

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий інститут електроенергетики
(інститут)

Електротехнічний факультет
(факультет)

Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА кваліфікаційної роботи ступеню магістра

студента Штики Артема Олеговича

(П.І.Б.)

академічної групи 152м-19-1

(шифр)

спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна
техніка»

(офіційна назва)

на тему Метрологічне забезпечення контролю витрати рідини в умовах коксохімічного
виробництва

(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинг.	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	доц. Глухова Н. В.			
Провідний консультант	доц. Глухова Н. В.			
Спеціальний розділ	доц. Глухова Н. В.			
Економічна частина	ст. викл. Дементьєва Н. В.			
Охорона праці	доц. Чеберячко Ю. І.			
Рецензент				
Нормоконтролер	ас. Славінський Д.В.			

Дніпро
2020

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
кіберфізичних та інформаційно-
вимірювальних систем
(повна назва)

_____ Ткачов В.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 2020 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня магістра

студенту Штиці Артему Олеговичу академічної групи 152М-19-1
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

за освітньо-професійною програмою 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна
техніка»
(офіційна назва)

на тему Метрологічне забезпечення контролю витрати рідини в умовах коксохімічного
виробництва

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання.	Проаналізувати технологічний процес мокрого гасіння коксу та параметри витрати води на гасіння. Визначити завдання дослідження	12.10.2020
Теоретичний розділ	Проаналізувати вихідний робочий еталон об'ємної витрати рідини. Вдосконалити конструкцію, техніко-технологічні аспекти установки та методику вимірювань. Розрахувати невизначеність вимірювань	02.10.2020
Експериментальний розділ	Розробити методику калібрування витратоміру на запропонованій витратомірній установці. Дослідити статичну характеристику витратоміру	23.11.2020
Економічна частина	Визначити річну економію та період окупності запропонованого технічного рішення	30.11.2020
Охорона праці	Спроекувати оптимальне розміщення засобів штучного освітлення в калібрувальній лабораторії	07.12.2020

Завдання видано

_____ (підпис п.конс.)

доц. Глухова Н. В.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі 01.09.2020

Дата подання до атестаційної комісії 14.12.2020

Прийнято до виконання

_____ (підпис студента)

Штика А. О.
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: __ с., __ рис., __ табл., __ додатків, __ джерел.

Актуальність теми полягає у необхідності контролю витрати води на гасіння коксу з метою підвищення економічних показників діяльності підприємства та провадження політики розумного споживання енергетичних ресурсів.

Об'єктом дослідження є технологічний процес мокрого гасіння коксу.

Предмет дослідження – забезпечення заданої точності вимірювань при калібруванні засобів вимірювання об'ємної витрати води.

Мета роботи: удосконалення техніко-технологічних та методологічних аспектів калібрування засобів вимірювання витрати рідин.

Методи дослідження: системний аналіз, методи математичного моделювання та математичної статистики, теорія невизначеності вимірювань, модельний експеримент.

Новизна роботи полягає у побудові математичної моделі вимірювання об'ємної витрати води методом диференційного зважування. Апробація засвідчує порівнянність метрологічних характеристик розробленої моделі витратомірної установки з вихідною.

Практична значимість полягає у перспективах розвитку та впровадження ідеї розробки витратомірної установки для калібрування засобів вимірювання витрати рідини методом диференційного зважування під встановлені метрологічні вимоги. Перспективи обумовлені техніко-технологічними перевагами моделі та більш досконалою методологією роботи при суттєво нижчій собівартості.

МОКРЕ ГАСІННЯ КОКСУ, ОБ'ЄМНА ВИТРАТА ВОДИ, ВИТРАТОМІР, КАЛІБРУВАННЯ, НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ, МЕТОД СТАТИЧНОГО ЗВАЖУВАННЯ, СТАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА

ABSTRACT

Explanatory note: __ pp., __ fig., __ tables, __ appendices, __ sources.

The relevance of the topic lies in the need to control water consumption for coke quenching in order to improve the economic performance of the enterprise and the implementation of a policy of reasonable consumption of energy resources.

The object of research is the technological process of wet coke quenching.

The subject of the research is the methods of providing a given accuracy of measurements during the calibration of the volumetric water flow measuring instruments.

Purpose: to improve the technical, technological and methodological aspects of calibration of liquid flow meters.

Research methods: systems analysis, methods of mathematical modeling and mathematical statistics, theory of measurement uncertainty, model experiment.

The novelty of the work is represented by the development of a mathematical model for measuring the volumetric water flow by the method of differential weighing. Approbation ensures the comparability of metrological characteristics of the developed and source test benches.

The practical significance lies in the prospects for the development and implementation of the idea of developing a test bench for calibration of liquid flow meters using differential weighing method under the established metrological requirements. Prospects are due to the technical and technological advantages of the model and a better methodology of work at a significantly lower cost.

WET COKE QUENCHING, VOLUMETRIC FLOW, FLOW METER, CALIBRATION, UNCERTAINTY OF MEASUREMENTS, METHOD OF STATIC WEIGHING, STATIC CHARACTERISTIC

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ ТА ВИЗНАЧЕНЬ	6
ВСТУП	7
1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
1.1 Коксохімічна промисловість	8
1.2 Мокре гасіння коксу	8
1.3 Об'єкт вимірювання	14
1.4 Структура витратоміру	15
1.5 Формулювання задачі дослідження	19
Висновки з розділу	20
2 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ	22
2.1 Аналітичний огляд витратомірної установки	22
2.2 Модернізація витратомірної установки	24
2.3 Математична модель вимірювання об'ємної витрати	26
2.4 Критерії точності вимірювань	28
2.5 Вибір засобів вимірювань	30
2.6 Калібрування робочого еталону	31
2.6.1 Опис процедури	31
2.6.2 Розробка програмного забезпечення для обробки результатів	35
2.7 Оцінка технічних та метрологічних характеристик установки	36
Висновки з розділу	38
3 ПРАКТИЧНИЙ РОЗДІЛ	39
3.1 Розробка методики калібрування витратоміру	39
3.1.1 Опис методики	40
3.1.2 Необхідні вихідні еталони	40
3.1.3 Підготовка до калібрування	40
3.1.4 Проведення калібрування	41
3.1.5 Визначення метрологічних характеристик	42

	5
3.2 Розробка програмного забезпечення для обробки результатів	44
3.3 Дослідження статичної характеристики витратоміру	44
3.4 Оцінка метрологічних характеристик	46
Висновки з розділу	47
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	48
Вступ	48
4.1 Розрахунок капітальних витрат	48
4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат	51
4.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань	52
4.2.2 Визначення річних витрат на технічне обслуговування та поточний ремонт	53
4.3 Визначення річної економії	54
4.4 Визначення та аналіз показників економічної ефективності	55
Висновки з розділу	56
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	57
5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих чинників	57
5.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці	58
5.2.1 Електробезпека	58
5.2.2 Оптимізація освітленості робочої зони	59
5.3 Розрахункова частина	60
5.4 Пожежна профілактика	59
5.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях	60
Висновки з розділу	64
ВИСНОВКИ	65
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	66
Додаток А – Блок-діаграма ПЗ для апроксимації експериментальних даних	70
Додаток Б – Блок-діаграма ПЗ для обробки результатів	71

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ ТА ВИЗНАЧЕНЬ

ЗВ – засіб вимірювання

АСКТП – автоматизована система керування технологічним процесом

ІВС – інформаційно-вимірювальна система

ВУ – витратомірна установка

СГП – середовище графічного програмування

МНК – метод найменших квадратів

ПД – інтерфейс передачі даних

ПЛК – програмуємий логічний контролер

ПЗ – програмне забезпечення

МХ – метрологічні характеристики

СХ – статична характеристика

ВСТУП

Мокре гасіння є превалюючим методом охолодження кам'яновугільного коксу. За мокрого гасіння коксу характеристиками, які визначають якість вихідного продукту є його вологість та механічна міцність. Враховуючи, що першочерговим чинником, який впливає на варіювання цих показів, є інтенсивність зрошування коксу водою після видачі, можна дійти висновку, що метрологічне забезпечення контролю цього параметру дозволило б підвищити показники економічної діяльності підприємства.

