних виробників;
- шифрування інформації забезпечує надійний захист;
- радіомережі не мають обмежень на кількість підключених вимірювальних приладів на відміну від дротових;
- розвиток IoT технологій дозволив спростити процес підключення приладів обліку до інформаційних мереж.

З огляду на характеристики технологій передачі даних можна зробити висновок, що найкращим варіантом для використання в автоматизованих системах передачі показань від приладів обліку енергоресурсів є технологія IoT.

					<i>МД ПМ01мн08.000.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

## 1.2. Модуль для передачі даних

Розглянемо модулі для передачі даних та їхні характеристики.

*Бездротовий модуль зв'язку* на базі компонента SIM800L (рис. 1.1) – компактний та надійний GPRS/GSM модуль (розробник SIMComWS). Він підтримує багато різних способів передачі даних: Wi-Fi, Bluetooth, можна налаштувати з'єднання за допомогою телефонних дзвінків та SMS повідомлень, а також з'єднання з мережею інтернет, використовуючи тарифний план картки. Даний модуль працює на основі компонента SIM800L, який має стандартний інтерфейс керування та надає доступ до таких сервісів: GSM, GPRS, відправлення дзвінків, SMS, обміну цифровими даними, компонент має стек протокол IP, TCP; має вбудовану антену, також можна підключити додаткові для покращення якості зв'язку [3].



Рисунок 1.1. Модуль передачі SIM800L [3]

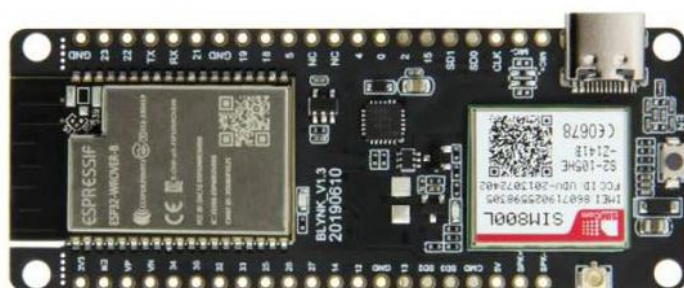
Технічні характеристики [3]:

- Напруга живлення В: 3.4 – 4.4;
- Діапазон робочих температур, °С: -30 – +75.
- Швидкість UART, біт/с: 1200 – 115200;
- Робочі діапазони PCS1900, EGSM900, GSM850, DCS1800;
- Потужність передачі даних 1 Вт: PCS1900, DCS1800;
- Режим інтернет мережі: 2G;
- Потужність передачі даних 2 Вт: EGSM900, GSM850;

					МД ПМ01мн08.000.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

- Підтримує PAP (протокол ідентифікації пароля);
- Підтримка RTC (годинника реального часу);
- Автоматичне визначення швидкості передачі даних;
- Отримання і надсилання GPRS, HTTP, IP та TCP даних;
- Максимально можлива швидкість передачі даних, кбіт/с: 85.6;
- Можливість кодування інформації;
- Підтримка USSD неструктурованих даних;
- Підтримує SIM – карти з живленням 1.8 і 3 (В);

*Плата TTGO T-Call* - розроблена для систем збору інформації - на ній розміщені: контролер ESP32 – WROWER та модуль SIM800L (рис. 1.2). Плата має невеликі розміри і вагу, а також ефективні режими енергозбереження, містить бездротові інтерфейси Wi-Fi, Bluetooth з можливостями: BLE, EDR, v4.2BR, GSM та GPRS модуль SIM800L у. Також модуль має стандартні інтерфейси, такі як: I2C, UART, I2S, DAC, SPI, TV PWM, SDIO, ADC. Модуль має: 4 MB QSPIFlash пам'яті програм, 8 МБ додаткової оперативної пам'яті і 520 кБ основної SRAM оперативної пам'яті. Керується двоядерним 32х-бітовим процесором з максимальною тактовою частотою 240 МГц. Підтримуються режими керування за допомогою додатку на смартфоні та хмарне керування. Для живлення використовуються зовнішні або внутрішні джерела [4].



					<i>МД ПМ01мн08.000.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

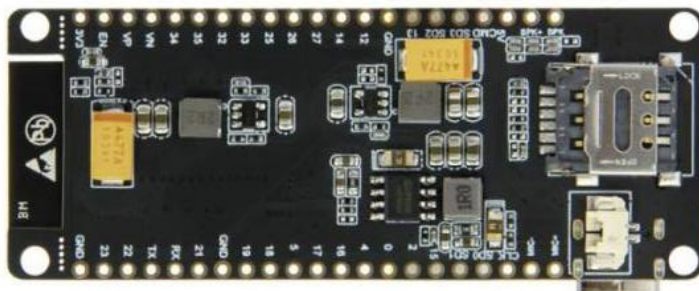


Рисунок 1.2. Плата TTGO T-Call на компоненті SIM800L [4]

Технічні характеристики [4]:

- Оперативна пам'ять: SRAM та PSRAM відповідно 520 кБ та 8 МБ;
- Підтримувані типи SIM-карт: тільки Nano SIM;
- Робоча напруга контролера ESP32, В: 2.7 – 3.6;
- Діапазон робочих температур, °С: -40 – +85;

Характеристики Wi-Fi [4]:

- Максимальна дальність зв'язку, м: 300;
- Діапазон використовуваних частот, ГГц: 2.4 – 2.5 ;
- Стандарт: NCC, TELEC, FCC, IC, CE-RED, SRRC, KCC;
- Потужність передавача: 22 (dBm);

Програмна специфікація [4]:

- Операційна система: FreeRTOS.
- Підтримуються хмарні засоби розробки;
- Кількість режимів Wi-Fi: 4;
- Механізм шифрування даних: WPA, WPS, WPA2-Enterprise, WPA2;
- мережеві протоколи: IPv4, TCP, SSL, IPv6, MQTT, UDP, FTP, HTTP;

– Оновлення: за допомогою UART, завантаження через мережеві підключення;

*Комунікаційний модуль GSM/GPRS/GNSS/Bluetooth.HAT* в основі компонент SIM868, що дозволяє створити систему: мобільний телефон, сервер збору і передачі інформації, GPS трекер та багато іншого (рис. 1.3.). Дана плата використовується в парі з мікроконтролерами: Raspberry Pi (2B, Zero, 3B, 3B+

					МД ПМ01мн08.000.00	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та Zero W). Ця плата є комунікаційним модулем, за допомогою якого можна керувати об'єктом з будь-якої точки світу, де є доступ до інтернету (мобільного зв'язку), передавати і отримувати дані. Керування і налаштування модуля здійснюється за допомогою вбудованого USB – UART.CP2102 [5].



Рисунок 1.3. Комунікаційний модуль GSM/GPRS/GNSS/Bluetooth.HAT [5]

Технічні характеристики [5]:

- Підтримка передачі даних за допомогою Bluetooth 3.0;
- Сумісність з мікроконтролерами Raspberry Pi (2B, 3B, ZeroW, 3B+, Zero);
- Можливість прийому та відправки SMS, MMS, прийому і передачі даних, email, телефонних дзвінків, GPRS, HTTP, DTMF, FTP;
- Підтримка GPS, LBS позиціонування, Glonass, COMPASS;
- Наявність годинника реального часу;
- SIM – карти з живленням 1.8 і 3 (В);
- Автоматичне визначення швидкості послідовного порту;
- Потужність передачі даних 1 Вт: GSM 850, EGSM 900 (MHz);
- Потужність передачі даних 2 Вт: DCS 1800, PCS 1900 (MHz);
- Автоматичний режим пошуку по всіх діапазонах;
- Можливість кодування даних;
- Робоча напруга живлення, В: 5;
- Діапазон робочих температур, °С: -40 – +85 .

					<i>МД ПМ01мн08.000.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23



Модуль зв'язку SIM7000E.NB-IoT.HAT - працює на основі SIM7000E, що є універсальним модулем з великою кількістю комунікаційних функцій: GNSS, NB-IoT, GPRS, eMTC та EDGE (рис. 1.4). Технології зв'язку IoT, розвиваються із стандарту LTE.4G, мають низку переваг, таких як: низьку вартість, широку територію покриття мережею, низьке енергоспоживання та інші. Вони можуть виконувати наступні завдання: дистанційне керування об'єктами, віддалений моніторинг, відстеження активності, електронна охорона тощо. У той час, як EDGE, GSM, GPRS є звичайними технологіями 2G і 2.5G, які здатні відправляти дані за допомогою SMS повідомлень або здійснювати інші типи бездротового зв'язку [6].



Рисунок 1.4. Модуль зв'язку SIM7000E.NB-IoT.HAT [6]

Технічні характеристики [6]:

- Можливість підключення до всіх видів Raspberry Pi;
- Швидкість передачі інтерфейсу UART, біт/с: 300 – 3686400;
- Відділ для SIM – карти, може використовуватися як зі звичайною SIM-картою, так із NB-IoT карткою;
- Підтримує технології: HTTP, TCP, MQTT, UDP, FTP, PPP, SMS, та інше;
- Вбудований перетворювач напруги з 3,3 на 5 (В);
- Підтримка позиціонування GNSS;

					<i>МД ПМ01мн08.000.00</i>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



- Робочий стан пристрою дозволяють контролювати 2 світлодіодних індикатора;
- Діапазон робочих температур, °C: -20 – 55.

Модуль зв'язку SIM7600X 4G HAT, а також позиціонування, який підтримує технологію LTE CAT4 зі швидкістю передачі інформації до 150 Мбіт/с для того, щоб передавати дані по низхідній лінії зв'язку і при цьому досить низькому енергоспоживанні (рис.1.5). Є можливість приєднати цей модуль 4G до Raspberry Pi, щоб включити наявні функції, такі як: глобальне позиціонування, високошвидкісне з'єднання 4G, відправка SMS, бездротовий зв'язок та інше. Модуль підходить для створення автономних портативних пристроїв обробки, збору та передачі даних [7].

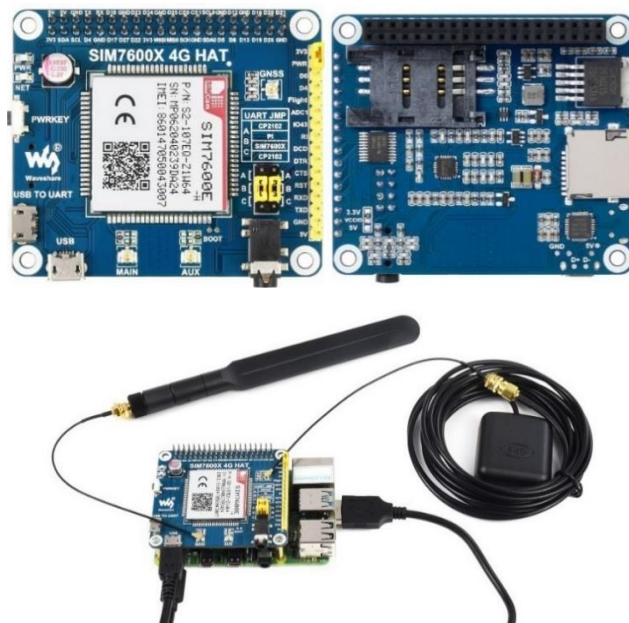


Рисунок 1.5. Модуль зв'язку SIM7600X 4G HAT [7]

Технічні характеристики [7]:

- Можливість підключення таких видів Raspberry Pi: 2B, 3B + , 3B, Zero, Zero WH, 4B та Zero W.
- Швидкість передачі даних, біт/с: 9600 – 115200;
- Місце для TF-карти зберігання даних;
- Управління за допомогою AT-команд;

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД ПМ01мн08.000.00

Арк.

25

- Підтримує HTTP, SMS, MMS, телефонний дзвінок, DTMF, TCP, FTP, UDP, електронну пошту та інше;
- Вбудований перетворювач напруги 3,3 на 5 (В), зміна відбувається за допомогою перемикача;
- Для налагодження, вбудований перетворювач USB2, UART CP2102;
- Підтримує LBS позиціонування, GPS, Glonass, BeiDou;
- Робоча температура пристрою, °С: -30 – 80.

Аналіз технічних характеристик розглянутих модулів передачі даних свідчить про те, що найкращим варіантом для застосування в автоматизованих системах передачі показань від приладів обліку енергоресурсів є модуль зв'язку SIM7600X 4G NAT.

### 1.3. Розробка схеми автоматизованої системи обліку витрати води

Автоматизована система обліку витрати води вихровим методом побудована на підґрунті технології IoT і складається з вихрових витратомірів, оснащених модулями передачі даних (рис. 1.6).

У якості модуля передачі даних застосовується SIM7600X 4G NAT [7], який містить карту пам'яті (КП) та передає дані на сервер через TCP протокол.

Модуль передачі даних встановлюється у обчислювальному блоку (рис. 1.7).



Рис. 1.6. Структура мережі із застосуванням технології NB-ІоТ, де ПК – персональний комп'ютер [2]

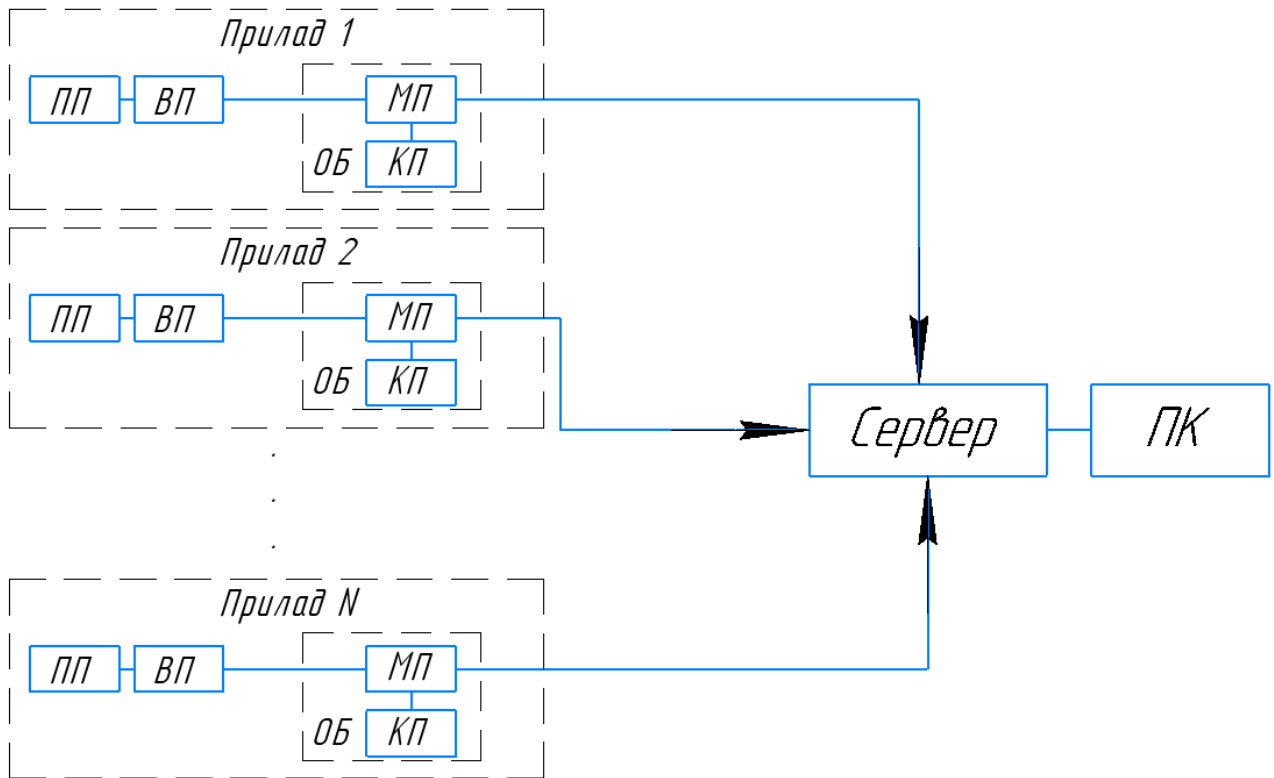


Рисунок 1.7. Схема автоматизованої системи обліку витрати води вихровим методом

## 2. ОГЛЯД І АНАЛІЗ ВИХРОВИХ ВИТРАТОМІРІВ

Робота вихрових витратомірів ґрунтується на використанні вихрових коливань, які створюються вимірюваним потоком. За допомогою цього явища проводиться вимірювання значення витрати, беручи до уваги фізичні властивості потоку, що досліджується, без встановлення у вимірюваний потік рухомих чутливих елементів. Завдяки цьому можливо створити прилад, який має відносно просту будову і є надійним. До того ж, вихрові коливання створюються не тільки потоками рідини, але і газу, отже використання таких приладів можливе в однаковому конструктивному виконанні як для газів, так і для рідин [8 – 11].

Вихровий метод вимірювання має такі основні переваги [8 – 12]:

- надійність та простота перетворювача витрати;
- частотний вимірювальний сигнал;
- відсутність частин, що обертаються;
- достатня точність у широкому діапазоні витрати;
- стабільність показань;
- можливість створення лічильників газу і пари;
- незалежність показань від температури і тиску;
- широкий діапазон вимірювання витрати;
- можливість імітаційної повірки;
- лінійність шкали;
- прийнятна ціна.

Недоліками таких витратомірів є [8, 9, 11, 12]: неможливість використання для вимірювання при малих швидкостях потоку, чутливість до вібрацій та змін температури.

### 2.1. Види вихрових витратомірів

Існують три групи вихрових витратомірів, суттєво відмінні одна від одної

					<i>МД ПМ01мн08.000.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

[8-10, 12].

### 1. Витратоміри з процесією воронкоподібного вихору

Потік закручується у первинному перетворювачі після чого потрапляє у збільшену частину корпусу, прецесує і водночас утворює пульсації тиску (рис. 2.1) [8, 9, 12, 14].

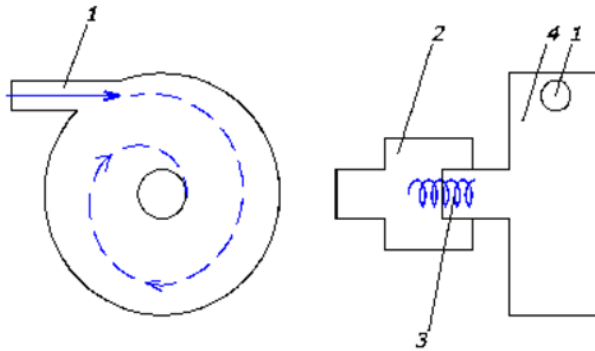


Рисунок 2.1. Вихровий витратомір, який має завихрювальний пристрій у вигляді циліндричної камери, де потік підводиться тангенціально: 1 – труба вхідного потоку, 2 – камера збільшеного діаметру, 3 – патрубок, 4 – циліндрична камера [14]

Пояснити процес утворення прецесії ядра вихору можна таким чином: вісь ядра вихору, довкола якої останній повертається з кутовою швидкістю  $\omega$ , під впливом швидкості або місцевої зміни тиску може відхилитись на кут  $\varphi$  від вісі Oz патрубка (рис. 2.2). Водночас виникає різниця тисків між зовнішньою та внутрішньою поверхнями ядра, тому що на зовнішній поверхні частоти обертання як всього потоку, так і ядра, направлені в одному напрямку, а на внутрішній поверхні – у протилежних напрямках [8, 9].