Для контролю витрати води на гасіння пропонується використовувати об'ємний витратомір. Оскільки свідчити про достовірність показів засобу вимірювальної техніки можна лише за їх метрологічної простежуваності, то для визначення дійсних метрологічних характеристик витратоміра його необхідно калібрувати за робочим еталоном, представленим витратомірною установкою.

З огляду на масштаби витратометрії водних ресурсів коксохімічних підприємств, а також недоліки сучасних витратомірних установок, доцільнішим варіантом є впровадження до парку робочих еталонів калібрувальної лабораторії установки, модернізованої під калібрувальні потреби підприємства.

Метою даної роботи є удосконалення техніко-технологічних та методологічних аспектів калібрування об'ємних витратомірів. Досягнення поставленої мети передбачає виконання ряду наукових завдань стосовно аналізу критеріїв точності вимірювання об'ємної витрати води, вдосконалення методології вимірювання при калібруванні, розробку методики калібрування та дослідження метрологічних характеристик робочого засобу вимірювальної техніки.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Коксохімічна промисловість

Коксохімічна промисловість – галузь важкої промисловості, яка забезпечує виробництво кам'яновугільного коксу підприємствами чорної металургії. Кам'яновугільний кокс містить 96-98 % вуглецю та використовується у якості палива в металургії, відновника залізної руди при виплавленні чавуну та розпушувача шихти. Виробництво кам'яновугільного коксу здійснюється шляхом хімічної переробки вихідної сировини методом коксування – нагріванням без доступу повітря у камері печі коксової батареї до температури 950–1100 °С продуктами згоряння коксового газу, що циркулюють каналами опалювальних простінок [1–2].

Приватне акціонерне товариство «Дніпровський коксохімічний завод» – одне з перших підприємств вітчизняної коксохімії, діяльність якого розпочалася з видачею першого коксу у 1931 р. Тривалий час коксохімічна продукція заводу була водночас якісною та найдешевшою в країні. У 1950 році обсяги виробництва підприємства становили десятю частину кам'яновугільного коксу, що вироблявся в Українській РСР. У 2019 році з 10 млн. т коксу, виробленого шістнадцятьма вітчизняними підприємствами, 530 тис. т видано Дніпровським коксохімічним заводом [3–4].

1.2 Мокре гасіння коксу

Кам'яновугільний кокс видається з камери печі з температурою 950–1100 °С. Для уникнення самозаймання розпеченого коксу на відкритому повітрі, що може призвести до його згоряння та ушкодження конвеєрної стрічки, а також для забезпечення можливості транспортування, сортування, зберігання та подальшої реалізації коксу його охолоджують до температури 250–100 °С [5].

Мокре гасіння є найбільш розповсюдженим методом охолодження коксу серед коксохімічних підприємств світу. Сучасний комплекс мокрого

гасіння коксохімічного підприємства включає гасильну вежу, насосну станцію, відстійник з естакадою для монорельсового грейферного візка, майданчик для зневоднення шламу та майданчик з рейковим шляхом для завантаження шламу у залізничний транспорт (рис. 1.1).

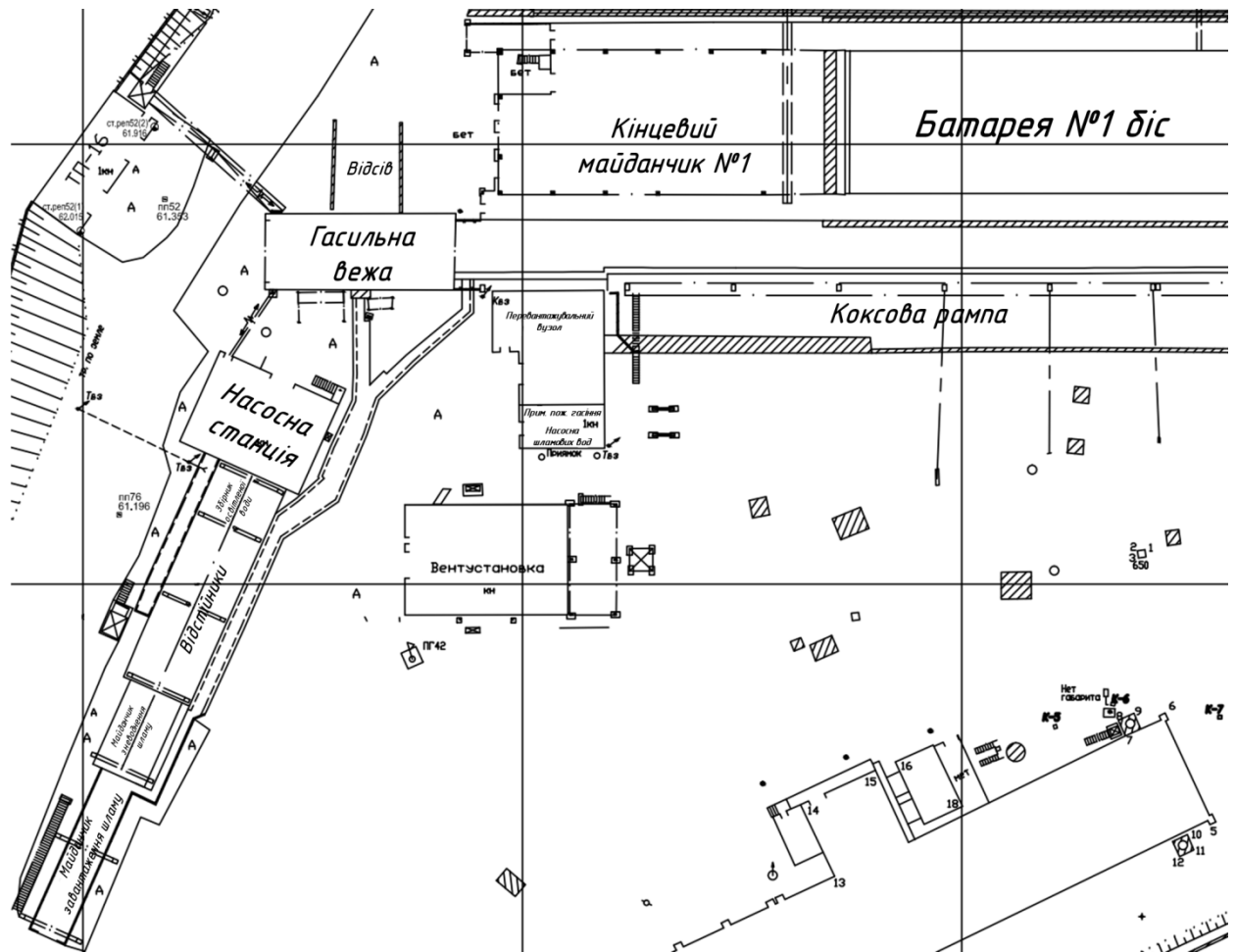


Рисунок 1.1 – Генеральний план технологічного об'єкта

Конструкція гасильної вежі зображена на рисунку 1.2. За даного методу гасильний вагон після завантаження розпеченим коксом пересувається електровозом під гасильну вежу, конструкція якої представляє собою залізобетонний каркас з витяжною трубою. Всередині вежі під витяжною трубою розташований зрошувальний пристрій у вигляді вертикально розміщеного внутрішнього основного колектора діаметром 500 мм, обладнаного відводами з п'ятнадцятьма форсунками діаметром 60 мм. Нагнітання води для гасіння та підтримка водяного стовпа оптимальної висоти протягом відстою забезпечуються двома відцентровими насосами

Д 3200-33-2 (20 НДН) потужністю по 400 кВт та продуктивністю по 3200 м³/год. Після відкриття запірного вентиля вода вибивається у гасильний вагон через форсунки зрошувача, до якого вона нагнітається насосами зі збірника оборотної води та стічних фенольних вод [6–7].

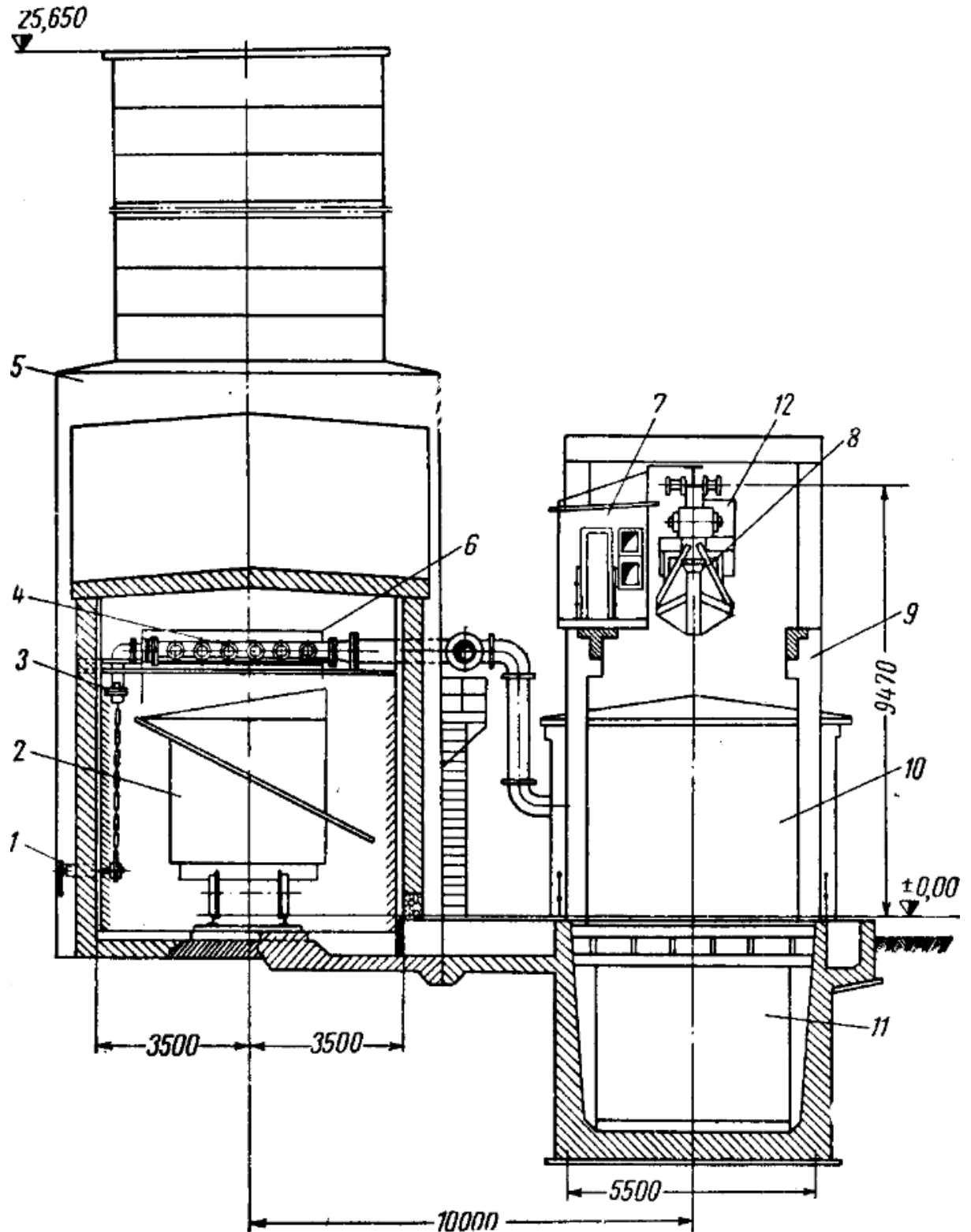


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд гасильної вежі у поперечному перерізі: 1 – пульт управління клапаном; 2 – гасильний вагон; 3 – спускний клапан; 4 –

зрошувач; 5 – гасильна вежа; 6 – направляючі щити; 7 – кабіна пульта управління грейферним візком; 8 – грейферний візок; 9 – естакада; 10 – насосна станція; 11 – відстійники; 12 – майданчик обслуговування вимикачів

Охолодження шматка коксу уздовж перерізу супроводжується зниженням тиску в каналах пор та тріщин, що сприяє всмоктуванню води каналами в тіло. Вода, досягши температурної зони 100 °С, миттєво випаровується, викликаючи різке підвищення тиску в каналах тіла, що сприяє проникненню частини водяної пари вглиб шматку, а частини – назовні. Рухаючись назовні, пара виштовхує з каналів воду. Тривале охолодження коксу та скорочення об'єму пари, що проникає вглиб тіла, зумовлює всмоктування води в канали, замикаючи коло.

Превалююча поширеність такого способу гасіння коксу у порівнянні з сухим гасінням зумовлена простотою технології, відсутністю необхідності у впровадженні складного обладнання та менш ресурсномістким процесом, який у середньому триває 90–120 с. Однак питома витрата води на гасіння складає до 4–5 м³/т, з яких безповоротно випаровується 0,5–0,7 м³ води та втрачається до 50% теплової енергії розпеченого коксу (~1550 МДж/т). Оборотна вода, яка не встигла випаруватись, транспортуючи коксовий дріб'язок стікає до відстійника, звідки після осідання коксового шламу з горішком та освітлення знову нагнітається насосом до зрошувача для гасіння наступної партії коксу.

Для коксу, який після видачі охолоджується безпосереднім контактом з водою, якісними показниками є його вологість та механічна міцність.

Погіршення механічних характеристик коксу зумовлюється утворенням в його тілі вторинних тріщин, спричиненим підвищеним рівнем термічних напружень внаслідок збільшення інтенсивності зрошування коксу, та, відповідно, швидкості його охолодження.

Вологість коксу визначають такі фізичні та техніко-технологічні чинники (рис. 1.3):

- Вимірювання зниження середньої об'ємної температури коксу різних класів крупності, проведені ПрАТ «Запоріжжкокс» показують, що потенційна всмоктуюча сила в каналах більших фракцій коксу не встигає реалізуватись, в той час як менші шматки, увібравши більшу кількість води, вже повністю охолодили. Цим зумовлюється збільшення відносної вологості класів меншої крупності коксу (табл. 1.1);
- Завузкий та непостійний кут розкриття водяного факелу зрошувача, спричинений недостатнім тиском води у колекторі через низьку продуктивність насоса, забрудненістю форсунок коксовим шламом та їх корозійною зношеністю, а також заглишенням крайніх форсунок при виборі режиму гасіння, охоплює кокс не по всій ширині гасильного вагону, спричиняючи нерівномірне гасіння коксу;
- Нерівномірний розподіл коксу в гасильному вагоні після видачі зумовлює надмірне зволоження «ям» та недостатнє зволоження «горбків»; на етапі видачі коксу нерівномірність насипу усувається шляхом синхронізації швидкостей руху гасильного вагону та штанги коксовиштовхувача.