Ця різниця тисків зумовлює силу  $Pn$ , прикладену на відстані  $l$  від точки O, під кутом  $90^\circ$  до осі OE, і відносно цієї точки виникає момент внутрішніх сил  $M$ . Перпендикулярна до площини zOE швидкість  $v$ , спричиняє обертання вісі ядра вихору OE з кутовою швидкістю  $\omega_1$  навколо нерухомої осі Oz [8, 9].

					МД ПМ01мн08.000.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

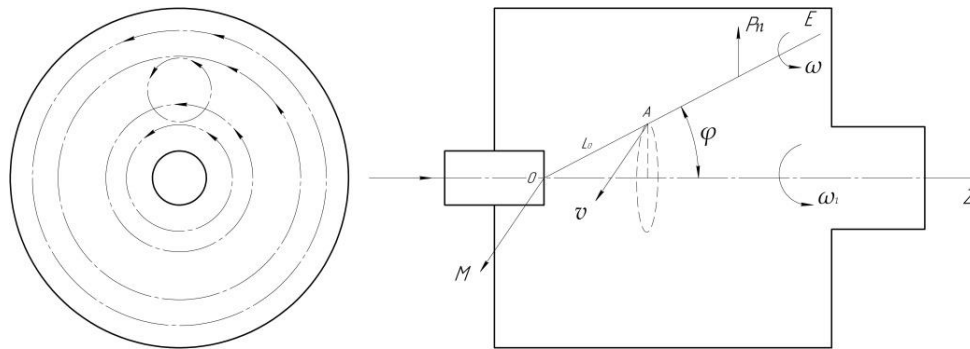


Рисунок 2.2. Схема виникнення прецесії ядра вихору [9]

2. Витратоміри, у первинному перетворювачі яких розташовано нерухоме тіло [8, 9, 14].

Тіло обтікання (ТО), яке встановлено на шляху потоку, збільшує швидкість струменів, що його обтікають, і змінює напрям їх руху [8, 9]. За тілом виникає знижений тиск. Поверхневий шар потоку, який обтікає тіло, відривається від ТО і під дією зниженого тиску з обох боків почергово формуються зривисті вихори, які створюють пульсації тиску (рис. 3.3).

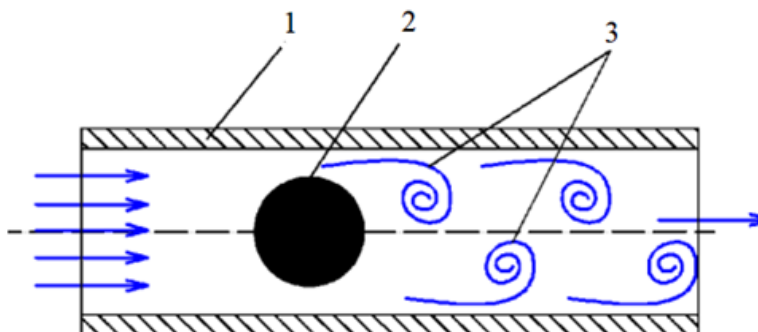


Рисунок 2.3. Вихровий витратомір з ТО: 1 – корпус/трубопровід; 2 – тіло обтікання; 3 – вихори; напрям руху потоку показаний стрілками [14]

3. Витратоміри з осцилюючим струменем [8, 9, 14].

В таких вимірювальних перетворювачах у первинному перетворювачі струмінь, що витікає з отвору, виконує автоколивання, створюючи при цьому пульсації тиску (рис. 2.4) [8, 9].

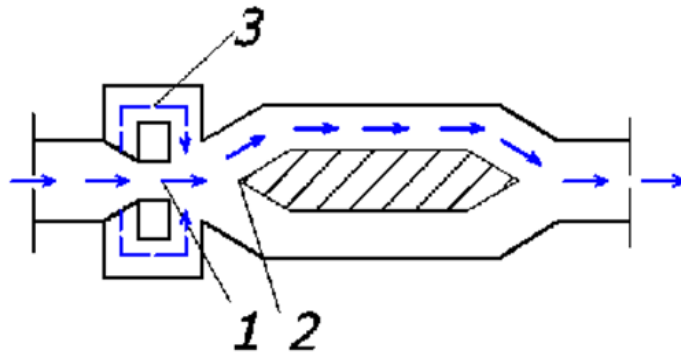


Рисунок 2.4. Витратоміри з струменем, що осцилює: 1 – сопло, 2 – дифузор, 3 – обвідна трубка [14]

Вихровий витратомір, що має зворотній гідравлічний зв'язок забезпечує більш стійкий процес осциляції (рис. 2.5). При цьому зберігається лінійна залежність між витратою та частотою коливань у широкому діапазоні чисел Рейнольдса [8, 9, 14].

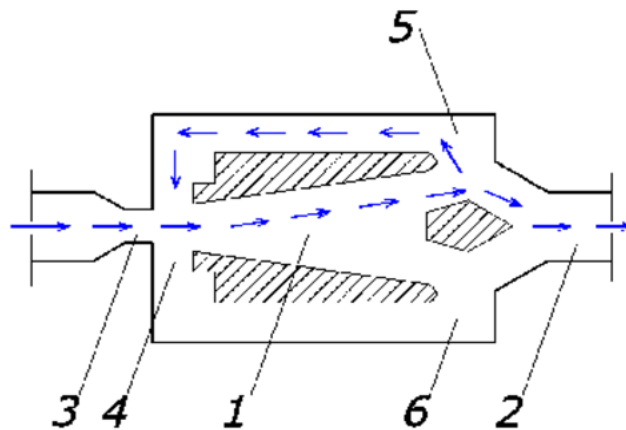


Рисунок 2.5. Вихровий витратомір із зворотнім гідравлічним зв'язком:  
1 – сопло, 2 – сопло, 3 – дифузор, 4 – обвідний канал нижній, 5 – патрубок,  
6 – обвідний канал верхній [14]

Витратоміри кожної групи знайшли застосування в різних галузях і використовуються зазвичай при різних діапазонах витрат, це пояснюється їх конструктивним виконанням [8, 12].

Витратомірам з тілами обтікання характерна мала металоємність, через це їх відносно легко монтувати в трубопроводі, що мають великі діаметри. Слід зазначити, що частота вихроутворення пропорційна швидкості потоку в місці

обтікання тіла, отже зв'язок між значеннями витрати і частотою залежить від постійності епюри швидкостей за перерізом потоку протягом вимірювання [8].

Найвищу стабільність характеристик та їх незалежність від способів установки приладу і характеристик вимірюваного середовища мають вихрові витратоміри з потоком, який обертається. Проте корпус витратоміру є складовою частиною технологічного трубопроводу і за допомогою штуцерів чи фланців монтується в нього. Металоємність такого приладу значно вища за металоємність витратоміра з тілом обтікання та залежить від його розміру. Витратоміри цієї групи не отримали широкого розповсюдження [8, 11, 13].

Витратоміри зі струменем, що коливається, відрізняються великою металоємністю і високою складністю виробництва, у зв'язку з чим використовуються для вимірювання малих витрат [8, 11].

Серед розглянутих витратомірів найбільш повно задовольняють умовам одночасного виконання різних вимог, які висуваються до приладів новітнім рівнем технологічних процесів, прилади з тілом обтікання.

Найбільшою перевагою таких витратомірів є незначний вплив фізичних параметрів вимірюваного потоку на метрологічні характеристики [8, 12].

## 2.2. Різновиди тіл обтікання

Для створення стійких та регулярних вихорів у витратомірах застосовують тіла обтікання різних просторових форм [8, 11, 14 – 16]: призми, циліндри, кулі, пластини тощо (рис. 2.6).



Рисунок 2.6. Форми тіл обтікання [14]



Для розширення області чисел Рейнольдса, у якій створюються регулярні вихори, зменшення лобового опору ТО і підвищення стабільності вихроутворення, у тілі обтікання передбачається пристрій для відсмоктування пограничного шару. Це отвори різної форми, щілини, що розміщуються паралельно твірній тіла обтікання (рис. 2.7). Такі канали призначені для виконання в процесі вихроутворення ролі каналів зворотного зв'язку [8, 11, 15, 16].

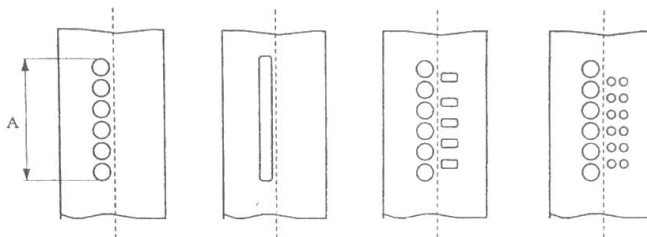


Рис. 2.7. Отвори, які розміщуються паралельно твірній ТО [15]

При визначенні розмірів тіла обтікання необхідно зважати, що його розмір має складати не більш 35 % від діаметру корпусу, а оптимальні значення знаходяться у діапазоні від 20 % до 25 %. Якщо не дотримуватись цієї вимоги, змінюється картина вихроутворення і зростає перепад тиску [8, 15].

### 2.3. Перетворювачі вихрових коливань

У вихрових витратомірах перетворення витрати в корисний сигнал здійснюється в два етапи. На першому етапі виникають осцилюючі або пульсуючі струмені, швидкості або частота пульсацій тиску яких пропорційна об'ємній витраті. Далі ці пульсації перетворюються у електричний вихідний сигнал, а пристрій для виконання цієї операції називається – приймач-перетворювач вихрових коливань (ППВК) [8].

Зараз промисловістю виробляються ультразвукові вихрові лічильники, вихро-акустичні лічильники-витратоміри, вихрові лічильники, лічильники з вихровим електромагнітним перетворювачем, у яких застосовуються мікропроцесори [8, 13, 15].

Виробники вихрових витратомірів застосовують різні вторинні перетворювачі: ультразвуковий, ємнісний, інтегруючий, індуктивний і ін. [10].

ППВК поділяють на такі групи [16]:

- коливні з частотою вихорів,
- нерухомі.

До першої групи відносяться [16]:

- ТО на гнучкій основі,
- елемент, який коливається у вихровій доріжці,

До другої групи відносять [16]:

- оптичні перетворювачі,
- термістори,
- струминні елементи,
- термоанемометри,
- мембрани з тензомером,
- ультразвукові перетворювачі.

У деяких моделях витратомірів з тілом обтікання і з процесією струменю в якості ППВК використовуються перетворювачі тиску, які складаються з мембрани і тензометра. Найчастіше у витратомірах застосовують п'єзоелектричні тензометри, через те, що за умов зміни температури вимірюваного середовища, напівпровідникові або провідникові тензометри не можуть використовуватися. У перетворювачах тиску зазвичай використовують п'єзоелектричну кераміку, яка виготовлена із свинцю або цирконата титану, яка може працювати при високих та низьких температурах. Чутливість такого приймача-перетворювача вихрових коливань складає до 3 мВ/бар, з огляду на це в електричних схемах застосовуються спеціальні мікросхеми, п'єзоелектричні трансформатори, це підвищує вартість електричної схеми витратоміру [8, 16].

Інколи термоанемометри і перетворювачі тиску поєднуються в одній схемі для того, щоб розширити діапазон вимірювання. За рахунок цього електрична частина у витратомірі ще більше ускладнюється [16].

					<i>МД ПМ01мп08.000.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Принцип роботи витратомірів з ультразвуковим визначенням вихрових коливань ґрунтується на тому, що умови поширення ультразвуку через вихрову формацію відрізняються від проходження потоку з рівномірною течією рідини. За ТО в таких витратомірах встановлені приймач і випромінювач ультразвукових хвиль. Параметр сигналу в приймачі змінюється при проходженні вихору між приймачем і випромінювачем. Реєструється або зміна фази сигналу, або час проходження сигналу потоком, або зміна амплітуди сигналу [8, 16].

Оптичні перетворювачі, що ґрунтуються на проходженні світла через воду, застосовуються вкрай рідко, переважно за лабораторних умов для вивчення вихроутворення. Їх використання можливе лише для незабруднених рідин, через те, що неприпустимо забруднювати оптичні елементи. Але якщо поєднати їх з іншими елементами, такими як струни, коливальні пластини, їх використання має перспективи [8, 16].

Зазвичай надійність, потужний вихідний сигнал і простоту може забезпечити приймач-перетворювач вихрових коливань з елементом, що коливається, у вихровому потоці. Такі струни, прапорці, пластинки можуть бути розміщені як за тілом обтікання, так і безпосередньо всередині каналів зворотного зв'язку [8, 16].

Приймачі-перетворювачі вихрових коливань другої групи складаються з чутливого елемента – тіла, яке сприймає впливи вихрової доріжки і електронної схеми, що необхідна для перетворення коливання чутливого елемента в електричний сигнал. ППВК реагують на зміну температури, швидкості, тиску або інших характеристик потоку відповідно до виду вимірюваних коливань [16].

В вимірювальному перетворювачі, що розробляється, з обох боків тіла обтікання встановлені два напівпровідникові термоанемометри.

					<i>МД ПМ01мп08.000.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

### 3. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИТРАТОМІРА

Утворення вихорів залежить від в'язкості. Позаду тіла обтікання утворюється подвійний ланцюг зривистих вихорів. Швидкість вихору можна знайти використовуючи основні положення теорії [8, 9, 15]:

$$u = \frac{\Gamma}{2\sqrt{2}l} = \frac{\pi r^2 \omega}{\sqrt{2}l} = \frac{\pi d v}{2\sqrt{2}l}, \quad (3.1)$$

$$\Gamma = \oint v dS = \oint \omega r \cdot r d\varphi = \omega r^2 \Big|_0^{2\pi} = 2\pi r^2 \omega, \quad (3.2)$$

де  $S$  – живий переріз вихору,  $\Gamma$  – циркуляція,  $\omega$  – кутова частота,  $l$  – відстань між вихорами,  $v$  – швидкість потоку [8, 15].

Коефіцієнт Струхаля – це безрозмірне характеристичне число, яке є одним із критерій подібності нестационарних потоків рідин і газів. При зміні доріжки на величину  $l$ , вся картина переміщення вихорів повторюється. Таким чином період буде дорівнювати

$$T = \frac{l}{v-u}, \quad (3.3)$$

виходячи з цього, частоту утворення вихорів можна розрахувати за виразом

$$f = \frac{v-u}{l} = \left(1 - \frac{u}{v}\right) \frac{d}{l} \cdot \frac{v}{d}, \quad (3.4)$$

таким чином, коефіцієнт Струхаля можна визначити за виразом (3.5) [15]

$$Sh = \left(1 - \frac{u}{v}\right) \frac{d}{l}, \quad (3.5)$$

де  $d$  – характерний розмір ТО.

					<i>МД ПМ01мн08.000.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Важливою ознакою вихроутворення при обтіканні нерухомих тіл є те, що в процесі утворення вихорів бере участь не весь потік, а лише та його частина, яка контактує з ТО.

Якщо швидкість  $v_1$  в перерізі трубопроводу з площею  $S_1$  то швидкість  $v_2$  в переріз з площею  $S_2$  поруч з тілом обтікання (рис. 3.1). Для цього випадку рівняння нерозривності потоку має наступ вигляд:

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 . \quad (3.6)$$

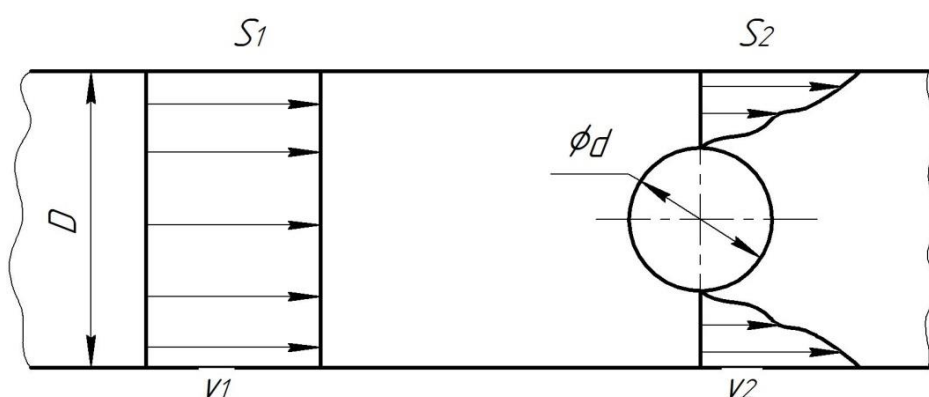


Рисунок 3.1. Розподіл швидкостей при обтіканні циліндру:  $D$  – діаметр трубопроводу,  $d$  – діаметр ТО,  $v_1$  – швидкість у перерізі  $S_1$ ,  $v_2$  – швидкість у перерізі  $S_2$

Частота вихроутворення пропорційна швидкості вимірюваного потоку біля ТО:

$$f = Sh \frac{v}{d}, \quad (3.7)$$

Отже, при постійному розмірі ТО ( $d$ ) частота  $f$  пропорційна об'ємній витраті  $Q$  і швидкості вимірюваного потоку. Залежність задається рівнянням

$$Q = (s \times d / Sh) f, \quad (3.8)$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

де  $s$  – площа найменшого поперечного перерізу потоку навколо ТО [9, 15].

Співвідношення перерізів  $m$  ТО  $S_2$  і трубопроводу  $S_1$  розраховується за формулою [9]

$$m = 1 - \frac{2}{\pi} \left[ \frac{d}{D} \sqrt{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2} + \sin^{-1} \frac{d}{D} \right], \quad (3.9)$$

а для значення  $\frac{d}{D} \leq 0,35$  рівняння (3.9) набуває виду

$$m = 1 - 1,25 \frac{d}{D}, \quad (3.10)$$

З урахуванням формул (3.8) і (3.10) для витрати можна записати наступне рівняння [9, 15]

$$Q = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{1}{sh} \cdot \frac{d}{D} \left( 1 - 1,25 \frac{d}{D} \right) D^3 f. \quad (3.11)$$

Робочий діапазон вихрового витратоміра окреслюється наступними умовами:

– нижня межа – мінімальними числами Рейнольдса, за яких коефіцієнт Струхалія залишається незмінним,

– верхня межа – максимальними числами Рейнольдса, за яких коефіцієнт Струхалія є сталим [8, 15].

					<i>МД ПМ01мн08.000.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

## 4. РОЗРАХУНОК МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИТРАТОМІРА

Основними метрологічними характеристиками для вихрового витратоміра є статична характеристика, похибка вимірювання, діапазон вимірювання, втрата тиску.

Статична характеристика перетворення є залежністю вихідного сигналу від вхідного.

Похибка вимірювання характеризує відхилення результату вимірювання від дійсного значення вимірюваної величини.

Важливою характеристикою витратоміра є створюваний ним перепад тиску, що визначається різницею тисків у вхідному і вихідному патрубках гідравлічної частини приладу.

### 4.1. Статична характеристика

Діапазон вимірювання вихрового витратоміра обмежується незмінністю (сталістю) числа Струхалія при зміні числа Рейнольдса.