Таблиця 1.1 – Відносна вологість зразків коксу різних класів крупності після гасіння

Клас коксу за крупністю, мм	<80	80–60	60–40	40–25	>25	Товарні класи	
						25–10	>10
Відносна вологість, %	1,7	3,2	7,9	10	5,6	18,4	22,7

Процес взаємодії води з нагрітим тілом, який супроводжується утворенням на поверхні охолоджуваного тіла парової плівки, називають

плівковим кипінням. Для процесу мокрого гасіння характерним є тепловий опір, утворюваний паровою плівкою між водою та охолоджуваним тілом. Інтенсивне пароутворення на початку гасіння пригальмовує процес охолодження коксу, водночас потік зрошувальної води перешкоджає евакуації пари з поверхні охолоджуваного тіла.

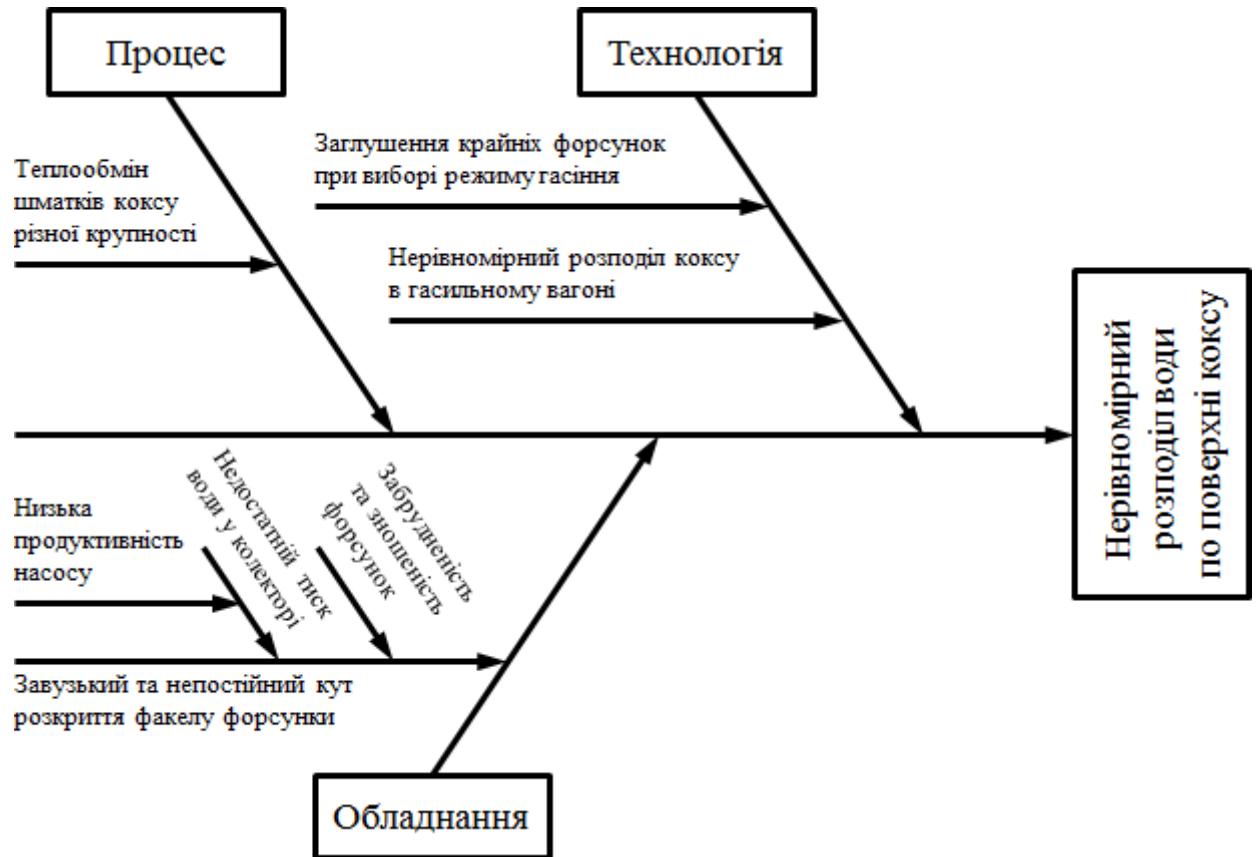


Рисунок 1.3 – Схема чинників, що визначають вологість коксу

З огляду на описані особливості процесу водяного охолодження коксу доцільним є впровадження на підприємстві інтервального режиму зрошування водою з метою мінімізації відносної вологості вихідного продукту та розкиду її значень за класами крупності коксу, а також питомої витрати води на гасіння. За такого режиму гасіння тимчасове припинення подачі води забезпечує евакуацію парової плівки з поверхні коксу, і вода після відновлення зрошування контактує безпосередньо з охолоджуваним тілом.

Інтервальний режим гасіння дозволяє скоротити тривалість гасіння коксу водою з 98 до 80 с, знизити середнє значення відносної вологості вихідного продукту з 6 до 3,5 %, розкид значень відносної вологості – з 2 до 1,5 % та зменшити витрату води на 10–15 % [8–9].

1.3 Об'єкт вимірювання

За інтервального режиму гасіння значення питомої витрати води повинне знаходитись на постійному рівні 0,03 м³/с на тонну коксу. Зависока швидкість подачі води призводить до надмірного зволоження коксу, тоді як за низької швидкості кокс охолоджується нерівномірно, чим зумовлюється ймовірність його самозаймання після розвантаження на рампу.

Корисний об'єм кожної з 45 камер коксування батареї №1 біс становить 41,6 м³, об'ємна щільність коксу на видачі з камери досягає значень 500 кг/м³. Виходячи з наведених даних, маса партії коксу на видачі в гасильний вагон становить до:

$$m_k = \rho_n \cdot V_k = 500 \cdot 41,6 = 20\,800 \text{ кг} = 20,8 \text{ т},$$

де ρ_n – насипна маса (об'ємна щільність) коксу;

V_k – корисний об'єм камери коксування.

Тоді швидкість витрати води на гасіння становитиме:

$$Q_{\Gamma} = Q_{\Pi} \cdot m_k = 0,04 \cdot 20,8 = 0,832 \frac{\text{м}^3}{\text{с}},$$

де Q_{Π} – питома швидкість витрати води на гасіння.

Аналіз особливостей процесу мокрого гасіння коксу та характеристики витрати води показує, що впровадження засобу вимірювання (ЗВ) об'ємної витрати води в комплекс АСКТП мокрого гасіння є економічно та технологічно доцільним рішенням. Такий ЗВ має забезпечувати найвищу точність в діапазоні вимірювань до 3000 м³/год. та можливість підключення до вимірювального каналу, бути конструктивно простим, враховуючи аспекти його монтажу, та мати низьку собівартість.

1.4 Структура витратоміру

Найпоширенішими типами ЗВ витрати рідини, що експлуатуються на промислових об'єктах, є електромагнітні, ультразвукові та вихрові витратоміри. У відповідності до вимог до технічних та метрологічних характеристик ЗВ об'ємної витрати води, а також до конструкції зрошувального пристрою та діаметру умовного проходу трубопроводу до розгляду висунуті три моделі витратомірів (табл. 1.2) [10].

Таблиця 1.2 – Порівняльний аналіз характеристик запропонованих витратомірів

Витратомір Параметр	Вихровий Эмис-Вихрь ЭВ-205ПД	Електромагнітний Siemens Sitrans MAG 3100/6000	Ультразвуковий FLOMIC FL 3805	
Діаметр умовного проходу, мм	500 (DN500)			
Максимальна швидкість потоку, м/с.	5	5,5	5,5	
Основна допустима похибка, %	±1	±0,25	T = -40..50 °C	±1
			T > 50 °C	±3
Інтерфейс передачі даних	Частотний сигнал, RS485	Частотний сигнал	RS232	
Вартість, грн.	28 000	50 000	35 000	

Серед розглянутих варіантів найоптимальнішим у співвідношенні технічних, метрологічних характеристик та вартості є заглибний вихровий витратомір «Эмис-Вихрь ЭВ-205», структурна схема якого зображена на рисунку 1.4.

Принцип роботи вихрового витратоміру базується на явищі «Вихрової доріжки Кармана». Дане фізичне явище полягає в утворенні вихрової доріжки завихреннями, по чергово виникаючими на кінцях бічних граней погано обтічного тіла при його обтіканні потоком рідини.

Типова схема вихрового витратоміру включає проливну ділянку, яка монтується в трубопровід технологічного об'єкта за допомогою фланців, та розташоване всередині проливної ділянки тіло обтікання, за яким попарно встановлені п'єзоелектричні датчики тиску в якості перетворювачів енергії потоку в частоту електричного сигналу. Пульсації тиску, що виникають у потоці в результаті завихрення, реєструються датчиками, при чому частота цих пульсацій f пропорційна до швидкості потоку v [11]:

$$f = Sh \frac{v}{d}, \quad (1.1)$$

де Sh – безрозмірний критерій – число Струхала;

d – ширина тіла обтікання.

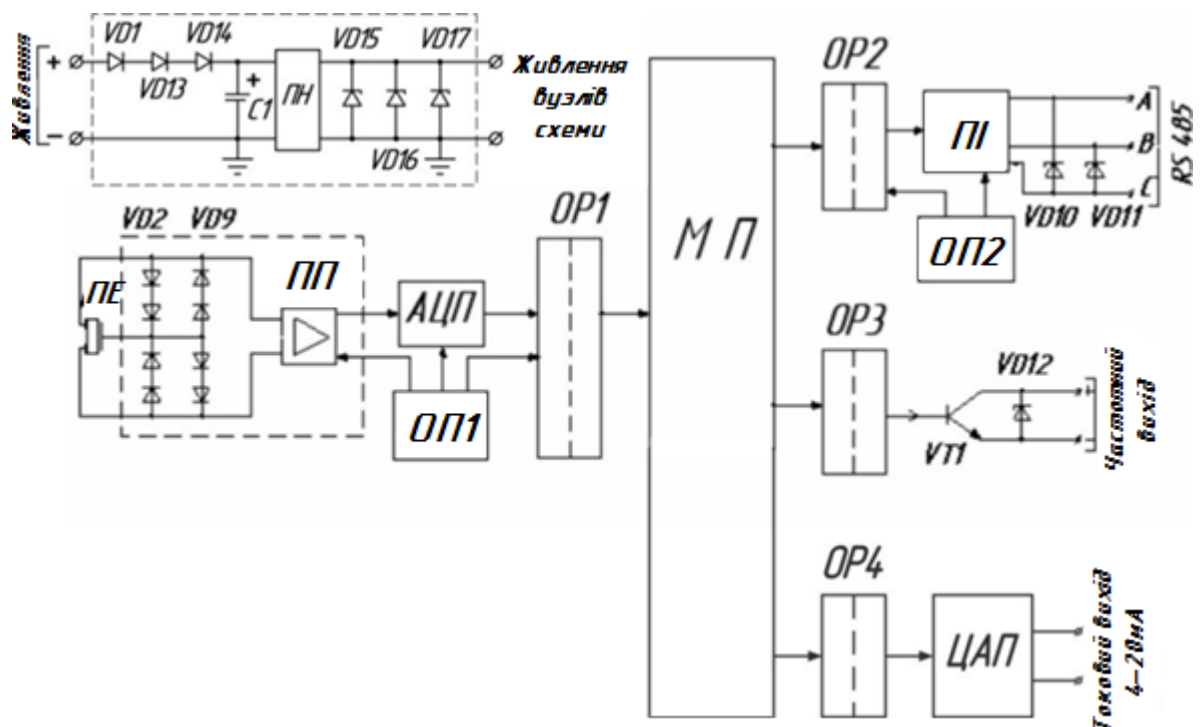


Рисунок 1.4 – Структурна схема вихрового витратоміру: ПН – перетворювач напруги; МІ – мікросхема перетворювача інтерфейсу; ПЕ – п'єзоелемент; ПП – попередній підсилювач; МП – мікропроцесор; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; ЦАП – цифрово-аналоговий перетворювач; VD1...VD9,

VD13, VD14 – діоди; VD10...VD12, VD15, VD17 – стабілітрони; OP1, OP2, OP3 – оптронні розв'язки; ОП1, ОП2 – джерело живлення з обмеженою потужністю; VT1 – транзистор частотного виходу

Максимальна частота вихідного сигналу перетворювача розраховується за наступною формулою:

$$F_{\max} = \frac{Q_{\max}}{3,6 \cdot m}, \quad (1.2)$$

де m – ціна імпульсу, л,

Q_{\max} – максимально вимірювана витрата, м³/год.

За замовчанням на перетворювачі встановлюється заводське значення частоти вихідного сигналу 1000 Гц.

Діаметр умовного проходу протічної ділянки заглибного витратоміру відмінний від діаметру трубопроводу, в якому він розміщується. Вимірювана витрата визначається автоматично пропорційно швидкості потоку рідини v та діаметру трубопроводу D , значення якого вноситься в пам'ять приладу. Таким чином, верхня межа діапазону вимірювань витратоміру, розміщеного у трубопроводі діаметром 500 мм становитиме:

$$Q_{\max} = 3600 \cdot v_{\max} \frac{\pi D^2}{4} = 3600 \cdot 5 \cdot \frac{0,25 \cdot \pi}{4} = 3540 \frac{\text{м}^3}{\text{год}},$$

де $v_{\max} = 5$ м/с – максимально допустима швидкість потоку рідини для заглибного витратоміру,

$D = 0,5$ м – діаметр трубопроводу.

Тоді значення ціни імпульсу дорівнюватиме:

$$m = \frac{Q_{\max}}{3,6 \cdot F_{\max}} = \frac{3540}{3600} = 0,983 \text{ л}$$

Повнопрохідний перетворювач ЭМ-200 (рис. 1.5, а) складається з проточної частини 1 та електронного блоку 2. Проточна частина представлена порожнім циліндром, у поперечному перерізі якого по чергово розміщені тіло обтікання 3 та чутливий елемент 4. Електронний блок монтується на циліндрі проточної частини за допомогою трубчатої стійки 5.

Завихрення, які по чергово утворюються тілом обтікання в напрямку потоку вимірюваної рідини, зумовлюють коливання тиску цієї рідини з обох сторін крила сенсора. Крило сенсора передає пульсації тиску на п'єзоелемент, який перетворює їх в електричний сигнал. Електронний блок формує вихідні сигнали перетворювача після підсилення, фільтрації, перетворень та цифрової обробки вхідних сигналів.