Число  $Sh$  для циліндричних тіл обтікання залишається постійним у діапазоні  $10^3 < Re < 2 \cdot 10^5$  [18, 19].

Число Рейнольдса визначається за виразом

$$Re = \frac{\vartheta D}{\nu} = \frac{QD}{\nu S}, \quad (4.1)$$

де  $D$  – гідравлічний діаметр,

$\vartheta$  – швидкість потоку,

$S$  – площа перерізу трубопроводу,

$\nu$  – кінематична в'язкість вимірюваного середовища.

Витрату речовини можна визначити через площу живого перерізу вимірюваного потоку

					<i>МД ПМ01мн08.000.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

$$Q = v \cdot S. \quad (4.2)$$

Відповідно до (4.2) рівняння для швидкості набуває виду

$$v = \frac{Q}{S}. \quad (4.3)$$

Гідравлічний радіус – це геометрична характеристика живого перерізу для форми, яка відрізняється від круглої і визначається за формулою [18]

$$R_{\Gamma} = \frac{S}{x}, \quad (4.4)$$

де  $x$  – змочений периметр.

У випадку вихрового витратоміра маємо:

$$S = S_1 - S_2, \quad (4.5)$$

де  $S_1$  – площа поперечного перерізу за відсутності ТО,

$S_2$  – площа перерізу ТО.

Для досліджуваного випадку отримуємо

$$S = \frac{\pi D^2}{4} - dD. \quad (4.6)$$

Змочений периметр обраховуємо як суму усіх змочуваних довжин

$$x = \pi D + 2(D + d). \quad (4.7)$$

Враховуючи (4.6) і (4.7), для гідравлічного радіусу можна записати

					<i>МД ПМ01мн08.000.00</i>	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$R_{\Gamma} = \frac{\frac{\pi D^2}{4} - dD}{\pi D + 2(D+d)}. \quad (4.8)$$

Відповідно до (4.2) – (4.7) для числа Рейнольдса отримуємо

$$Re = \frac{Q}{S} \cdot \frac{\frac{\pi D^2}{4} - dD}{(\pi D + 2(D+d)) \cdot \nu}. \quad (4.9)$$

Статичну характеристику визначаємо за формулою

$$f = \frac{4ShD}{\pi d \left(1 - 1,25 \frac{d}{D}\right) D^3} Q. \quad (4.10)$$

## 4.2. Похибка вимірювання

Розрахунок похибки виконаємо диференціальним методом.

Відповідно до рівняння (4.10) систематична складова похибки визначення частоти зриву вихорів має вигляд

$$\Delta f = \frac{df}{Q} \Delta Q + \frac{df}{D} \Delta D + \frac{df}{d} \Delta d. \quad (4.11)$$

Після підстановки значень часткових похідних отримуємо

$$\Delta f = \frac{4Sh}{\pi d D^2 - 1,25 d^2 D} \Delta Q - \frac{4ShQ(2 \cdot 1,25 d^2 - \pi d D)}{(\pi d D^2 - 1,25 d^2 D)^2} \Delta D + \frac{4ShQ(2 \cdot 1,25 d D - \pi D^2)}{(\pi d D^2 - 1,25 d^2 D)^2} \Delta d.$$

Відносну похибку визначаємо за виразом

$$\Delta f = \frac{\Delta Q f}{Q} - \frac{(1,25 d^2 - 2 \pi d D) \Delta D f}{(\pi d D^2 - 1,25 d^2 D)} - \frac{(2 \cdot 1,25 d D - \pi D^2) \Delta d f}{(\pi d D^2 - 1,25 d^2 D)}. \quad (4.12)$$

					МД ПМО1мн08.000.00	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 4.3. Втрата тиску

Для визначення статичного тиску в необхідних перерізах перетворювача необхідно знати такі параметри (рис. 4.1):

- площу живого перерізу  $S_{zh}$ ;
- коефіцієнт місцевого опору  $\xi$ ;
- середню швидкість  $v_{сер} = \frac{Q}{S_{zh}}$ ;
- гідравлічний радіус в перерізі  $R_{Г1} = \frac{D}{4}$ .

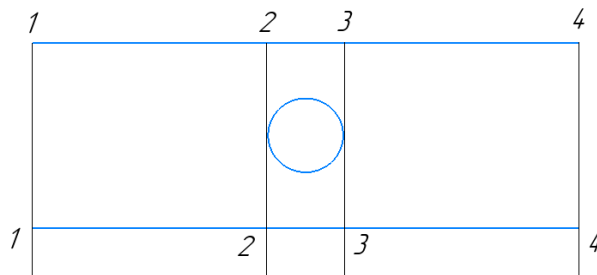


Рисунок 4.1. Схема гідравлічного каналу перетворювача витратоміра, де:  
1-1, 2-2, 3-3, 4-4 – характерні перерізи

Ділянка 1-2 – пряма ділянка незмінного перерізу. Втрата тиску на ній визначається лише втратами за довжиною між перерізами 1-1 і 2-2 [8, 18]

$$P_2 = P_1 - h_l, \quad (4.13)$$

де  $h_l$  – втрати за довжиною.

Для визначення  $h_l$  використовують залежність Дарсі-Вейсбака для круглих трубопроводів [18]:

$$h_l = \frac{\lambda_t}{4R_{Г1}} \cdot \frac{v_{сер}^2}{2g} l, \quad (4.14)$$

де  $\lambda_t$  – лінійний коефіцієнт опору тертя, що залежить від режиму течії потоку

					МД ПМ01мн08.000.00	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$l$  – довжина ділянки.

Для розвинутого турбулентного потоку коефіцієнт опору тертя визначається за формулою [8, 18]

$$\lambda_t = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}. \quad (4.15)$$

Ділянка 2-3 характеризується наявністю тіла обтікання у потоці. Для визначення тиску у перерізі 3-3 необхідно визначити коефіцієнт місцевого опору, спричиненого обтіканням встановленого в потоці тіла.

Відповідно до рівняння Бернуллі вираз для статичного тиску у перерізі 3-3 має такий вигляд

$$P_3 = \frac{\rho_{\text{п}} v_{\text{ср}2}^2}{2} \left( 1 - \frac{S_{z2}^2}{S_{z3}^2} - \xi_{23} \frac{S_{z2}^2}{S_{z3}^2} \right) + P_2, \quad (4.16)$$

У загальному випадку для коефіцієнта місцевого опору при обтіканні тіла можна записати [19]:

$$\xi = k \frac{C_x S_M / S_{zh} (1 - \frac{2y}{D_0})^{3/m}}{(1 - \tau S_M / S_{zh})^3}, \quad (4.17)$$

де  $S_M$  – площа міделя тіла,

$C_x$  – коефіцієнт лобового опору тіла,

$\tau$  – корегувальний коефіцієнт,

$y$  – відстань між вісями тіла та потоку,

$k$  – коефіцієнт нерівномірності розподілу швидкості течії за живим перерізом,

$m$  – показник ступеня.

Коефіцієнт  $k$ , який залежить від режиму руху вимірюваної рідини, для розвинутого турбулентного потоку має вигляд [21]

					<i>МД ПМ01мн08.000.00</i>	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k = \frac{(2m+1)(m+1)}{2m^2}. \quad (4.18)$$

Корегуючий коефіцієнт  $\tau$  визначається залежно від співвідношення площ міделя тіла, що обтікається, та трубопроводу, де його встановлено  $\tau = f(S_m/S_0)$  (табл. 4.1) [19].

Таблиця 4.1 - Значення коефіцієнтів  $C_x$ ,  $\tau$

$D/l$	Коефіцієнт лобового опору						$\tau$
	1,0	2,0	5,0	10	40	$\infty$	
$C_x$	0,63	0,69	0,74	0,82	0,98	1,2	1,0

Беручи до уваги вираз (4.17), коефіцієнт місцевого опору на ділянці між перерізами 2 – 2 та 3 – 3 обраховується за рівнянням

$$\xi_{23} = k \frac{C_{xk} S_{mK} / S_{zh0}}{(1 - \tau S_{mK} / S_{zh0})^3}.$$

З урахуванням залежності (4.17), вираз (4.16) набуває виду:

$$P_3 = \frac{\rho_n v_{cp2}^2}{2} \left( 1 - \frac{S_{zh2}^2}{S_{zh3}^2} - k \frac{C_{xk} S_{mK} / S_{zh0}}{(1 - \tau S_{mK} / S_{zh0})^3} \frac{S_{zh2}^2}{S_{zh3}^2} \right) + P_2,$$

Ділянка 3-4 аналогічна ділянці 1-2. Для визначення тиску у перерізі маємо

$$P_4 = P_3 - h_l. \quad (4.19)$$

Втрата тиску на перетворювачі витрати визначається різницею тисків у вхідному і вихідному перерізах

$$\Delta P = P_1 - P_4. \quad (4.20)$$

## 5. ОПТИМІЗАЦІЯ ВИХРОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ВИТРАТИ З ТІЛОМ ОБТІКАННЯ

Бурхливий розвиток комп'ютерних технологій і розширення можливостей обчислювальної гідродинаміки дозволяють здійснювати імітаційні дослідження складних гідродинамічних явищ, що відбуваються у первинних перетворювачах витрати.

Для проведення обчислювального експерименту у випадку вихрового витратоміра з ТО необхідно:

1. Створити в робочому просторі Ansys Workbench проєкт Fluid Flow (Fluent)
2. Створити 2D геометрію вимірюваного потоку.
3. Створити сітку та названі області (named selection) це необхідно для створення майбутнього розрахунку.
4. Встановити необхідні параметри потоку та граничні умови, такі як швидкість потоку та тиск. Встановити кількість ітерацій і час, запустити на виконання.
5. Перейти на вкладку результатів для їх перегляду. Експортувати отримані результати до таблиці для більш точного подальших розрахунків.

### 5.1. Вибір форми тіла обтікання

У Ansys Fluent було досліджено гідродинамічні явища, що виникають при взаємодії тіла обтікання з вимірюваним потоком. При цьому проведено дослід для трьох форм тіл обтікання: циліндр, призма з перерізом у вигляді трапеції, призма з трикутним перерізом (табл. 5.1). Розміри ТО відповідають рекомендаціям [9, 11].

Таблиця 5.1. Геометричні параметри тіл обтікання.

	Діаметр	Основа	Висота
Циліндр (ТО 1)	10 мм	-	-
Трикутна призма (ТО 2)	-	10 мм	13 мм
Призма з перерізом у вигляді трапеції (ТО 3)	-	10 мм, 6 мм	10 мм

					<i>МД ПМ01мн08.000.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Спочатку проведемо моделювання в прямій ділянці трубопроводу з діаметром  $D$ , який рівний 40 мм, при зміні об'ємної витрати від 1 до 40 м<sup>3</sup>/год.

За результатами моделювання визначено: значення тиску та швидкість у контрольних перерізах (рис. 5.1 - рис. 5.3), що дає можливість розрахувати число  $Sh$  і втрату тиску на вимірювальній ділянці.

Отримані результати окреслюють:

- діапазон сталості числа Струхаля, який визначає діапазон вимірювання витрати вихрового перетворювача з тілом обтікання, тобто діапазон витрат, у якому спостерігається стійке вихроутворення (рис. 5.4);
- перепад тиску, який виникає через встановлення у потік вимірюваного середовища тіла обтікання (рис. 5.5).

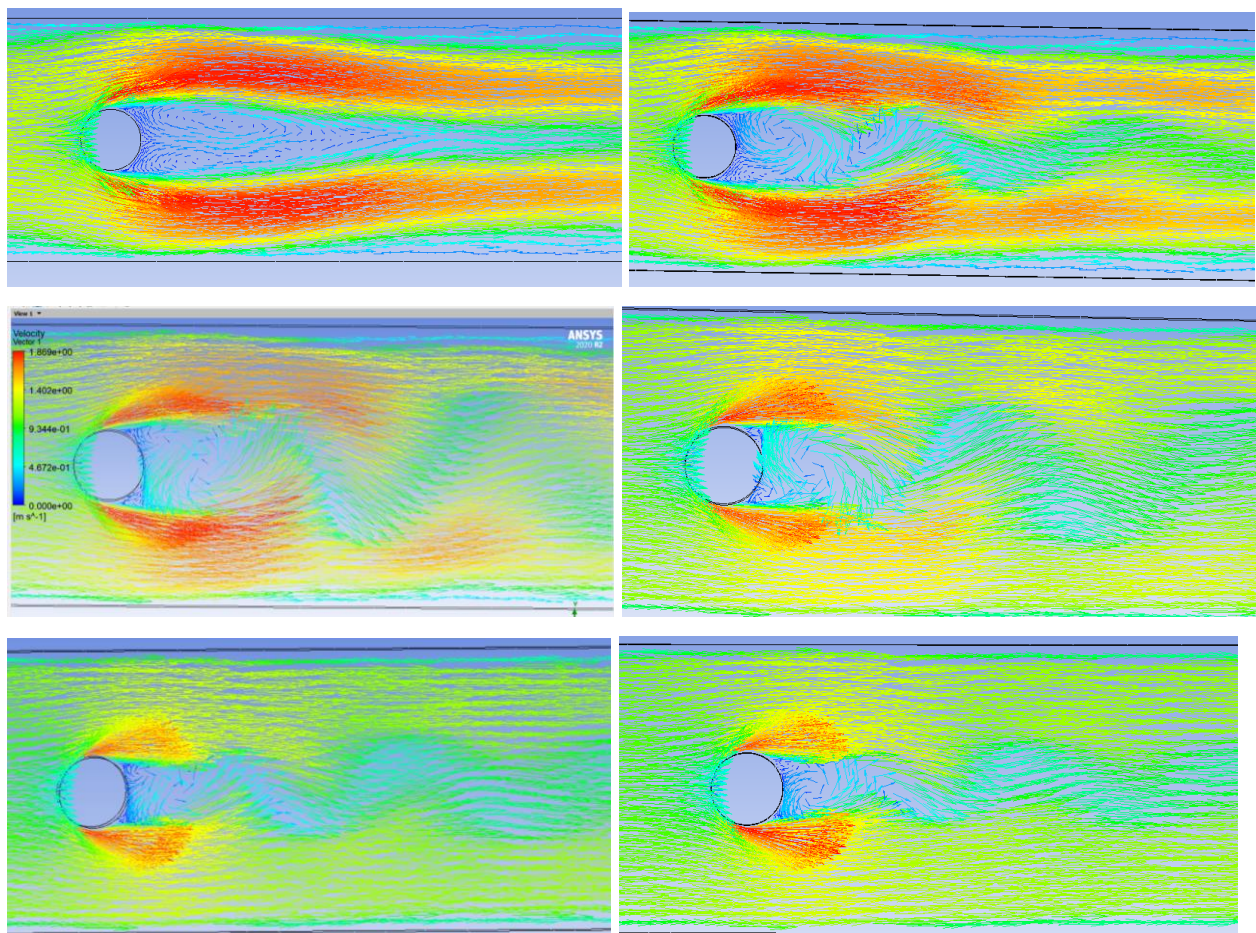


Рисунок 5.1. Епюри розподілу швидкості вздовж вимірювальної ділянки з ТО1 за витрати 1, 2, 5, 15, 25, 30 м<sup>3</sup>/год

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД ПМ01мп08.000.00

Арк.

46



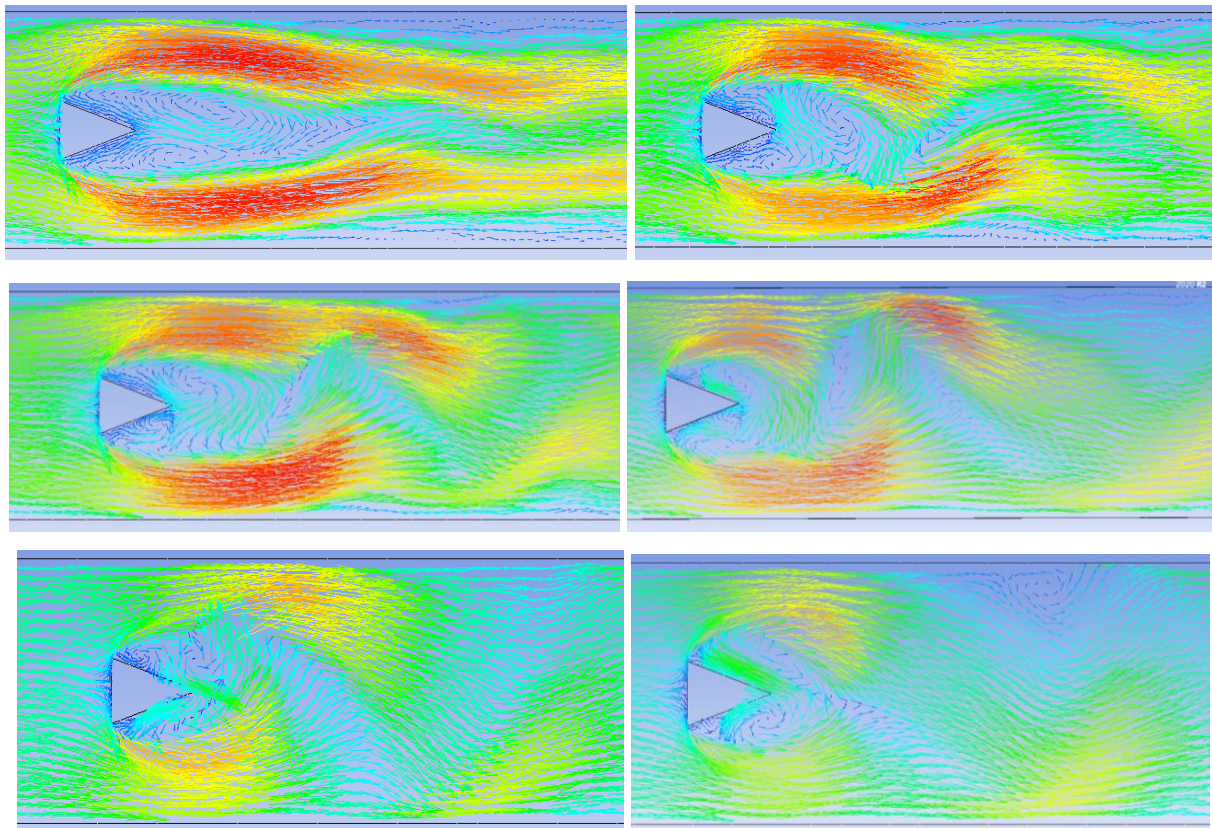


Рисунок 5.2. Епюри розподілу швидкості вздовж вимірювальної ділянки з ТО2 за витрати 1, 2, 5, 15, 25, 30 м<sup>3</sup>/год