Заглибний перетворювач (рис. 1.5, б) складається з датчика 6, штанги 7, приварного патрубка 8 та електронного блоку 2. Датчик за конструктивним виконанням ідентичний повнопрохідному витратоміру та вимірює швидкість потоку в одній точці [12].

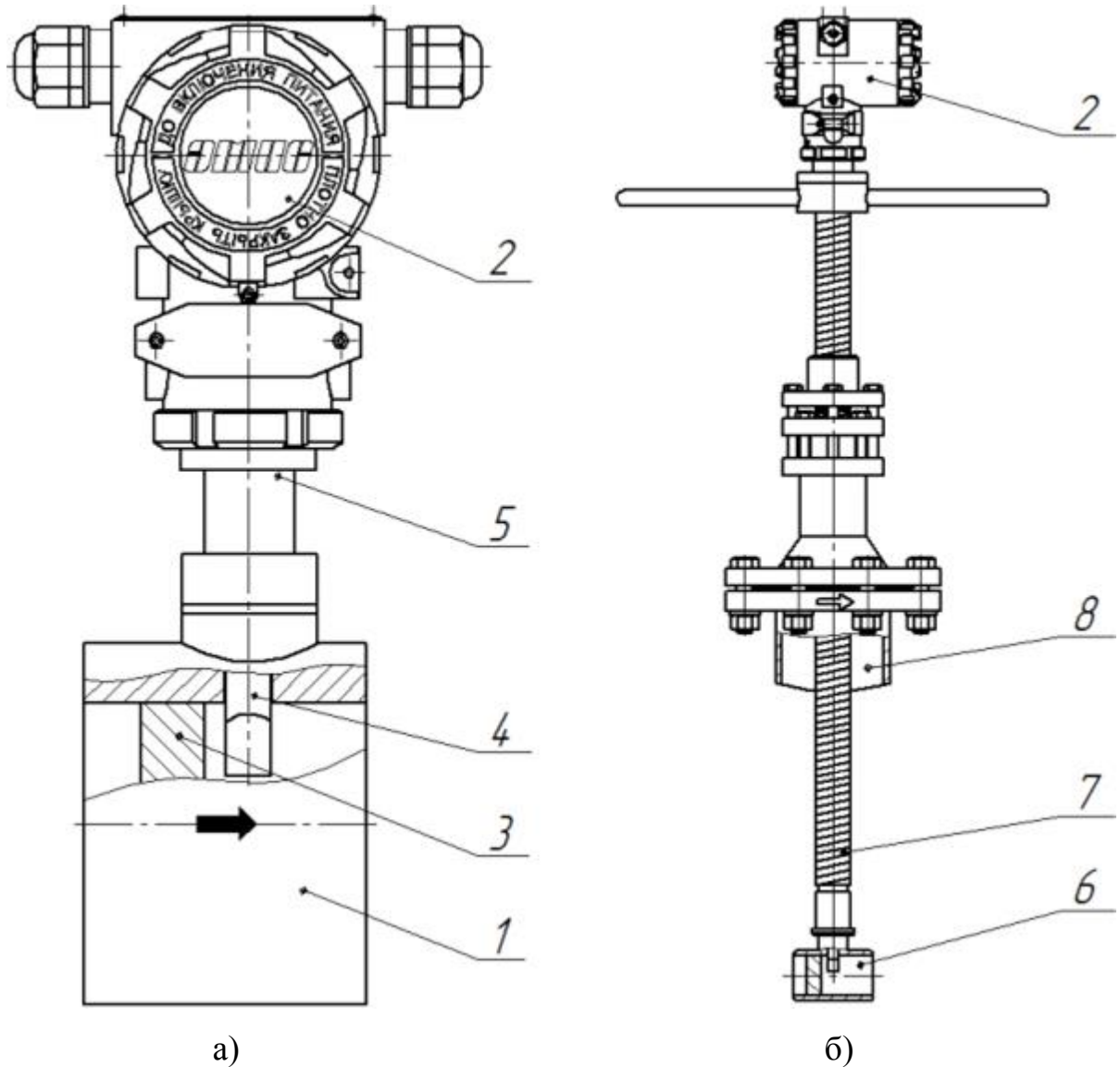


Рисунок 1.5 – Конструкція вихрового витратоміру

1.5 Формулювання задачі дослідження

З метою визначення дійсних метрологічних характеристик ЗВ проводиться його калібрування, за якого на першому етапі встановлюється співвідношення між значеннями величини, забезпеченими еталонами з притаманними їм невизначеностями вимірювань, та відповідними показами ЗВ з пов'язаними з ними невизначеностями, а на другому етапі встановлюється співвідношення цієї інформації для визначення результату вимірювання.

Калібрування засобів обліку витрат рідин, зокрема витратомірів-лічильників води, забезпечується витратомірними або проливними установками (рис. 1.6), конструкція яких включає ЗВ витрати рідини та зважувальний пристрій в якості робочих еталонів для прямих та непрямих вимірювань відповідно. Межі допустимої відносної похибки вимірювань витрат рідин ІВС таких установок зазвичай складають до 0,3% вимірюваних значень при прямих та 0,1–0,15 % при непрямих вимірюваннях [13].

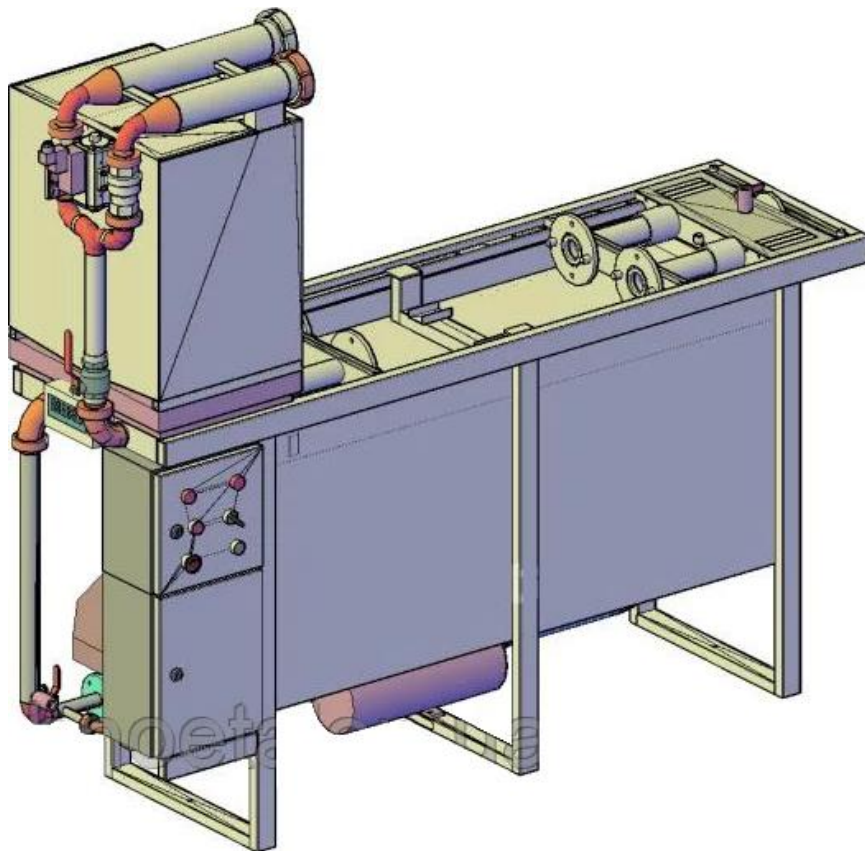


Рисунок 1.6 – Загальний вигляд проливної установки

Суттєві недоліки більшості сучасних конструкцій полягають в недосконалості технології роботи, методології вимірювання витрати та високій собівартості установки, пропорційній в першу чергу вартості еталонних ЗВ ІВС установки.