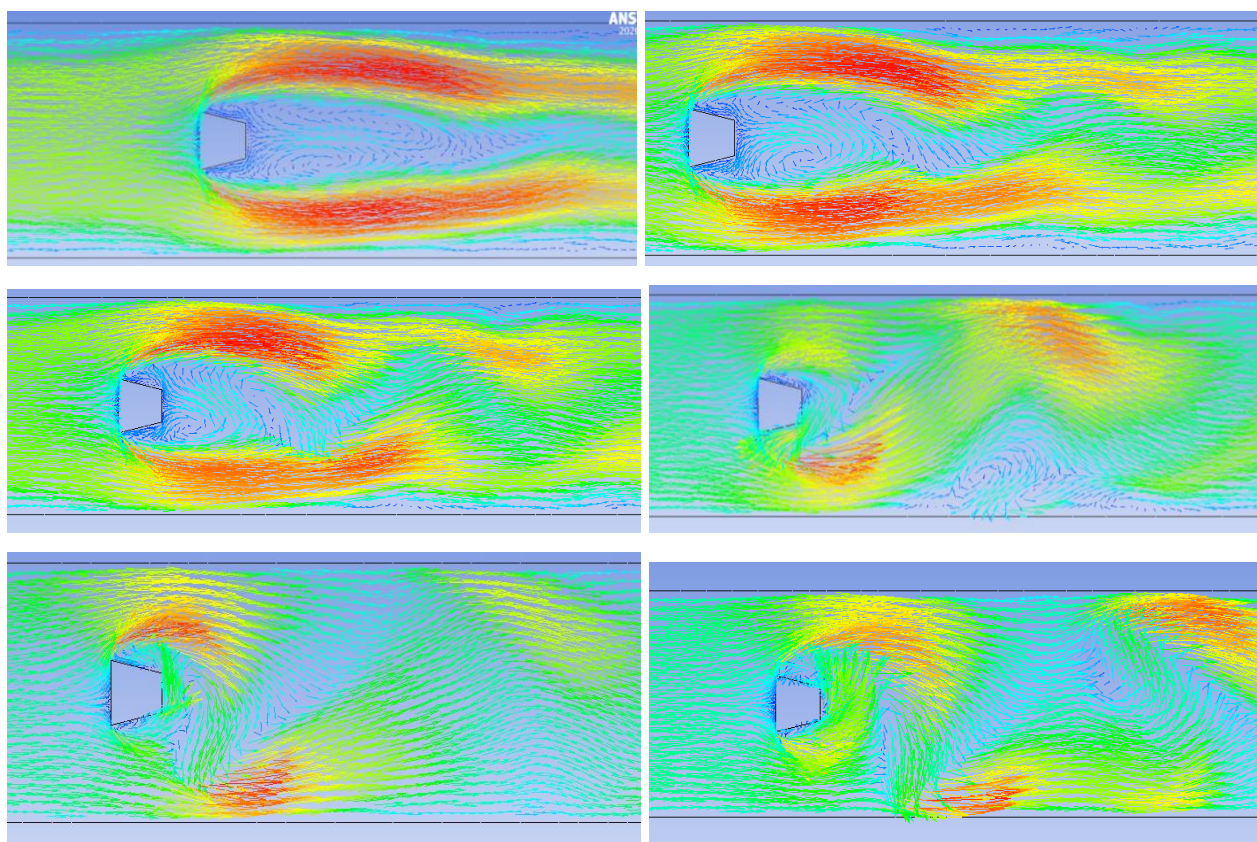


Рисунок 5.3. Епюри розподілу швидкості вздовж вимірювальної ділянки з ТО3 за витрати 1, 2, 5, 15, 25, 30 м<sup>3</sup>/год

					МД ПМ01мн08.000.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

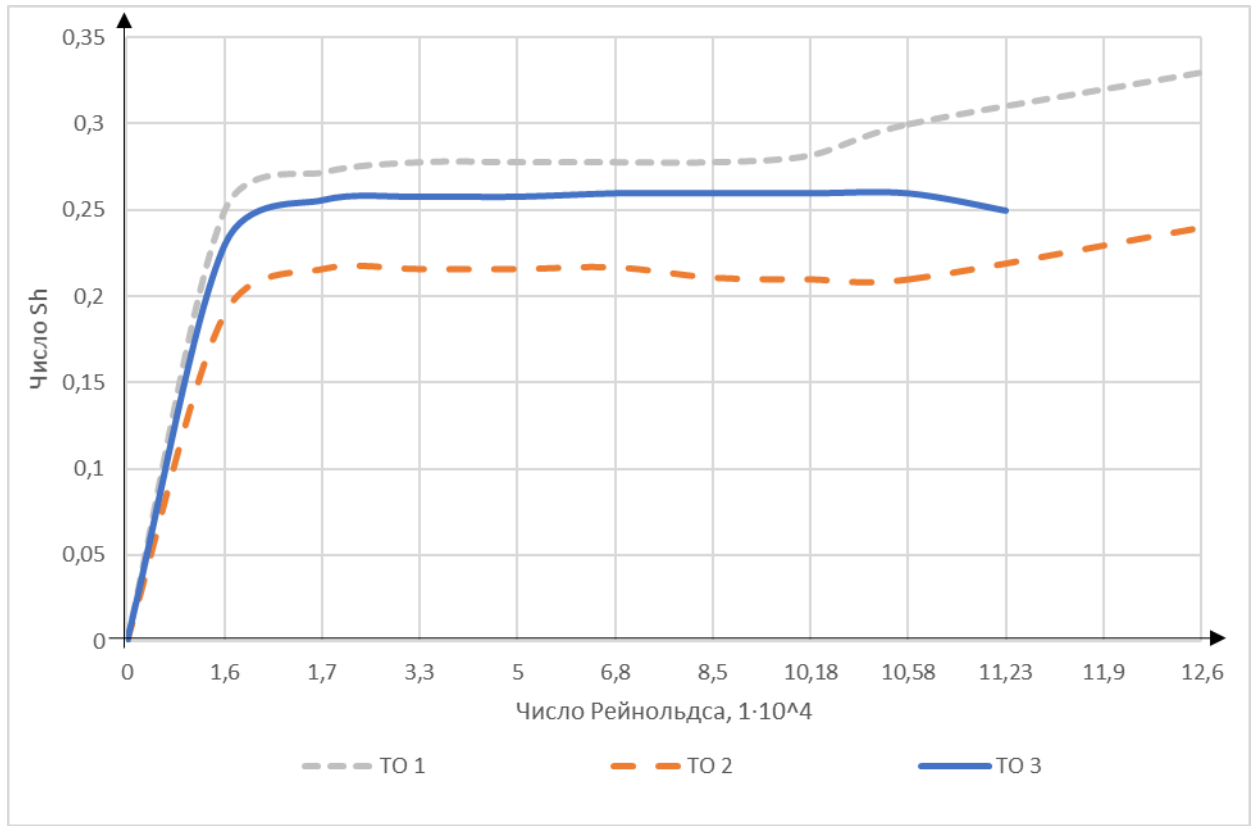


Рисунок 5.4. Залежність числа Струхала від числа Рейнольдса

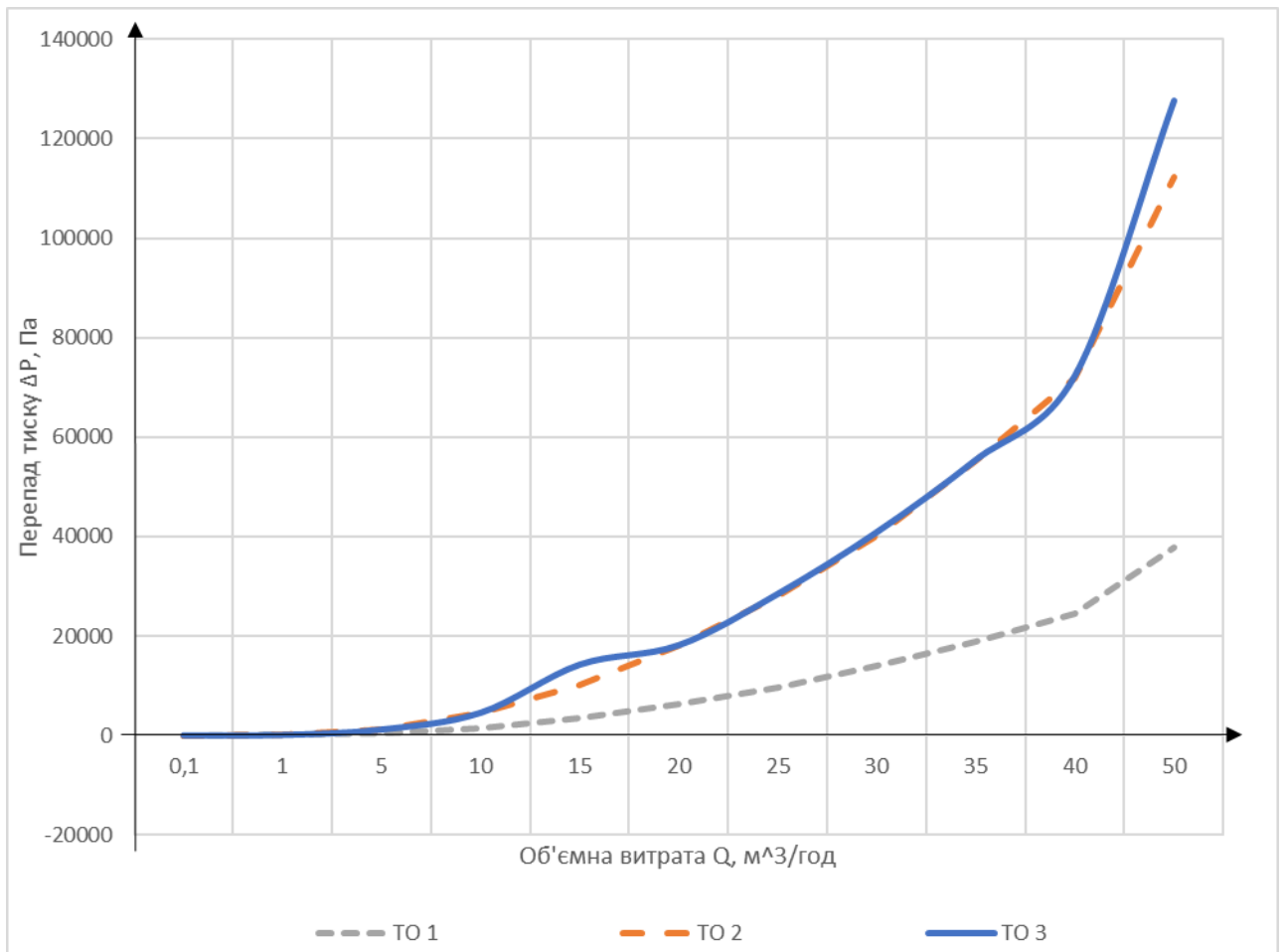


Рисунок 5.5. Залежність перепаду тиску від об'ємної витрати

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД ПМ01мп08.000.00

Арк.

48



Проведене моделювання дає можливість визначити відповідність між діапазонами витрати і сталості числа  $Sh$  (табл. 5.2).

Таблиця 5.2. Результати моделювання

	Діапазон зміни, $Re \cdot 10^4$	Діапазон вимірюваних витрат, $m^3/год$	Перепад тиску за номінальної витрати, кПа
ТО 1	0,6788 ÷ 10,18	2 ÷ 30	8,1
ТО 2	0,9071 ÷ 10,58	3 ÷ 35	32,8
ТО 3	0,6415 ÷ 11,23	2 ÷ 35	33,9

Аналіз результатів моделювання взаємодії вимірюваного потоку з тілом обтікання трьох різних форм показує, що найширший діапазон вимірювання, забезпечує тіло обтікання у формі призми з перерізом у вигляді трапеції, що підтверджується сталістю числа Струхалія; у той же час втрати тиску найменші для циліндричного тіла обтікання.

Отримані результати дозволили виявити форму ТО, що забезпечує найбільш широкий діапазон вимірювання.

Одним із важливих показників впливу вимірюваного перетворювача витрати на потік є втрата тиску потоку при проходженні його крізь прилад. Тому необхідно при проектуванні витратомірів додатково вирішувати оптимізаційну задачу.

Розв'язання такої задачі передбачає: вибір критеріїв оптимізації; параметрів перетворювача витрати, що впливають на значення критерію; граничних умов на зазначені параметри; побудову алгоритму; реалізацію розробленого алгоритму і аналіз результатів [20].

Метою оптимізації є пошук параметрів ТО і конфігурації гідравлічного каналу витратоміра, що забезпечать мінімальні втрати тиску за високої точності вимірювання у широкому діапазоні витрат.

Застосуємо коефіцієнт ефективності [21]

$$K_{\text{Еф}} = \frac{\Delta P}{1 - \delta},$$

					<i>МД ПМ01мн08.000.00</i>	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $\Delta P$  – втрата тиску потоку;  $\delta$  – похибка вимірювального перетворювача витрати.

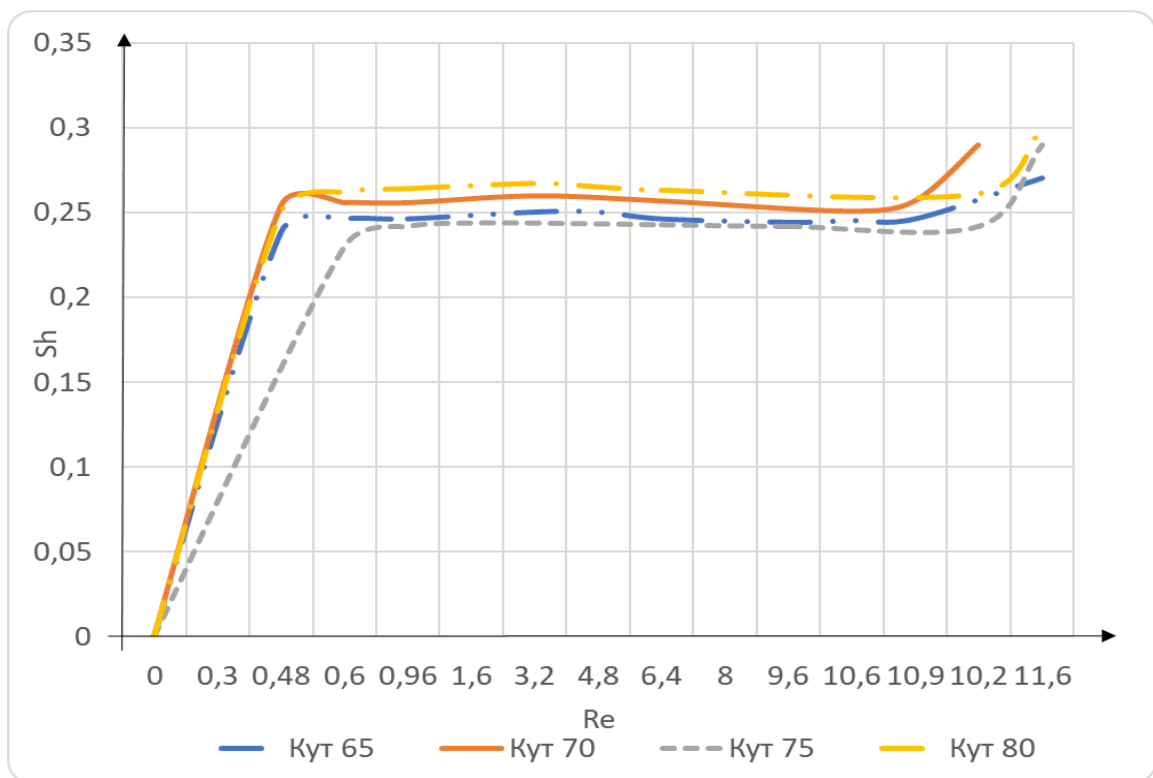
## 5.2. Оптимізація форми тіла обтікання

Для ТО обраної форми характерними розмірами є кут біля основи трапеції і висота трапеції.

Проведено моделювання призми з перерізом у вигляді трапеції при зміні кута біля основи у межах від  $65^\circ$  до  $80^\circ$  (табл. 5.3, рис. 5.6, рис. 5.7).

Таблиця 5.3. Результати моделювання

Кут при основі	Діапазон зміни, $Re \cdot 10^4$	Діапазон вимірюваних витрат, $m^3/год$	Перепад тиску за номінальної витрати, кПа	Коефіцієнт ефективності	Частота вихроутворення за номінальної витрати, 1/с
$65^\circ$	$0,48 \div 10,9$	$1,5 \div 34$	33,3	$6.837 \cdot 10^{-4}$	204.894
$70^\circ$	$0,32 \div 10,9$	$1 \div 34$	34,5	$7.083 \cdot 10^{-4}$	208.226
$75^\circ$	$0,64 \div 11,2$	$2 \div 35$	35,3	$7.192 \cdot 10^{-4}$	210.063
$80^\circ$	$0,48 \div 11,2$	$1,5 \div 35$	35	$7.131 \cdot 10^{-4}$	222.924



Рисунко 5.6. Залежність числа Струхала від числа Рейнольдса

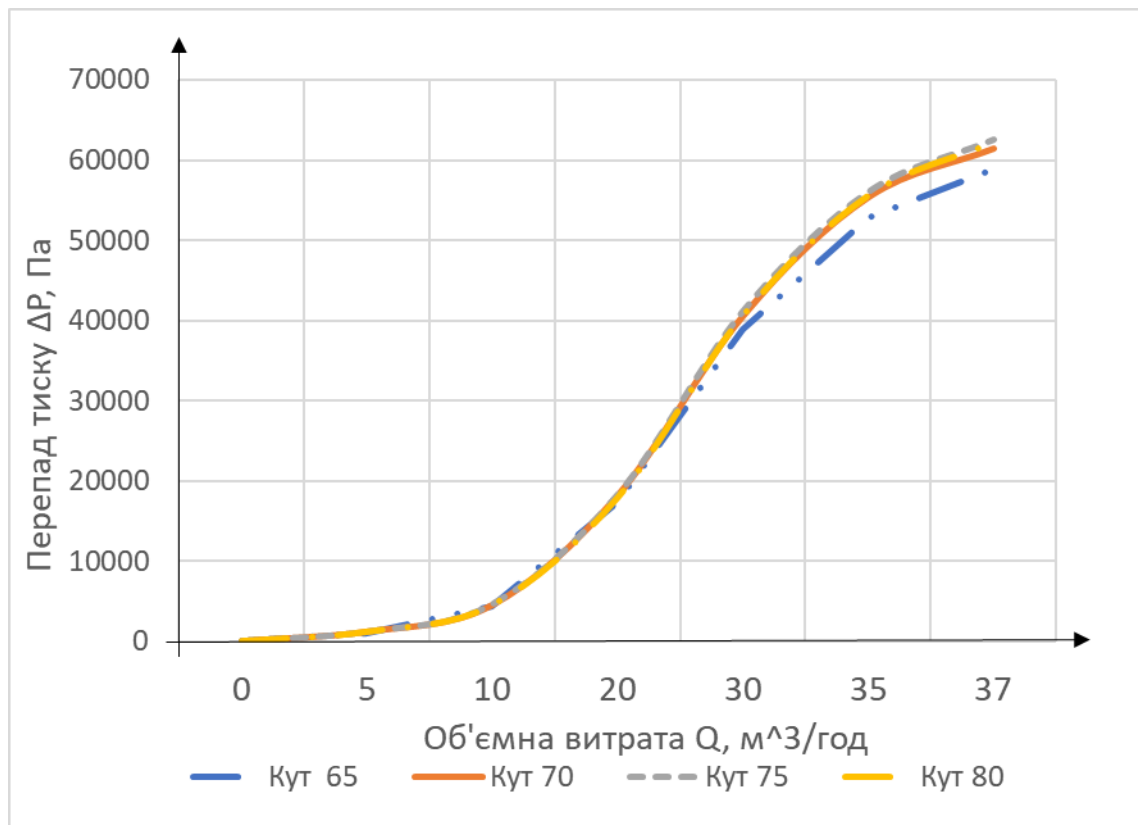


Рисунок 5.7. Залежність перепаду тиску від об'ємної витрати

Відповідно до отриманих результатів найбільш широкий діапазон вимірювання витрати досягається за кута біля основи, що становить 80°. При цьому найменша втрата тиску при куті 65°.

Проведено дослідження для оцінки впливу висоти трапеції (при цьому кут біля її основи становить 80°) на метрологічні показники приладу. Результати моделювання і розрахунків наведено у табл. 5.4.

Таблиця 5.4. Результати моделювання

Висота трапеції, мм	Діапазон зміни, $Re \cdot 10^4$	Діапазон вимірюваних витрат, $м^3/год$	Перепад тиску за номінальної витрати, кПа	Коефіцієнт ефективності за номінальної витрати	Частота вихроутворення за номінальної витрати, 1/с
7	0,44 ÷ 11,07	1,4 ÷ 34,5	35,3	$7.219 \cdot 10^4$	223.965
10	0,48 ÷ 11,20	1,5 ÷ 35	35	$7.131 \cdot 10^4$	225.496
13	0,44 ÷ 11,3	1,4 ÷ 35,5	33,21	$6.557 \cdot 10^4$	209.803
16	0,48 ÷ 11,26	1,5 ÷ 35,1	34,63	$7.049 \cdot 10^4$	203.93

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

МД ПМ01мн08.000.00

Арк.

51

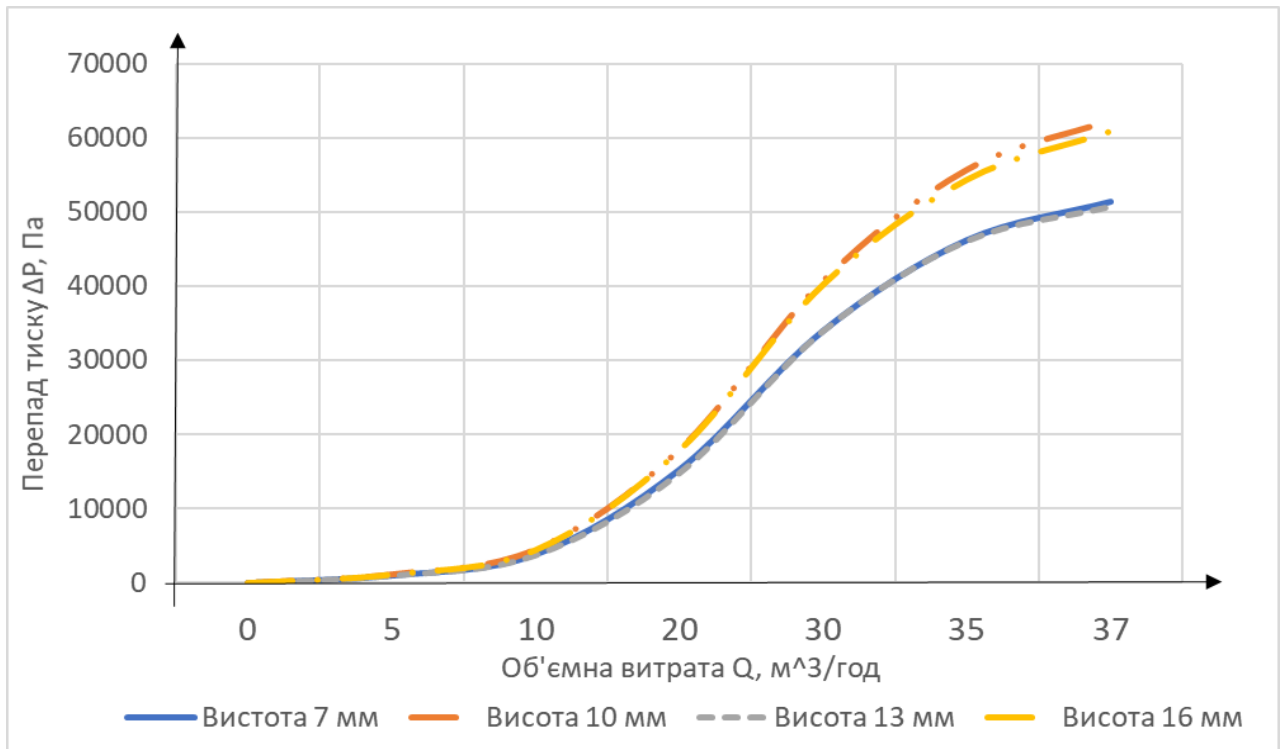


Рисунок 5.8. Залежність перепаду тиску від об'ємної витрати

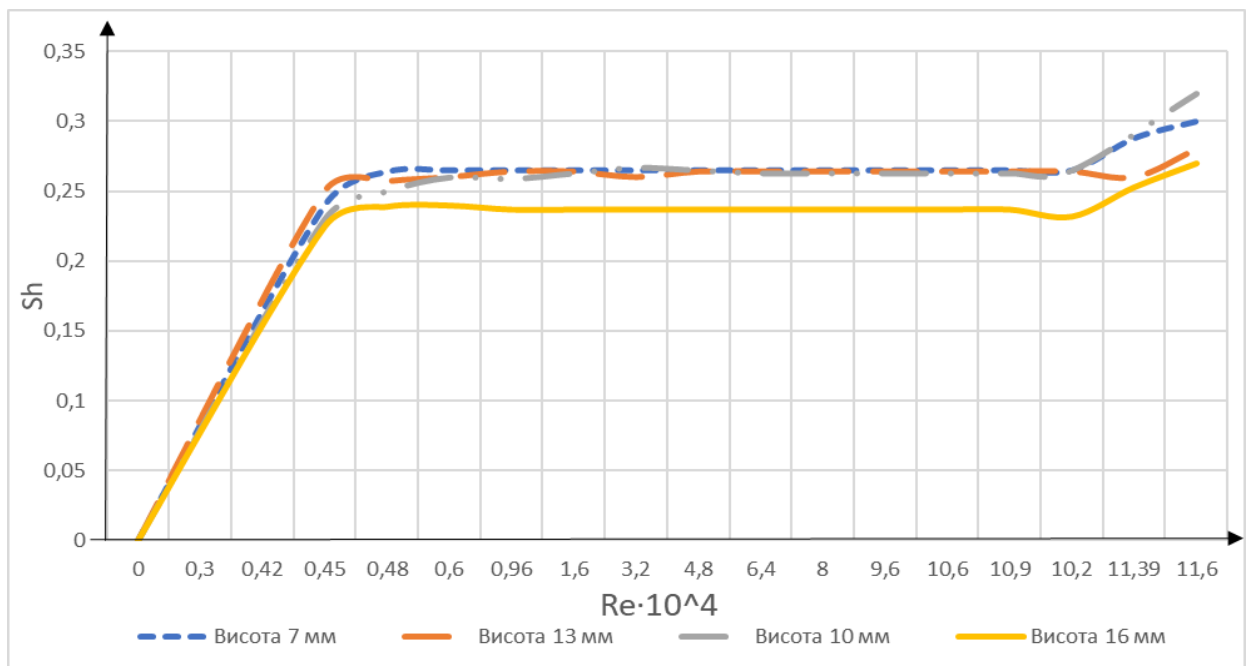


Рисунок 5.9. Залежність числа Струхала від числа Рейнольдса

Аналіз результатів моделювання (рис. 5.8, рис. 5.9) показав, що найбільш широкий діапазон вимірювання витрати спостерігається за висоти трапеції, що становить 13 мм. Обираємо таке ТО для подальших досліджень

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД ПМ01мп08.000.00

Арк.

52

Для оптимального ТО розраховано похибку диференціальним методом (рис. 5.10).

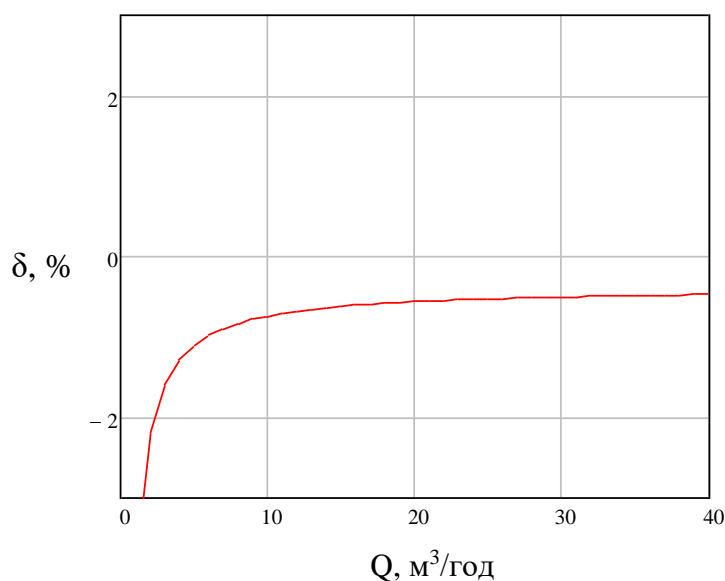


Рисунок 5.10. Графік похибки вимірюваного перетворювача

Порівняємо діапазони вимірювань і величину втрат тиску для ТО до і після оптимізації (рис. 5.11, рис. 5.12).

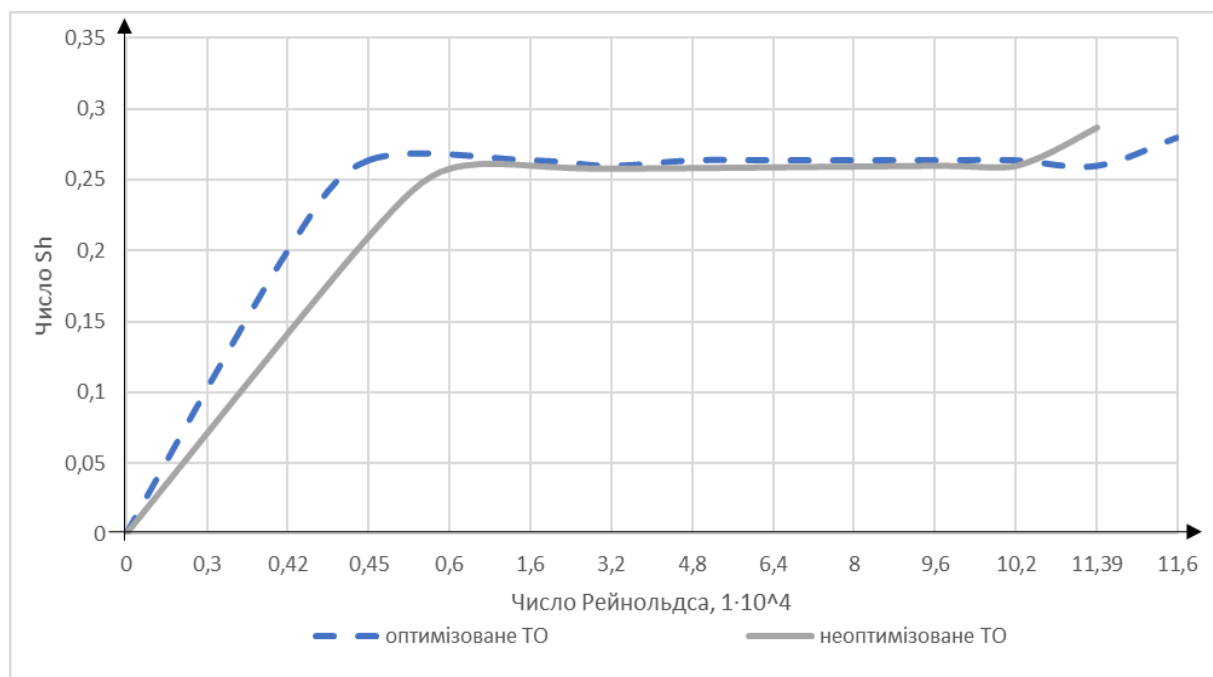


Рис. 5.11. Залежність числа Струхала від числа Рейнольдса

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД ПМ01мн08.000.00

Арк.

53

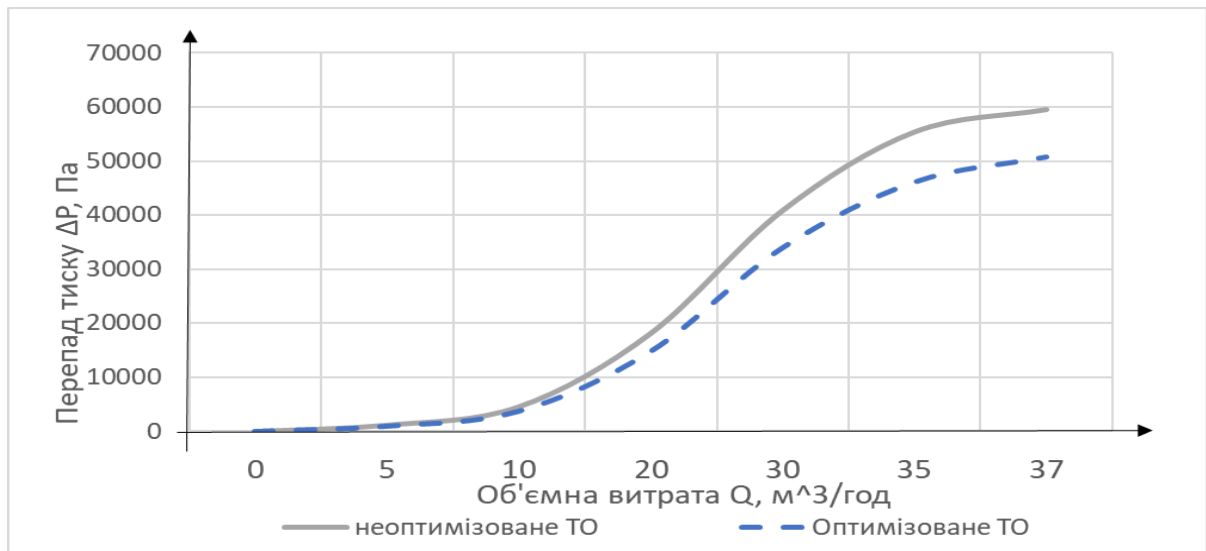


Рис. 5.12 Залежність перепаду тиску від об'ємної витрати

### 5.3. Вплив конфігурації гідравлічного каналу на метрологічні характеристики витратоміра

Для дослідження впливу конфігурації гідравлічного каналу на метрологічні характеристики витратоміра запропоновано доповнити геометричну модель первинного перетворювача конфузornoю і дифузornoю ділянками (рис. 5.13).

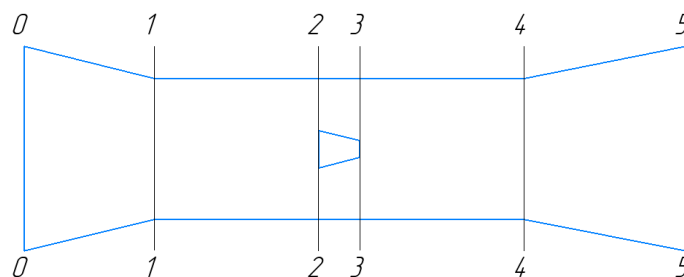


Рисунок 5.13. Схема гідравлічного каналу перетворювача витратоміра.

1-1, 2-2, 3-3, 4-4, 5-5, 6-6 – характерні перерізи

Ділянка між перерізами 0-0 та 1-1 являє собою конфузор, тому для коефіцієнту місцевого опору  $\xi_{01}$  можна записати [18, 19]:

$$\xi_{01} = \frac{\lambda_{\text{конф}}}{8 \sin \frac{\gamma}{2}} \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right),$$

де  $\lambda_{\text{конф}}$  – коефіцієнт опору тертя.

Ділянка між перерізами 4–4 та 5–5 представляє собою дифузор, тому для коефіцієнту місцевого опору  $\xi_{45}$  можна записати [18, 19]:

$$\xi_{45} = \frac{\lambda_{\text{диф}}}{8 \sin \frac{\gamma}{2}} \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right) + \sin \gamma \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right),$$

де  $n$  – ступінь розширення потоку,  $\lambda_{\text{диф}}$  – коефіцієнт опору тертя.

Спочатку досліджуємо конфузор, оптимальний діапазон зміни його кута складає  $8^\circ$ - $24^\circ$  [22].

Відповідно до отриманих результатів найбільш широкий діапазон вимірювання витрати досягається з конфузорою ділянкою, кут якої дорівнює  $24^\circ$ , при цьому перетворювач більш чутливий за інші та має найменший перепад тиску (табл. 5.5, рис. 5.14, рис. 5.15).