З огляду на обумовлені недоліки сучасних витратомірних установок обґрунтованим рішенням є впровадження модернізованої під вимірювальні потреби підприємства витратомірної установки в якості робочого еталону об'ємної витрати води.

З метою вдосконалення техніко-технологічних та методологічних аспектів калібрування об'ємних витратомірів постають наступні завдання:

- Удосконалення методології вимірювання об'ємної витрати;
- Побудова математичної моделі об'єкту вимірювання та вдосконалення методології вимірювання;
- Модернізація інформаційно-вимірювальної системи витратомірної установки;
- Визначення дійсних значень метрологічних характеристик модернізованої установки;
- Розробка методики калібрування об'ємного витратоміру.

Висновки з розділу

У розділі описано загальну конструкцію комплексу мокрого гасіння та особливості процесу водяного охолодження кам'яновугільного коксу в гасильній вежі батареї №1 біс ПрАТ «Дніпровський коксохімічний завод».

Розглянуто характеристику витрати води на гасіння коксу, особливості імпульсного режиму гасіння та доведено доцільність впровадження засобу обліку об'ємної витрати води в комплекс АСКТП гасильної вежі.

У відповідності висунутим вимогам до ЗВ об'ємної витрати виконано аналіз альтернатив витратомірів, об'ємної витрати води, обрано оптимальну модель, розгорнуто викладено її ключові технічні та метрологічні характеристики, розглянуто структурну схему та описано принцип роботи.

На основі вхідних даних сформульовано задачу дослідження: забезпечення заданої точності вимірювань при калібруванні витратоміру на проливній установці.

2 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналітичний огляд витратомірної установки

Витратомірні установки (далі – ВУ) експлуатуються у якості робочих еталонів при калібруванні та повірці витратомірів рідини. ВУ класифікуються головним чином за вимірюваним параметром та способом його вимірювання (рис. 2.1), при цьому техніко-технологічне забезпечення частини сучасних конструкцій передбачає можливість прямого та непрямого вимірювання обох параметрів. Типова конструкція ВУ включає [14–15]:

- Засоби зберігання та підготовки робочої рідини – резервуар, в якому реалізується принцип природного теплообміну робочої рідини з навколишнім середовищем або регулювання її температури термостатом, та деаератор;
- Пристрої для створення та стабілізації напору, представлені насосом для нагнітання робочої рідини та напірним баком або ресивером для стабілізації напору та демпфування пульсацій, утворюваних насосом. У встановлених випадках допускається подача робочої рідини до випробувальної ділянки безпосередньо від насосу;
- Випробувальну ділянку, призначену для встановлення витратомірів, що калібруються. Для забезпечення стабільного потоку ділянку проектують прямою на всій довжині;
- Пристрій для регулювання витрати, у більшості сучасних конструкцій представлений частотним регулятором подачі насосу;
- Еталонні ЗВ для визначення дійсного значення вимірюваної величини;
- Систему управління для задачі контрольних точок, обробки результатів калібрування, їх відображення, збереження та передачі.

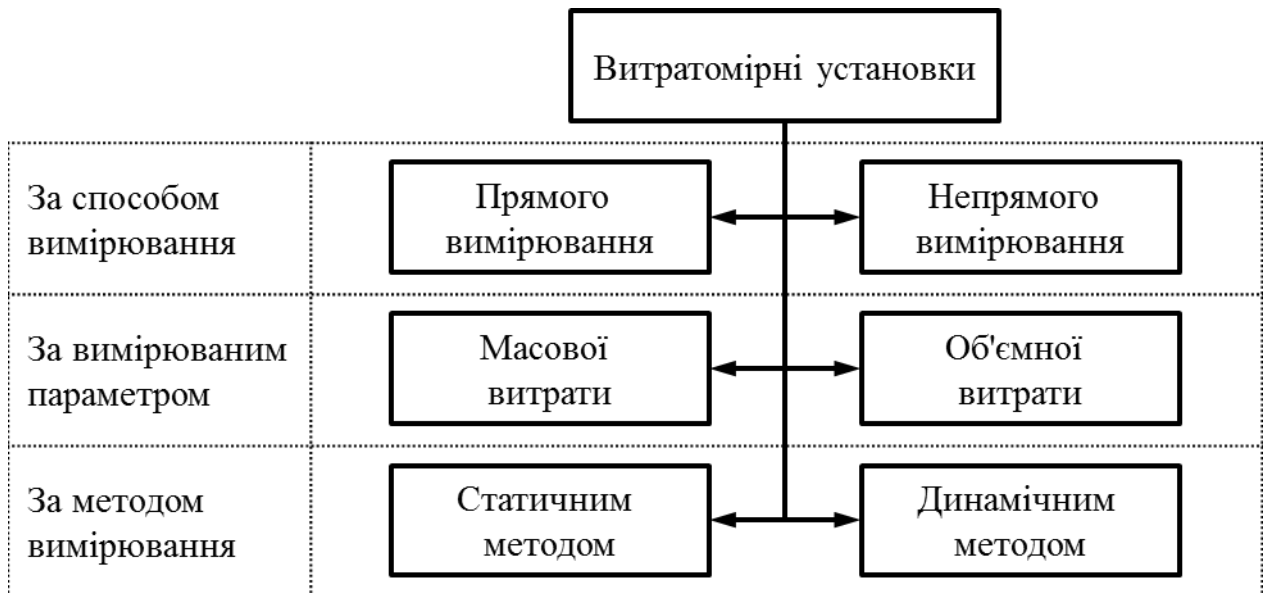


Рисунок 2.1 – Класифікація витратомірних установок

Установка (рис. 2.2) працює наступним чином: насос нагнітає робочу рідину з резервуару в напірний бак, звідки вона під стабілізованим напором поступає до випробувальної ділянки, де проходить через протічну ділянку ЗВ, що калібрується. Після проходження випробувальної ділянки робоча рідина поступає у прольотний бак або мірний бак, звідки зливається у резервуар. Витрата визначається за показами еталонного витратоміру, зважувального пристрою або рівнеміру в залежності від вимірюваної величини та виду вимірювань [16].