Таблиця 5.5. Результати моделювання

Кут конфузора	Діапазон зміни, $Re \cdot 10^4$	Діапазон вимірюваних витрат, $m^3/\text{год}$	Перепад тиску за номінальної витрати, кПа	Коефіцієнт ефективності за номінальної витрати	Частота вихроутворення за номінальної витрати
$8^\circ$	0,43÷10,58	1,35 ÷ 33	108,36	$2.243 \cdot 10^5$	204.527
$12^\circ$	0,42÷10,3	1,3 ÷ 32	105,06	$2.194 \cdot 10^5$	199.897
$16^\circ$	0,42÷10,1	1,3 ÷ 31,5	72,57	$1.523 \cdot 10^5$	196.002
$20^\circ$	0,42÷9,9	1,3 ÷ 31	70,85	$1.494 \cdot 10^5$	201.244
$24^\circ$	0,42÷9,6	1,2 ÷ 30	66,7	$1.421 \cdot 10^5$	185.198

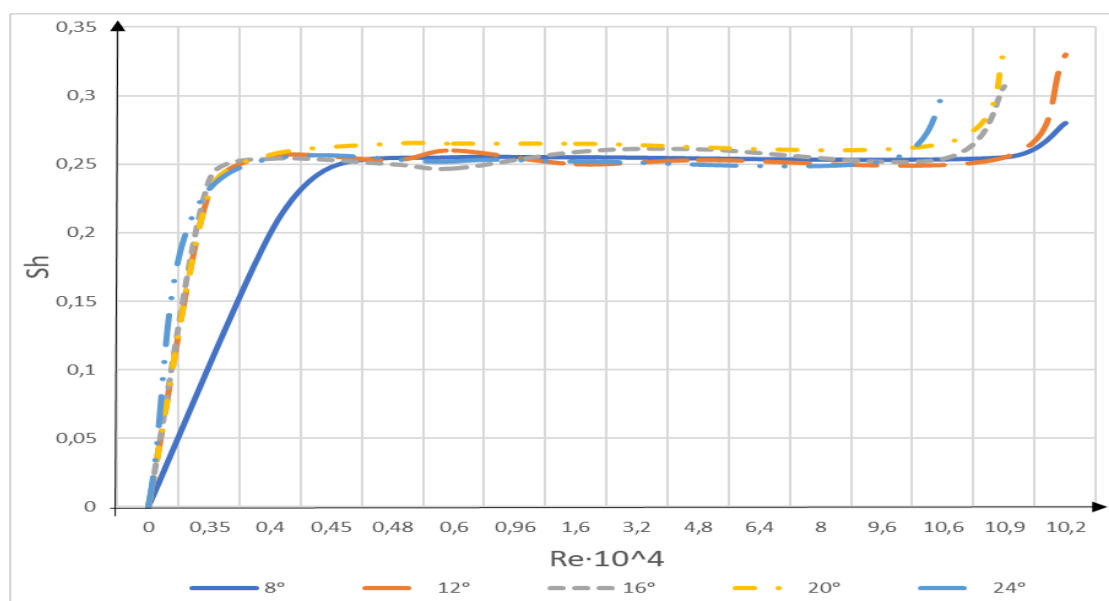


Рисунок 5.14. Залежність числа Струхала від числа Рейнольдса

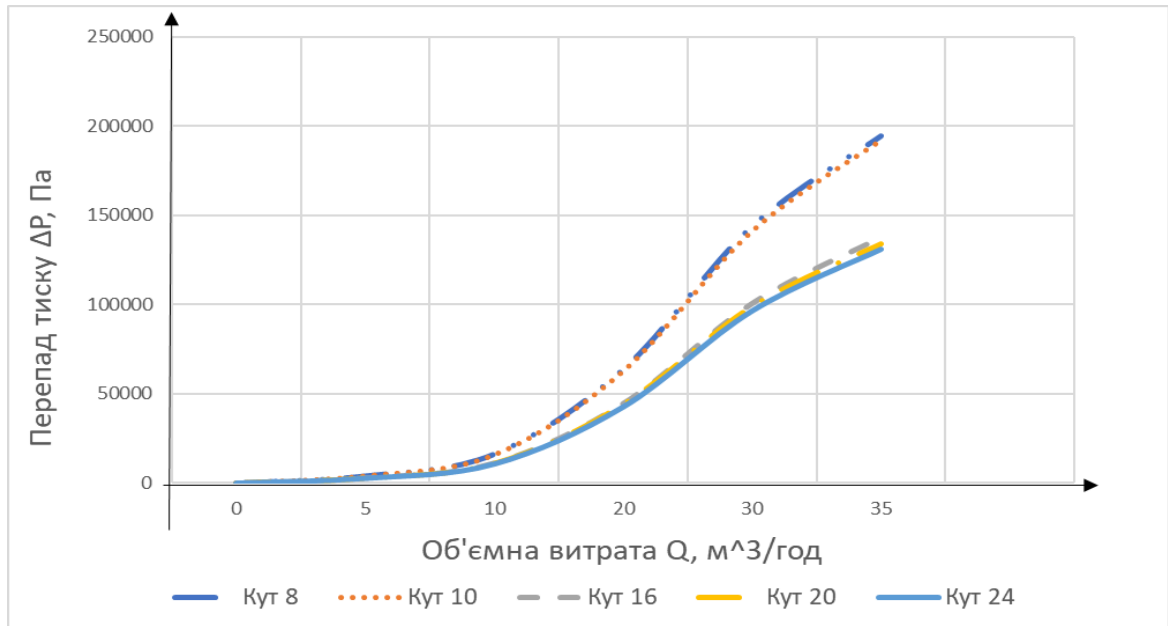


Рисунок 5.15. Залежність перепаду тиску від об'ємної витрати

Проведено моделювання при встановленні дифузornoї ділянки, оптимальний кут повинен знаходитись в межах від 6° до 15° [22].

Аналіз результатів моделювання показав, що найширший діапазон вимірювання витрати досягається для кута дифузора 12° (табл. 5.5, рис. 5.16, рис. 18).

Таблиця 5.5. Результати моделювання

Кут дифузора	Діапазон зміни, $Re \cdot 10^4$	Діапазон вимірюваних витрат, м <sup>3</sup> /год	Перепад тиску за номінальної витрати, кПа	Коефіцієнт ефективності за номінальної витрати	Частота вихроутворення за номінальної витрати, 1/с
6°	0,38÷8,3	1,2 ÷ 26	61	$1.367 \cdot 10^5$	171.97
8°	0,48÷8,7	1,5 ÷ 27	61,8	$1.365 \cdot 10^5$	177.261
10°	0,38÷8,7	1,2 ÷ 27	63,3	$1.398 \cdot 10^5$	172.631
12°	0,42÷9,6	1,3 ÷ 30	72,7	$1.348 \cdot 10^5$	190.343
15°	0,48÷9,6	1,5 ÷ 30	48,8	$1.04 \cdot 10^5$	205.776

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД ПМ01мн08.000.00

Арк.

56



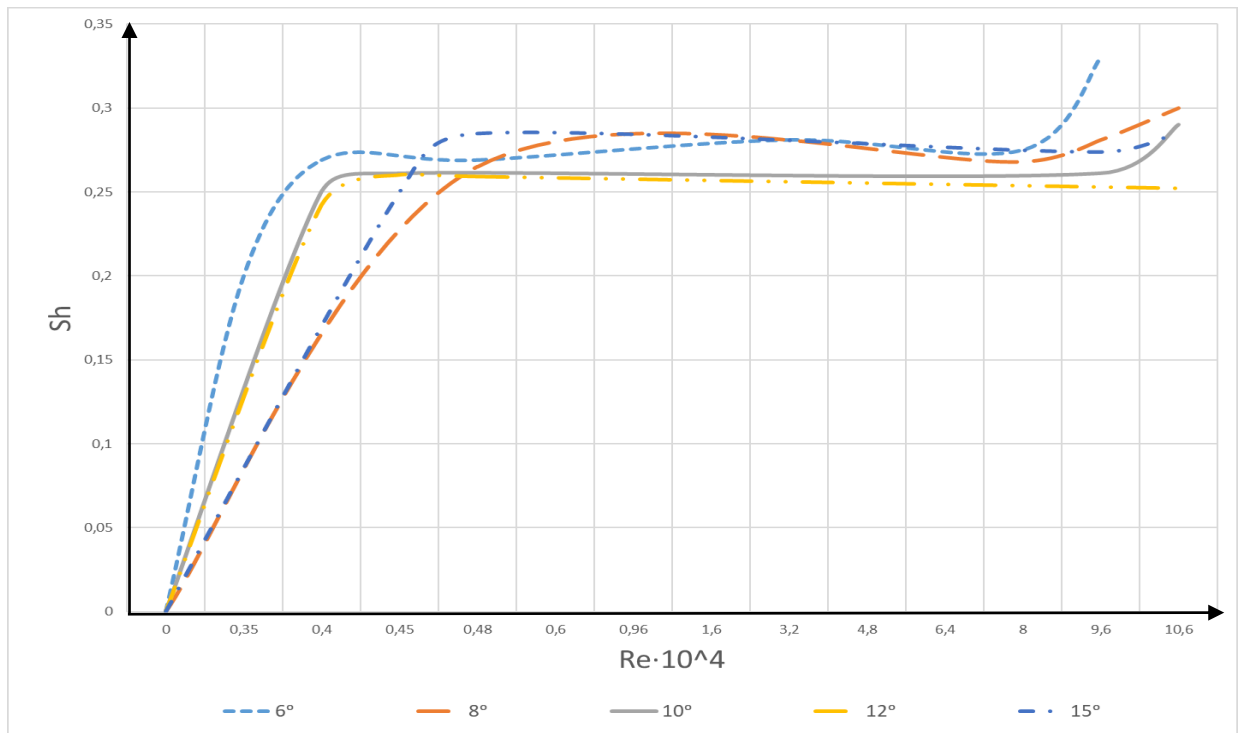


Рисунок 5.16. Залежність числа Струхалія від числа Рейнольдса

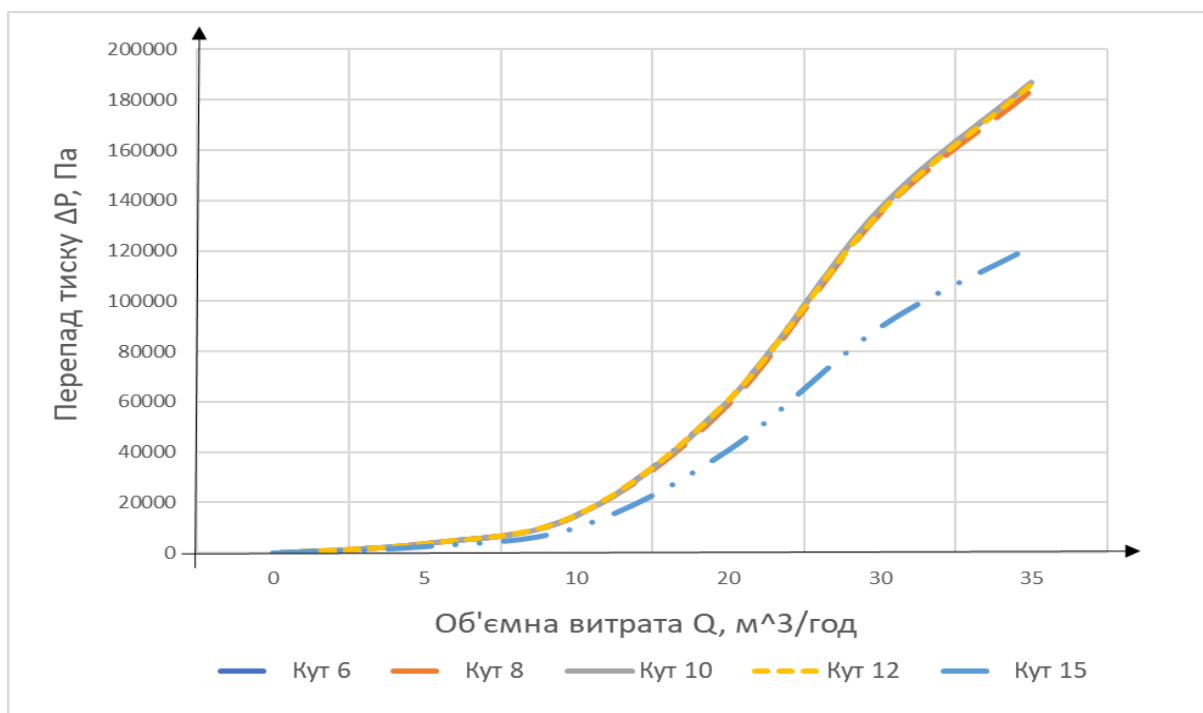


Рисунок 5.17. Залежність перепаду тиску від об'ємної витрати

За результатами імітаційного моделювання виявлено конфігурацію гідравлічного каналу вихрового витратоміра з тілом обтікання, що забезпечує високі метрологічні характеристики.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД ПМ01мн08.000.00

Арк.

57

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

Узагальнення відомостей про сучасний стан автоматизованих систем обліку витрат води дозволяє зробити наступні висновки:

1. Для створення автоматизованих систем обліку витрат води застосовуються мережеві дротові і бездротові технології передачі даних.

2. Обґрунтовано створення автоматизованої системи обліку витрати води вихровим методом, побудованої на підґрунті технології IoT (Internet of Things) і вихрових витратомірів, оснащених модулями передачі даних SIM7600X 4G NAT.

3. Проаналізовано сучасний стан вихрових засобів вимірювання витрат води; для створення системи обрано вихровий витратомір з тілом обтікання.

4. Проведено дослідження впливу форми тіла обтікання на метрологічні характеристики вихрового витратоміра автоматизованої системи обліку витрати води: похибку вимірювання, діапазон вимірювання і втрати тиску.

Розроблено математичну модель втрат тиску. Обґрунтовано визначення діапазону вимірювань вихрового витратоміра.

5. За результатами чисельного моделювання обґрунтовано вибір форми тіла обтікання, що забезпечує найбільш широкий діапазон вимірювання витрати.

6. Розв'язано задачу оптимізації параметрів тіла обтікання і конфігурації гідравлічного каналу вихрового витратоміра, що дозволило забезпечити високі метрологічні характеристики витратоміра автоматизованої системи обліку витрати води вихровим методом.

					<i>МД ПМ01мн08.000.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

## РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП – ПРОЄКТУ

### «АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ОБЛІКУ ВИТРАТИ ВОДИ ВИХРОВИМ МЕТОДОМ»

В цьому розділі буде проведено маркетинговий аналіз проєкту магістерської дисертації для визначення можливості його ринкового впровадження. Для аналізу використаний алгоритм наведений в [23].

#### 1. Опис та технологічний аудит ідеї проєкту

В сучасному світі важливо контролювати кількість ресурсів, які споживає людство, таких як: газ, вода, електроенергія та інші. Основною і глобальною проблемою є дефіцит питної води, через це її ціна зростає та виникає необхідність високоточно вимірювати об'ємну витрату.

Можливі напрямки використання, зміст ідеї та вигоди для користувача наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Опис ідеї стартап-проєкту [23]

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Автоматизована система обліку витрати води вихровим методом	Транспортування води	Забезпечення високої точності обліку води та передача показників
	Вимірювання витрати	Підвищення точності вимірювання витрати на широкому діапазоні витрати

В таблиці 1 наведено головні напрямки використання приладу, основними користувачами є представники проєктних та монтажних організацій, що займаються водопостачанням, вузлами обліку води, а також всі люди, які використовують воду.

Інформаційна карта стартап проєкту наведена в таблиці 2, вона включає в себе назву та авторів проєкту, термін реалізації, необхідні ресурси, описує проблематику та основні цілі.

					МД ПМ01мн08.000.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Таблиця 2. Інформаційна картка стартап-проєкту [24]

Назва проєкту	Автоматизована система обліку витрати води вихровим методом
Автори	Мельник А.М., Писарець А.В.
Анотація	Пристрій дозволяє збільшити діапазон вимірювання за рахунок оптимізації тіла обтікання та надає змогу дистанційно передавати дані.
Термін реалізації	1 рік
Необхідні ресурси	Людські, фінансові.
Опис проблеми, яку вирішує стартап - проєкт	Тіла обтікання сильно впливають на діапазон вимірювання вихрових витратомірів, тому важливо вибрати найкращу конфігурацію тіла обтікання.
Ціль	Збільшити діапазон вимірювання вихрового витратоміра.
Очікуваний результат	Використання витратоміра для широкого діапазона витрат та дистанційне передавання даних.

За допомогою застосування морфологічних карт слід згенерувати ідею автоматизованої системи обліку води, яка була б точною і використовувалась на ширшому діапазоні витрат, ніж існуючі, була б зручною у використанні, враховувала б той факт, що облік природних ресурсів є важливим завданням сьогодення.

Ідея проєкту генерується відповідно до такого алгоритму (табл. 3):

- визначити функції, які повинен виконувати проєкт;
- подання на карті декількох варіантів елементарних рішень, тобто засобів за допомогою яких можна реалізувати кожну функцію;
- вибір по одному елементарному рішенню для кожної функції.

Таблиця 3. Морфологічна карта [24]

Функції	Проміжні рішення				
	1-ше	2-ге	3-тє	4-тє	5-тє
Вимірювання витрати води	Вимірювання витрати вихровим витратоміром	Вимірювання витрати ультразвуковим методом	Вимірювання витрати турбінним методом	Інше	Інше
Автоматичне передавання даних з витратоміра	ESP8266	Raspberry Pi	Використання Arduino	STM32 F103	Інше

					МД ПМ01мн08.000.00	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже ідею стартап-проєкту можна сформулювати так: система обліку води складається із вихрового витратоміра, робота якого базується на вимірюванні зривистих вихорів, що створюються позаду тіла обтікання двійний ланцюг вихорів та мікроконтролера ESP8266 з Wi-Fi модулем для автоматичної передачі даних.

Визначимо попереднє коло конкурентів, товарів-аналогів або товарів-замінників, що вже впроваджені на ринок. Дослідимо техніко-економічні властивості та характеристики ідеї. Проведемо порівняльний аналіз показників (табл.4).

Таблиця 4. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проєкту [23]

№ n/n	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проєкт	Аква-Україна	Rosemoun			
1.	Межі вимірювання, м <sup>3</sup> /Год	2–37	1– 25	2–35			+
2.	Похибка	±1.0%	±1.5%	±1%		+	
3.	Перепад тиску, кПа	33	30	-		+	
4.	Надійність	Висока	Висока	Висока		+	
5.	Ціна	Низька	Середня	Висока			+

З таблиці 4 можемо зробити висновок, що порівняно із головними конкурентами, перевагою проєкту є межі вимірювання та низька ціна, при однаковій похибці вимірювання. Ця перевага є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

Далі необхідно дослідити аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проєкту, для цього визначаємо всі ідеї проєкту, за якими технологіями вони будуть реалізовуватись, чи наявні та доступні ці технології (табл. 4) [25].

Таблиця 5. Технологічна здійсненність ідеї проєкту [23]

<i>Ідея проєкту</i>	<i>Технології її реалізації</i>	<i>Наявність технологій</i>	<i>Доступність технологій</i>
Вплив зміни форми тіла обтікання на ширину діапазону витрати	Моделювання вихрового витратоміра за допомогою CAD систем	Наявні	Технологія доступна
Вплив зміни висоти трапеції в трапецийдальному тілі обтікання	Моделювання вихрового витратоміра за допомогою CAD систем	Наявні	Технологія доступна
Автоматичне передавання даних	Використання мікроконтролера ESP8266 з Wi-Fi модулем	Наявні	Доступні

Методика реалізації ідеї проєкту базується на моделювання потоку води за допомогою CFD технологій. При цьому це не потребує вагомих ресурсів і дає змогу проводити дослідження у широкому спектрі вхідних даних. За даними наведеними в таблиці 5 можемо зробити висновок, що всі ідеї проєкту можна технологічно реалізувати оскільки технології наявні на ринку та доступна для авторів.

## 2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

В цьому підрозділі досліджується можливості та загрози під час виходу на ринок, стан ринкового середовища і потреби цільової аудиторії.

Проведемо попередній аналіз на наявність попиту та динаміку розвитку ринку (табл. 6).

Таблиця 6. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту [23]

<i>№ n/n</i>	<i>Показники стану ринку (найменування)</i>	<i>Характеристика</i>
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн	5000000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Конкуренція існуючих компаній
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ 7266 Метрологія. Витратоміри швидкісні, вихрові і електромагнітні.
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	30%

					<i>МД ПМ01мп08.000.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

За попереднім оцінюванням та даними занесеними до таблиці 5 робимо висновок, що ринок є привабливим для входження, оскільки динаміка ринку зростає.

Далі визначимо потенційні групи клієнтів, сформуємо вимоги до товару для кожної цільової групи (табл. 7). Кожен товар має свого потенційний клієнта. Він є представником цільової аудиторії компанії, якими є люди певної статі, віку, зі схожими потребами, інтересами та фінансовими можливостями.

Параметри, які описують потенційного покупця:

- є потреба та бажання придбати товар;
- є фінансова можливість придбання;
- має право приймати рішення щодо покупки.

Таблиця 7. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту [23]

<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
Збільшення діапазону витрати вимірюваної вихровим витратоміром	Транспортування води та вимірювання витрати	Особливості, викликані зі специфікою проведення дослідів	Точність, висока чутливість, високий діапазон вимірювання

Портрет цільової аудиторії - це сукупність різних характеристики потенційних клієнтів. Для того, щоб скласти якісний портрет необхідно більш детально визначити параметри кожної групи споживачів. Дані занесено до таблиці 8.

Таблиця 8. Портрет цільового покупця

<i>Що хочуть купити</i>	Витратомір води
<i>Хто покупець</i>	Підприємці, постачальники та споживачі води
<i>Мета купівлі</i>	Автоматизоване вимірювання витрати води
<i>Коли покупець купує продукт</i>	Коли з'являється необхідність у більш точному вимірюванні витрати на ширшому діапазоні
<i>Де покупець бажає придбати продукт</i>	Онлайн
<i>Мета стартапера</i>	Задовольнити потребу клієнта в більш якісному продукті.

З таблиці 8 робимо висновок, що основними клієнтами для нас є підприємці та постачальники води у яких є потреба у точному вимірюванні витрати води на широкому діапазоні витрати та автоматизованому передаванні даних.

Визначимо можливості та загрози, які можуть виникнути під час входження на ринок (табл. 9, 10).

Ринкові можливості - це сприятливі обставини, які підприємство може використовувати для отримання переваг. Як приклад ринкових можливостей можна привести погіршення позицій конкурентів, різке зростання попиту, появу нових технологій виробництва продукції, зростання рівня доходів населення і т. п. Слід зазначити, що можливостями з погляду SWOT-аналізу є не всі можливості, які існують на ринку, а тільки ті, які можна використовувати.

Ринкові загрози - події, настання яких може несприятливо вплинути на підприємство. Приклади ринкових загроз: вихід на ринок нових конкурентів, зростання податків, зміна смаків покупців, зниження народжуваності й т. п.

Таблиця 9. Фактори загроз [23]

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Зріст конкуренції	Конкуренти мають нижчі цінами	Покращення конкурентоспроможності продукту
2	Відсутність попиту	У клієнтів немає потреби в покупці товару	Визначення потреб клієнтів
3	Зміни в стандартизації	Зміни в ДСТУ	Модернізація приладу відповідно до нових стандартів
4	Вартість досліджень	Висока вартість проведення нових досліджень	Додаткові витрати на проведення дослідження
5	Якість	Не задоволення очікувань клієнтів	Покращення конкурентоспроможності продукту

Основними загрозами є зріст конкуренції та відсутність попиту, адже для проведення нових досліджень необхідні додаткові витрати, щоб уникнути таких



наслідків потрібно покращити маркетинг, для того щоб більше потенційних клієнтів дізнались про переваги проекту.

Таблиця 10. Фактори можливостей [25]

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Збільшення попиту	Збільшення зацікавлення клієнтів дослідженнями	Можливість отримання інвестицій
2	Обслуговування	Потреба в обслуговуванні	Повірка та встановлення обладнання
3	Освоєння нових сфер	Використання приладу в нових сферах, що не розглядались раніше	Модернізація приладу для покращення його основних параметрів та виконання поставлених вимог
4	Впровадження нових технологій	Якісне покращення основних параметрів продукту та модернізація раніше існуючих рішень	Підвищення попиту та ціни
5	Інвестиції	Залучення нових інвестицій	Збільшення витрат на дослідження та маркетинг

Фактор збільшення попиту є найбільш реальним, оскільки прилад задовольняє вимоги потенційних клієнтів, а саме має високу точність, широкий діапазон вимірювання та автоматизовану передачу даних. Інвестиції в значній мірі допомагають вивести бізнес на новий рівень, тому важливо залучати до співпраці нових інвесторів.

Після аналізу загроз та можливостей можемо зробити висновок, що ринок приладів для вимірювання об'ємної витрати води є перспективним для входу нових компаній.

Далі проведемо аналіз пропозиції та визначимо основні риси конкуренції на ринку (табл. 11).

Конкуренція – це суперництво між суб'єктами ринкової економіки за найкращі умови виробництва, вигідну позицію на ринку тощо.

Конкуренти – це компанії, які працюють на тому ж ринку, з тієї ж цільовою аудиторією і надають аналогічний продукт або послугу.

Таблиця 11. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку [23]

<i>№ п/п</i>	<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
1	Чиста конкуренції	Окремі компанії не можуть вплинути на ціну	Концентрації діяльності підприємства на якість товару
2	За рівнем конкурентної боротьби - міжнародний	Наявність клієнтів із інших держав	Вихід на міжнародний ринок
3	Конкуренція за галузевою ознакою - внутрішньогалузева	Використовується в одній галузі	Покращення реклами та залучення нових клієнтів
4	Конкуренція за видами товарів - товарно-видова	Конкуренція, що виникає між товарами одного виду	Клієнтоорієнтовність та адаптивність то вимог ринку
5	За характером конкурентних переваг - нецінова	Ціна залежить від функціоналу та методу дослідження	Пошук можливостей збільшення якості товару
6	За інтенсивністю - марочна	Конкурентні компанії пропонують подібні продукти	Покращувати якість товару, знижувати ціну. Створення фірмового стилю компанії та реклама.

Проаналізувавши таблицю 11 робимо висновок, що через малу кількість конкурентів на ринку спостерігається чиста конкуренція. Всі конкуренти мають різні методики досліджень. Конкурентна боротьба є міжнародною та внутрішньогалузевою.

Далі проводиться більш детальний аналіз конкуренції в даній галузі за моделлю М. Портера (табл. 12) та обґрунтування факторів конкурентоспроможності (табл. 13) [25].

М. Портер вирізняє п'ять основних факторів, що впливають на привабливість вибору ринку з огляду на характер конкуренції:

- конкурент, що вже є у галузі;
- потенційні конкуренти;
- наявність товарів-замінників;
- постачальники, що конкурують за ринкову владу;
- споживачі.

Таблиця 12. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером [23]

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Товари-замінники
	Аква-Україна, Rosemount	Невисокий бар'єр входження на ринок	Наявність ліцензії на програмне забезпечення	Аналогічні дослідження конкурентів
Висновки:	Невелика конкуренція	Є можливості виходу на ринок. Є великі конкуренти. Вихід на ринок 1 рік	Умови роботи на ринку постачальники не диктують	Обмежень для роботи практично немає, оскільки товари-замінники використовують інші методи вимірювання

Таблиця 2. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності [23]

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проєктів значущим)
1	Ціна	Оптимальна ціна при високій якості
2	Точність	Необхідна найменш можлива похибка вимірювання
3	Діапазон вимірювання	Широкий діапазон вимірювання
4	Якість	Висока якість

Після оцінки конкуренції та основних факторів конкурентоспроможності, дані про які наведені в таблицях 12-13, можна сказати, що всі вищезгадані фактори досягаються проведенням додаткових досліджень та розрахунків. За цими факторами будуємо таблицю слабких та сильних сторін стартап-проєкту (табл. 14).

Таблиця 3. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін [23]

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з Аква-Україна						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Ціна	15				0			
2	Точність	20						2	
3	Діапазон вимірювання	19							3
4	Якість	19					1		

Проаналізувавши таблицю 13 робимо висновок, що стартап-проєкт в підсумку має вищий рейтинг ніж його прямий конкурент. Дана таблиця показує переваги проєкту над конкурентами.

					МД ПМ01мп08.000.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

На основі виділених раніше сильних та слабких сторін, а також ринкових можливостей та загроз, складемо таблицю SWOT- аналізу (табл. 15).

Таблиця 4. SWOT- аналіз стартап-проекту [23]

<p><i>Сильні сторони:</i>                  Ширший діапазон                  2.Висока точність                  3.Зростання попиту                  4.Обслуговування                  5.Модифікація                  6.Дистанційна передача даних</p>	<p><i>Слабкі сторони:</i>                  1.Поява нових технологій                  2.Збільшення конкуренції на ринку                  3.Початківець на ринку</p>
<p><i>Можливості:</i>                  1.Збільшення кількості клієнтів                  2.Закріпитись на ринку                  3.Збільшення обсягу продажів                  4.Можливість проведення перевірок                  5.Покращення характеристик приладу</p>	<p><i>Загрози:</i>                  1.Кращі умови та якість від конкурентів                  2.Відсутність клієнтів                  3.Зниження доходів потенційних споживачів.</p>

Потрібно звернути увагу на можливість появи загроз, таких як відсутність клієнтів та покращення якості продукції конкурентів. Необхідно утримати клієнтів за рахунок надання безкоштовних перевірок обладнання та додаткових модифікацій. На основі SWOT-аналізу описаного в таблиці 14 розробляємо альтернативи для виходу стартап-проекту на ринок та орієнтовні терміни для їх реалізації (табл. 16).

Таблиця 5. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту [23]

<i>№ п/п</i>	<i>Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки</i>	<i>Ймовірність отримання ресурсів</i>	<i>Строки реалізації</i>
1	Збільшення інтервалу між повірками	Середня	6 місяців
2	Покращення надійності	Висока	6 місяців

Проаналізувавши дані наведені в таблиці 16 робимо висновок, що найкращою альтернативою є збільшення надійності приладу оскільки така альтернатива має високу ймовірність отримання додаткових ресурсів.

Далі опрацюємо питання для удосконалення продукту (табл. 17).

Таблиця 17. Опрацювання питань для удосконалення продукту

<i>№ n/n</i>	<i>Запитання</i>	<i>Відповідь</i>
1	Частиною яких систем є продукт?	Систем обліку води
2	Чи можна розділити продукт на частини?	Так, можна окремо використовувати витратомір без модуля передачі.
3	Чи можна об'єднати (агрегувати) кілька елементів продукту в один?	Ні, продукт є завершеним
4	Чи можна нерухомі частини продукту зробити рухомими і навпаки?	Ні, перевагою вихрових витратомірів є відсутність рухомих деталей.
5	Яким має бути ідеальний продукт?	Високоточним, якісним, довговічним.
6	Що відбудеться, якщо вилучити цей продукт? Чим його можна замінити?	Його можна замінити витратомірами інших типів
7	Яким цей продукт був у минулому?	Мав меншу точність та діапазон вимірювання витрати
8	На розвиток яких функцій було спрямоване удосконалення продукту?	На розширення діапазону витрати та зменшення перепаду тиску.

Можемо зробити висновок, що продукт є високотехнологічним і покращити його можна змінюючи проектні параметри витратоміра, ці дослідження дозволять визначити при яких параметрах перепад тиску найменший, а вихроутворення стійке на ширшому діапазоні чисел Рейнольдса.

### 3. Розроблення ринкової стратегії розвитку

Для розроблення ринкової стратегії необхідно почати з визначення цільових груп потенційних споживачів (табл.18)

Таблиця 6. Вибір цільових груп потенційних споживачів [23]

<i>№ n/n</i>	<i>Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів</i>	<i>Готовність споживачів сприйняти продукт</i>	<i>Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)</i>	<i>Інтенсивність конкуренції в сегменті</i>	<i>Простота входу у сегмент</i>
1	Споживачі води	-	+	Висока	-
2	Водопостачальні організації	+	+	Висока	+

Після опису цільових груп потенційних клієнтів можна обрати ту яка найбільше підходить. В першу чергу до уваги приймається готовність цільової групи прийняти продукт, тому основними є водопостачальні організації.

					<i>МД ПМ01мп08.000.00</i>	Арк.
						69
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Для подальшої роботи з цільовими групами потрібно визначитись з базовою стратегією розвитку (табл.19)

Таблиця 7. Визначення базової стратегії розвитку [23]

<i>Обрана альтернатива розвитку проєкту</i>	<i>Стратегія охоплення ринку</i>	<i>Ключові конкурентоспроможні і позиції відповідно до обраної альтернативи</i>	<i>Базова стратегія розвитку*</i>
Концентрація на потребах цільового сегменту ринку.	Стратегія недиференційованого маркетингу	Використання інновацій та адаптація до вимог ринку	Стратегія спеціалізації

Проаналізувавши таблицю 17 можна зробити висновок, що через існування на ринку сильних гравців обираємо стратегію спеціалізації. Необхідно використовувати інновації для забезпечення високої якості продукції.

Далі потрібно визначитись із базовою стратегією конкурентної поведінки (табл. 20).

Таблиця 20. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки [23]

<i>Чи є проєкт «першопрохідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?</i>	<i>Стратегія конкурентної поведінки*</i>
Ні	Шукати нових споживачів та забирати існуючих у конкурентів.	Ні	Стратегія лідера

Проаналізувавши таблицю 18 можемо зробити висновок, що оскільки проєкт не є першопрохідцем, але має суттєві переваги над продуктом-аналогом, можна обрати стратегію лідера. Це можливо оскільки використовується дешевша технологія при кращій якості.

Наступним кроком потрібно визначитись із стратегією позиціонування, яка формується на основі вимог клієнтів (табл. 21).

Таблиця 8. Визначення стратегії позиціонування [23]

<i>№ n/n</i>	<i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>	<i>Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проєкту</i>	<i>Вибір асоціацій, які мають сформувавши комплексну позицію власного проєкту (три ключових)</i>
1	Точність	Стратегія спеціалізації	Прилад з високою точністю	Високоточна
2	Широкий діапазон	Стратегія спеціалізації	Прилад з широким діапазоном вимірювання	Здатність вимірювання при малих та великих витратах
3	Висока якість	Стратегія спеціалізації	Якість	Надійна

Висновок: стартап-проєкт буде працювати за стратегією спеціалізації, оскільки його основною метою є якісне розширення діапазону вимірювання витрати води. Точність вимірювання також повинна бути на високому рівні, це досягається за рахунок проведення додаткових досліджень.

#### 4. Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту

При розробці маркетингової програми слід почати із визначення ключових переваг концепції товару (табл. 22).

Таблиця 22. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару [23]

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба</i>	<i>Вигода, яку пропонує товар</i>	<i>Ключові переваги перед конкурентами</i>
1	Необхідність розширення діапазону вимірювання	Відносно дешева методика досліджень, яка дозволить досягти збільшення діапазону	Висока точність на широкому діапазоні вимірювання та можливість дистанційного передавання даних
2	Необхідність підвищення точності вимірювання	Надійна методика, яка дозволить підвищити точність	
3	Необхідність дистанційного передавання даних	Можливість дистанційного передавання даних	

З даних наведених в таблиці 22 можна зробити висновок, що перевагами проєкту є широкий діапазон вимірювання та можливість передавати дані дистанційно.

Далі необхідно описати три рівні моделі товару (табл. 23).

					<i>МД ПМ01мн08.000.00</i>	Арк.
						71
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Таблиця 9. Опис трьох рівнів моделі товару [23]

<i>Рівні товару</i>	<i>Сутність та складові</i>		
I. Товар за задумом	Товар має можливість точно вимірювати воду на широкому діапазоні витрати та передавати дистанційно дані.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристик и	М/Нм	Вр/Тх /Гл/Е/Ор
	1. Точність вимірювання	М	Тх
	2. Діапазон вимірювання	М	Тх
	3. Перепад тиску	М	Тх
	4. Вартість обслуговування	М	Е
	Якість: ДСТУ 7266 Метрологія. Витратоміри швидкісні, вихрові і електромагнітні. Загальні технічні умови.		
	Пакування: відповідно до вимог дійсних стандартів		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: збір інформації від потенційних клієнтів, усунення можливих несправностей та перевірка якості приладу		
	Після продажу: проведення перевірок, установка, обслуговування.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: патентом на прилад.			

Висновок: отримано опис трьох рівнів моделі за якими ми можемо визначити призначення товару. Характеристики описані на 2 рівні роблять проєкт унікальним. Стартап повинен бути захищений патентом.

Наступним кроком необхідно визначити цінові межі, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар (табл. 24).

Таблиця 10. Визначення меж встановлення ціни [23]

<i>Рівень цін на товари-замінники</i>	<i>Рівень цін на товари-аналоги</i>	<i>Рівень доходів цільової групи споживачів</i>	<i>Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу</i>
15000-20000	15000-20000	10000-100000	10000-15000

Для стартап-проєкту було обрано середню цінову категорію, оскільки висока ціна може не задовольнити клієнтів.

Важливу роль у реалізації стартапу відіграє ефективна команда. Команда (від лат. *Commando* – «доручаю», «наказую») – це об'єднання однодумців, які керуються спільною метою. Відомості, які необхідно прояснити, отримуючи завдання на формування проєктної команди для стартапу наведено в таблиці 25 [26]. Опис команди стартапу представлено в таблиці 26.

					<i>МД ПМ01мн08.000.00</i>	Арк.
						72
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



Таблиця 25. Питання, що потребують відповідей до початку формування команди стартапу [24]

<i>Питання</i>	<i>Пояснення</i>
В які терміни команда повинна бути сформована?	Команду потрібно сформувати за два місяці
Хто ключові люди в створюваній команді?	Інженер-технолог, маркетолог, ІТ-спеціаліст, інженер-конструктор
Чи є можливість використовувати для пошуку персоналу додаткові джерела?	Так, можна звертатись в кадрове агентство або до рекрутера-фрілансера
Яка роль у кожного члена команди?	Маркетолог – просування продукту, інженери – досліди та розрахунки, ІТ-спеціаліст – алгоритм передавання даних та ін.
Як мотивувати членів команди?	Можливість отримання щомісячної премії

Таблиця 26. Команда стартапу [24]

<i>Стадія стартапу</i>	<i>Завдання</i>	<i>Члени команди</i>	<i>Освіта</i>	<i>Досвід роботи</i>	<i>Спеціалізовані знання</i>	<i>Витрати тис. грн</i>
Перед-посівна	Розробка ідеї. Перевірка чи подобається розроблена ідея споживачам	Мельник Анастасія, Анна Писарець	Інженер-технолог інженер-метролог	10 років	Знання в сфері витратометрії	-
Посівна	Дослідження ринку, опитування потенційних покупців та клієнтів, пошук інвесторів	Мельник Анастасія, Анна Писарець	Інженер-технолог інженер-метролог	10 років	Знання в сфері витратометрії	10000
Створення прототипу	Провести нові дослідження в Ansys, Вибір методу автоматичної передачі даних та розробка програми	Мельник Анастасія, Анна Писарець, Дмитро Петренко	Інженер-технолог інженер-метролог ІТ-спеціаліст	10 років, 2 роки	Знання в сфері моделювання потоків; Знання в сфері розробки програмного забезпечення;	100 000
Закрита бета-версія	Створити готовий, життєздатний продукт, перевірити його якісні показники	Лариса Коробська	Маркетолог	5 років	Знання в сфері маркетингу	120000
Ведення бізнесу	Збільшити кількість реклами та продажів, залучення нових клієнтів	Мельник Анастасія, Анна Писарець, Дмитро Петренко,	Інженер-технолог інженер-метролог ІТ-спеціаліст маркет.	10 років, 2 роки, 5 років	Знання в сфері витратометрії, розробки програмного забезпечення, маркетингу та менеджменту	100000

<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

МД ПМ01мн08.000.00

Арк.

73

Отже, загальному команда складається з інженера-технолога, інженера-метролога, ІТ-спеціаліста та маркетолога. Більшість членів команди компетентні та мають великий досвід роботи.

Складемо календарний план-графік підготовки стартапу (таблиця 27).

Таблиця 27. Календарний план-графік підготовки стартапу

Стадія стартапу	Період запуску (за місяцями з початку підготовки проєкту)					Вартість стадії, грн
	1	2	3	4	5	
Передпосівна	01.09.21 01.10.21					-
Посівна		01.10.21 01.11.21				10000
Прототипування			01.11.21 10.03.22			100000
Закрита бета-версія				20.03.22 01.08.22		120000
Ведення бізнесу					3 01.08.22	200000
Разом						430000

Отже, з таблиці 27 можемо зробити висновок, що на реалізацію проєкту знадобиться 11 місяців та 430 тис. грн. Найбільш дорогим етапом є введення бізнесу через його довготривалість.

Розподілимо частки між авторами стартапу на основі запропонованого методу Frank Demmler, професором підприємництва в бізнес-школі при Carnegie Mellon University [27]. Визначимо важливість кожного фактора та внесок кожного з авторів (табл. 28).

Таблиця 28. Оцінювання важливості кожного фактора і внеску кожного учасника [25]

Фактор	Вага	Автор 1	Автор 2
Участь у розробленні ідеї	9	10	6
Участь у підготовці бізнес-плану	7	7	8
Компетентність учасника	10	10	10
Залученість і ризики учасника	7	8	9
Обов'язки та відповідальність учасника	10	9	10
Разом (вага * внесок автора)		385	764
Відсоток		50,4 %	49,6 %

Можемо зробити висновок що обоє авторів компетентними і приймали активну участь у створенні проєкту. Частка стартапу першого автора складає 50,4 %, частка другого – 49,6 %. Отже, автори приблизно однаково впливали на створення продукту.

Далі слід визначити оптимальну систему збуту (табл. 29), це необхідно для того, щоб підвищити ефективність збуту. Канали збуту, виконують ряд функцій, зокрема:

–підвищують ступінь поінформованості споживача про товари і послуги компанії;

–допомагають оцінити ціннісні пропозиції компанії; дозволяють споживачеві купувати певні товари та послуги;

–знайомлять споживача з ціннісними пропозиціями; забезпечують післяпродажне обслуговування.

Таблиця 11. Формування системи збуту [23]

№ n/n	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Замовлення заздалегідь	Доставка та встановлення приладу	Нульового рівня	Пряма
2	Регулярні поставки	Доставка та встановлення приладу та перевірка наявного обладнання	Нульового рівня	Пряма

За даними наведені в таблиці 29 робимо висновок, що виробник буде продавати товар безпосередньо кінцевому споживачеві, оскільки глибина каналу збуту нульового рівня. Виробник буде контролювати регулярність поставок та контроль обладнання.

Останньою складової маркетингової програми стартап-проєкту є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо визначену специфіку поведінки клієнтів та обрану основу для позиціонування (табл. 30) [23].

Маркетингові комунікації – це одна з основних і складних елементів комплексу маркетингу організації. Маркетинговими комунікаціями

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД ПМ01мп08.000.00

Арк.

75

можна назвати повідомлення і засоби масової інформації, спрямовані на передачу інформації про продукт і встановлення зв'язку з цільовою аудиторією, ринком.

Таблиця 30. Концепція маркетингових комунікацій [23]

<i>Специфіка поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти</i>	<i>Ключові позиції, обрані для позиціонування</i>	<i>Завдання рекламного повідомлення</i>	<i>Концепція рекламного звернення</i>
Потребують більш точного обліку води при оптимальній ціні, тому порівнюють конкурентні пропозиції	Інтернет, журнали, фахові видання, соціальні мережі, месенджери	Висока якість, широкий діапазон вимірювання, відносно низька вартість	Показати покупцю перевагу над конкурентами та можливість економії після придбання продукту	Реклама функцій приладу та його основних метрологічних характеристик

Дані занесені до таблиці 30 - це ринкова програма, що складається із концепції товару, просування, збуту та аналіз ціноутворення, базується на цінностях та потребах клієнтів, конкурентних перевагах ідеї, стані ринкового середовища та на відповідній альтернативі ринкової поведінки [23].

Необхідно визначити початкові вкладення для розвитку стартап-проєкту (табл. 31). Початкові інвестиції – це реальна вартість проєкту з урахуванням результатів від продажу старого обладнання та сплати податків.

Таблиця 31. Початкові вкладення на запуск стартап-проєкту [24]

<i>Види витрат</i>	<i>Вартість</i>
НДДКР	5000
Захист прав на об'єкти інтелектуальної власності	10 000
Створення прототипу, досліді	10 000
Просування	100 000
Витрати на команду	30 000
Закупівля обладнання	51 000
Орієнтована собівартість першого продукту	10000
<b>РАЗОМ</b>	<b>216 000</b>
<i>Витрати, що бере на себе стартапер</i>	66 000
<i>Необхідні інвестиції для запуску стартапу та виробництва першої партії</i>	150 000

Проаналізувавши таблицю 31 робимо висновок, що необхідно отримати інвестиції у розмірі 150 000 грн для створення прототипу, просування та оплати роботи працівників.

Планові фінансово-економічні показники проєкту наведені в таблиці 32, вони потрібні для приблизної оцінки прибутків за рік.

Таблиця 32. Планові фінансово-економічні показники

	Показник	Періоди (по місяцях)												Всього за рік
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	Обсяг виробництва продукції в натуральних показниках	5	5	6	7	7	7	8	8	8	9	9	10	89
2	Собівартість одиниці продукції, тис. грн.	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	180
3	Собівартість виробництва продукції, тис. грн. (3 = 1 · 2)	75	75	90	105	105	105	120	120	120	135	135	150	1335
4	Обсяг реалізації продукції в натуральних показниках	5	5	6	7	7	7	8	8	8	9	9	10	89
5	Ціна реалізації продукції без ПДВ, тис. грн.	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	240
6	Виручка від реалізації продукції без ПДВ, тис. грн. (6 = 4 · 5)	100	100	120	140	140	140	160	160	160	180	180	200	1780
7	Податок на додану вартість (ПДВ), тис. грн. (7=6/5)	5	5	6	7	7	7	8	8	8	9	9	10	89
8	Валовий прибуток (8 = 6 – 3)	25	25	30	35	35	35	40	40	40	45	45	50	445
9	Податок на прибуток (9=8*0,20 (20 %))	5	5	6	7	7	7	8	8	8	9	9	10	89
10	Чистий прибуток (10 = 8 – 9)	20	20	24	28	28	28	32	32	32	36	36	40	356

З таблиці 32 можемо зробити висновок, що при виробництві 89 витратомірів за рік з собівартістю 15 тис. грн. податки на їх продаж складуть 89

					МД ПМ01мн08.000.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

тис. грн., а орієнтовний чистий прибуток при цьому складе 356 тис. грн., що задовольняє потреби стартапу.

Для узгодження кошторису витрат на виробництво за економічними елементами з кошторисом витрат за калькуляційними статтями складається зведений план витрат на виробництво. Він також дозволяє перевірити правильність розрахунків собівартості продукції (робіт, послуг). Розглянемо зведений план витрат на запуск виробництва продукції (табл. 33).

Таблиця 33. Зведений план витрат на запуск виробництва продукції

<i>Найменування</i>	<i>Пояснення</i>	<i>Вартість тис. грн.</i>
Витрати на придбання обладнання та устаткування	Витрати на придбання обладнання	200
Сировина, основні матеріали	Вартість сировини та матеріалів для забезпечення технологічного процесу	100
Комплектуючі	Витрати на комплектуючі продукту	10
Паливо та електроенергія на технологічні цілі	Витрати на електроенергію, а також на паливо, необхідні для запуску проектної потужності виробництва	30
Оплата праці промислово-виробничого персоналу	Витрати на заробітну плату та соціальні відрахування	60
Освоєння та запуск виробництва	Витрати на пусконаладжувальні роботи, запуск виробництва	30
Разом:		430

Отже, зведений план витрат на запуск виробництва продукції показує, що для реалізації та випуску продукції необхідно 430 тис. грн.

Далі складемо план маркетингу (табл. 34), він складається з метою опису реальних ринкових можливостей та цілей стартапу, а також для того щоб узгодити варіанти рекламних платформ на яких буде розміщуватись реклама готового продукту.

Маркетинг стартапу – це поєднання інструментів та заходів із ознайомлення цільової аудиторії з ідеєю продукту, просування ідеї та безпосередньо товару на ринок з метою збільшення зацікавленості та

прихильності потенційних клієнтів, залучення споживачів, інвесторів тощо [24].

Таблиця 34. План маркетингу [24]

№ п/п	Назва розділу	Елементи наповнення розділу (в дану колонку слід записати результат)
1.	Цілі і завдання на найближчий рік	<i>Просування продукції, збільшення клієнтської бази</i>
2.	Місія та цінності стартапу	<i>Орієнтація на створення якісного продукту</i>
3.	Цільова аудиторія	<i>Підприємці з середнім та високим рівнем доходів, віком 25-60 років.</i>
4.	Аналіз ситуації	<i>Автоматизована система обліку витрати води вихровим методом має ширший діапазон вимірювання та високу точність. Просування стартапу здійснюється через фахові видання. Проект є прибутковим оскільки зодовольняю потребу клієнтів у якості.</i>
5.	Ціни і стратегія позиціонування	<i>Стартап позиціонує себе як доступний та якісний пристрій для визначення витрати води</i>
6.	План просування	<i>Запустити таргетенгову рекламу та офлайн рекламу для залучення старших груп споживачів.</i>
7.	Маркетингові активи	<i>Таргет в фейсбук, статті в фахових виданнях</i>
8.	Конверсійна стратегія	<i>Конверсія в рекламі</i>
9.	План збільшення продажів	<i>Збільшити кількість функцій, які пропонуються споживачеві. Створити програму лояльності для збільшення кількості повторних клієнтів</i>
10.	Фінансові прогнози	<i>Потрібні початкові інвестиції в розмірі 150 тис. грн</i>

Проаналізувавши таблицю 34 можемо зробити висновок, що просування продукції є важливою та однією з основних цілей стартап-проєкту, необхідно вкладати кошти в рекламу в усіх можливих джерелах та створити програму лояльності для постійних клієнтів. Необхідно позиціонувати проєкт як якісну та більш доступну альтернативу наявним на ринку продуктам.

## ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ

В сучасному світі глобальною проблемою є дефіцит питної води, через це її ціна зростає та виникає необхідність високоточно вимірювати кількість спожитої води, тому будь-яке нове дослідження, результатом якого є значне покращення параметрів витратомірів можна подати у вигляді бізнес моделі для залучення додаткових інвестиції на розробку приладу.

Ефективність реалізації стартапу залежить від трьох компонентів: ідеї, команди та фінансування. Без інноваційної ідеї стартап, перестає бути стартапом, і має характеристики звичайного бізнесу. Відсутність фінансування може значно затримати реалізацію стартапу, що призводить до появи конкурентів та втрати бажаної частки на ринку. Однак, не меш важливу роль у реалізації стартапу відіграє ефективна команда.

Першим кроком до комерційної реалізації є формування ідеї проєкту та інформаційної та морфологічної карти. Правильне формування ідеї проєкту важливе для наступних етапів розробки.

Важливо дослідити можливості стартапу, також було означено основний ризик для стартапу - конкуренція, та визначено допустиму реакцію компанії - підвищення надійності вихрового витратоміра. Основною можливістю є збільшення попиту, що може допомогти збільшити кількість клієнтів, а для забезпечення цього, необхідно покращувати характеристики приладу. Оскільки на ринку спостерігається чиста та невелика конкуренція можна зробити висновок щодо хороших можливостей роботи на ринку. Існують виходи на національний ринок, використання стартапу можливе у витратометрії.

Проаналізувавши стартап-проєкт можна зробити висновок про хороші можливості для виходу на ринок через наявність великого попиту на продукцію вітчизняних виробників серед споживачів. Також спостерігається позитивна динаміка росту ринку. Єдиним обмеження для виходу на ринок є наявність сертифікатів та дозвільних документи.

					<i>МД ПМ01мн08.000.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80



У реалізації даного стартап-проєкту важливу роль виконає маркетингова складова, яка за рахунок концентрації на перевагах стартап-проєкту дає перевагу над продуктами конкурентів. Вся реклама повинна бути спрямована на подачу потенційним клієнтам інформації, необхідні початкові інвестиції у розмірі 150 тис. грн.

Отже проаналізувавши всі аспекти ринку, можемо зробити висновок, що проєкт можливо реалізувати. Але для цього необхідно мати переваги над продуктами прямих конкурентів, та вміло їх подавати у вигляді рекламної інформації.

					<i>МД ПМ01мн08.000.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведені у роботі дослідження дозволяють поглибити уявлення про дослідження метрологічних характеристик вихрових витратомірів автоматизованої системи обліку витрати води.

Головний зміст отриманих результатів може бути окреслений наступним.

1. Узагальнені наявні відомості про мережеві дротові і бездротові технології передачі даних, що дозволяють створювати автоматизовані системи обліку витрати води. Обґрунтовано організацію автоматизованої системи обліку витрати води на підґрунті технології IoT (Internet of Things) і вихрових витратомірів.

2. Розроблено математичну модель втрат тиску у вихровому витратомірі з тілом обтікання.

3. Здійснено імітаційне моделювання роботи витратоміра за різних конфігурацій гідравлічного каналу у Ansys Fluid Flow (Fluent), що дозволило оцінити частоту вихроутворення, діапазон вимірювання витратоміра, втрати тиску.

4. Розв'язано задачу оптимізації параметрів тіла обтікання і конфігурації гідравлічного каналу вихрового витратоміра, що дозволило забезпечити високі метрологічні характеристики витратоміра автоматизованої системи обліку витрати води вихровим методом.

5. Розроблено стартап – проєкт, що обґрунтовує можливості подальшої комерціалізації отриманих результатів та застосування розробленої концепції у промисловості.

					<i>МД ПМ01мн08.000.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Писарець А. В. Автоматизовані системи передачі показань від приладів обліку енергоносіїв. Частина 1 / А. В. Писарець, Є. В. Писарець // Вісник КПІ. Серія приладобудування. – 2020. – Вип. 59(1). – С. 95 – 101. DOI: [https://doi.org/10.20535/1970.59\(1\).2020.210037](https://doi.org/10.20535/1970.59(1).2020.210037)

2. Писарець А. В. Автоматизовані системи передачі показань від приладів обліку енергоносіїв. Частина 2 / А. В. Писарець, Є. В. Писарець // Вісник КПІ. Серія приладобудування. – 2020. – Вип. 60(2). – С. 79 – 86. DOI: [https://doi.org/10.20535/1970.60\(2\).2020.221452](https://doi.org/10.20535/1970.60(2).2020.221452)

3. GSM модуль на SIM800L. [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod1665-gsm-modul-na-sim800l>

4. TTGO T-Call V1.3 ESP32 бездротовий модуль з SIM800L. [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod4359-40170-ttgo-t-call-v1-3-esp32-wireless-module-fpc-antenna-sim-card-sim800l-module>

5. Комунікаційний GSM/GPRS/GNSS/Bluetooth HAT шилд для Raspberry Pi від Waveshare. [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod2537-kommunikacionnii-gsmgprsgnssbluetooth-hat-shild-dlya-raspberry-pi>

6. Модуль зв'язку NB-IoT/Cat-M/EDGE/GPRS/GNSS на SIM7000E до Raspberry Pi. [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod3019-modul-svyazi-nb-iotemtcedgegprsgnss-na-sim7000e-dlya-raspberry-pi>

7. Модуль зв'язку SIM7600E-H LTE Cat-4 4G/3G/2G, GNSS для Raspberry Pi, Jetson Nano. [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod3020-modul-svyazi-im7600e-h-lte-cat-4-4g3g2g-gnss-dlya-raspberry-pi-ot-waveshare>

8. Мельник, А. М. Витратомір : дипломний проєкт ... бакалавра : 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / Мельник Анастасія Миколаївна. – Київ, 2020. – 57 с.

					<i>МД ПМ01мн08.000.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

9. Кремлевский, П. П.. Расходомеры и счетчики количества : справочник / П. П. Кремлевский. - Ленинград : Машиностроение Ленингр. отд-ние, 1989. - 700, [1] с. : ил. ; 23 см.

10. Коробко И.В. Особенности оптимизации формы чувствительных элементов вихревых измерительных преобразователей 84ас хода жидкофазной среды / И.В. Коробко, В.А. Коваленко // Вестн. Гомельского Государственного технического университета им. П. О. Сухого.– 2013.- №4(55).– С.36–42.

11. Киясбейли А. Ш., Перельштейн М. Е. Вихревые измерительные приборы. М.: Машиностроение, 1978. 152 с.

12. Писарець А. В. Аналіз сучасного стану вихрових засобів вимірювання кількості речовини // Вісник Черкаського інженерно-технологічного інституту. – 2001. – С. 53 – 56.

13. Прозоров М. А. Вихревые счетчики-расходомеры, выпускаемые предприятиями ФПГ «Промприбор». // Приборы и системы управления. 1997. № 5. С. 32 – 35.

14. Что такое вихревой расходомер?! Характеристики. Виды. Принцип действия. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: [http://www.td-rashodomer.ru/info/articles/vihrevoi\\_rashodomer.htm](http://www.td-rashodomer.ru/info/articles/vihrevoi_rashodomer.htm)

15. Киясбейли, А.Ш. Вихревые счетчики-расходомеры / А. Ш. Киясбейли, М. Е. Перельштейн. – Москва : Машиностроение, 1974. – 158 с.

16. Лурье. М. С. Вихревые расходомеры и счетчики количества жидкости с контактно-кондуктометрическим приемником-преобразователем вихревых колебаний. – Красноярск:СибГТУ, 1999. – 196 с.

17. Фабрикант Н. Я. Аэродинамика. – М: Наука, 1964. – 814 с.

18. Рабинович Е.З. Гидравлика. – М.: Недра, 1980 – 278 с.

19. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям: / Идельчик И.Е. – М.: Машиностроение, 1975. – 543 с.

20. Pisarets A. Optimization of turbine type flow rate transducer with hydrodynamic balancing of sensitive element / A. Pisarets, I. Korobko // Вісник

					<i>МД ПМ01мн08.000.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2017. – Вип. 54(2). – С. 65 – 71. DOI: 10.20535/1970.54(2).2017.119574

21. Коробко І. В. Оптимізація вимірювальних перетворювачів витрати рідини гідродинамічного типу. // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2013. – Вип. 46. – С. 91 – 96.

22. Коробко І. В. Приладовий комплекс вимірювання витрати та кількості природного газу на підґрунті різних фізичних методів вимірювання / І. В. Коробко, О. О. Драчук, В. А. Коваленко // Методи та прилади контролю якості. – 2014. – № 2 (33). – С. 66-77.

23. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с

24. Гавриш, О. А. Розробка стартап-проектів. Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальностей 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» / О. А. Гавриш, К. О. Бояринова, К. О. Копішинська ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 2,88 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 188 с. – Назва з екрана.

25. Гавриш, О. А. Розробка стартап-проектів: практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальностей 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» / О. А. Гавриш, К. О. Бояринова, К. О. Копішинська ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 2,11 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 116 с. – Назва з екрана.

					<i>МД ПМ01мн08.000.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85