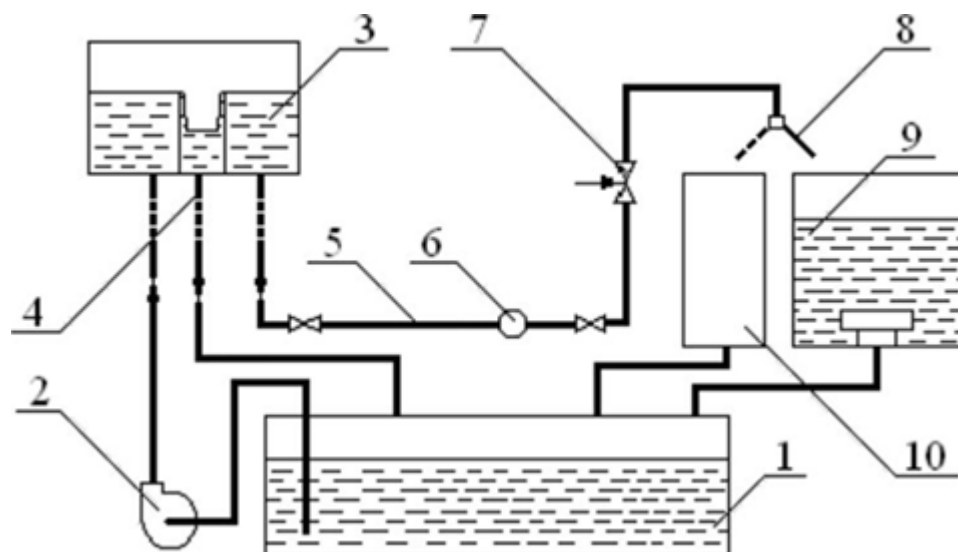


Рисунок 2.2 – Загальна конструкція витратомірної установки: 1 – резервуар; 2 – насос; 3 – напірний бак; 4 – байпасний трубопровід; 5 – випробувальна

ділянка; 6 – ЗВ, що калібрується; 7 – регулюючий вентиль; 8 – перекидний пристрій; 9 – мірний бак; 10 – пролітний бак

У рамках роботи розглядатиметься ВУ непрямого вимірювання об'ємної витрати методом статичного зважування пролітої рідини, оскільки величина похибки таких вимірювань визначається насамперед величиною похибки еталонного зважувального пристрою, яка зазвичай суттєво менша за похибку еталонних витратомірів або рівнемірів [17].

2.2 Модернізація витратомірної установки

Проведення калібрування робочих ЗВ на ВУ стандартної конструкції методом статичного зважування характеризується нетехнологічним процесом нагнітання робочої рідини до резервуара, що зважується, та перекачування/зливу рідини назад до оборотного резервуара. Воду пропонується перекачувати між двома резервуарами за схемою, зображеною на рисунку 2.3, а значення витрати розраховувати за різницею показів двох зважувальних пристроїв, які визначають масу кожного бака відповідно.

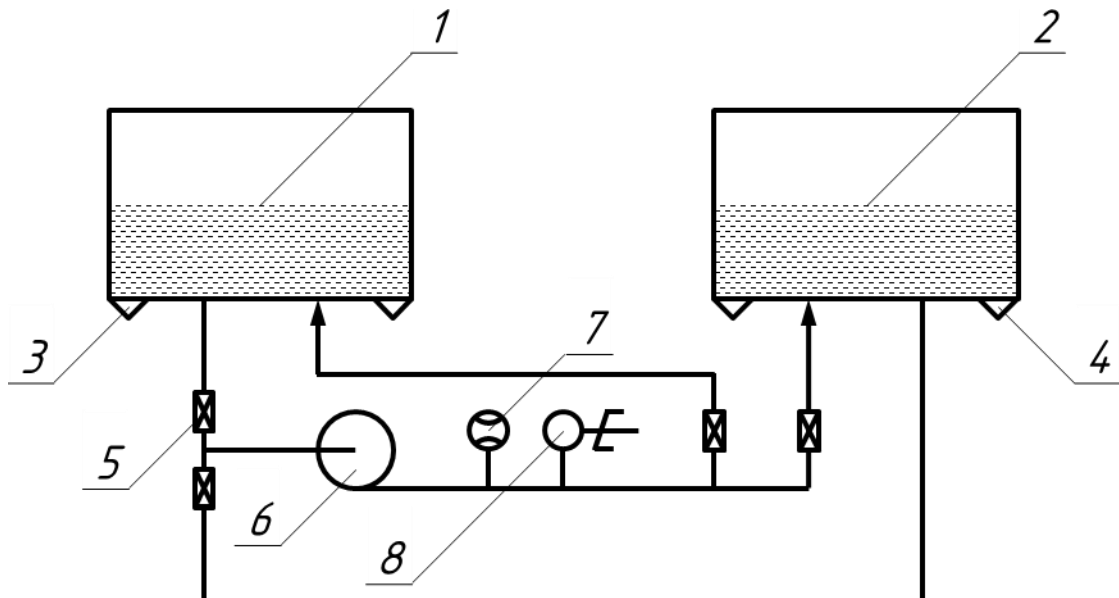


Рисунок 2.3 – Загальна схема запропонованої конструкції: 1, 2 – резервуари; 3, 4 – зважувальні пристрої; 5 – електромагнітний клапан; 6 – відцентровий насос; 7 – ЗВ, що калібрується; 8 – терморезистивний перетворювач

В рамках роботи також пропонується діаметр умовного проходу трубопроводу ВУ приймати рівним діаметру проливної ділянки датчика (40 мм), що розглядається в якості робочого ЗВ. Таким чином, насос установки повинен відтворювати об'ємну витрату понад:

$$Q_{\text{н}} = 3600 \cdot v_{\text{max}} \cdot S = 3600 \cdot v_{\text{max}} \frac{\pi \cdot D_{\text{д}}^2}{4} = 3600 \cdot 5 \cdot \frac{0,0016 \cdot \pi}{4} \approx 22,62 \frac{\text{м}^3}{\text{год.}}$$

де $v_{\text{max}} = 5$ м/с – максимальна допустима швидкість потоку рідини для датчика заглибного витратоміру,

$D_{\text{д}} = 0,04$ м – діаметр проливної ділянки датчика.

Для нагнітання води пропонується використовувати відцентровий насос подачею до $27 \text{ м}^3/\text{год.}$, укомплектований частотним регулятором.

За необхідності випрямлення потоку води передбачається можливість встановлення на початку випробувальної ділянки ВУ демпфуючого пристрою.

З метою зменшення випадкової складової похибки вимірювань при калібруванні витратомірів пропонується збільшувати кількість вимірювань. Мірний бак необхідно обирати виходячи з розрахунку, що при максимальній подачі води запасу його об'єму вистачить для реєстрації щонайменше 20 результатів вимірювань протягом одного циклу проливу в одному напрямі. Оскільки при калібруванні витратоміру реєструватиметься частота вихідного сигналу перетворювача, то час проливу в даному випадку складе 20 с. Враховуючи, що в момент часу до початку проливу вода в обох баках розташована на однаковому рівні, тобто кожен бак заповнений наполовину, необхідний мінімальний об'єм бака становитиме:

$$V = \frac{Q_{\text{н}}}{3600} \cdot 2 \cdot 20 = \frac{27}{3600} \cdot 2 \cdot 20 \approx 0,3 \text{ м}^3$$

Управління ВУ, збір та передачу даних передбачається здійснювати за допомогою програмуемого логічного контролера (далі – ПЛК), обробку результатів – за допомогою комп'ютера оператора із застосуванням ПЗ NI LabVIEW та модуля NI Data Acquisition.

2.3 Математична модель вимірювання об'ємної витрати

Об'ємна витрата рідини визначається, як співвідношення об'єму рідини V , пролітої за одиницю часу t :

$$Q = \frac{V}{t}, \quad (2.1)$$

Об'єм пролітої рідини визначається за співвідношенням:

$$V = \frac{m}{\rho}, \quad (2.2)$$

де m – маса пролітої рідини, кг,

ρ – щільність рідини, кг/м^3 .

Моделльне рівняння вимірювання об'ємної витрати рідини методом статичного зважування має наступний вигляд [18]:

$$Q = \frac{m_k - m_n}{t \cdot \rho}, \quad (2.3)$$

де m_k , m_n – маси резервуара вкінці та на початку проливу відповідно,

t – час проливу,

ρ – густина рідини.

Значення щільності води, яке варіюється в залежності від температури (рис. 2.4), передбачається визначати на основі регресійної моделі [19].

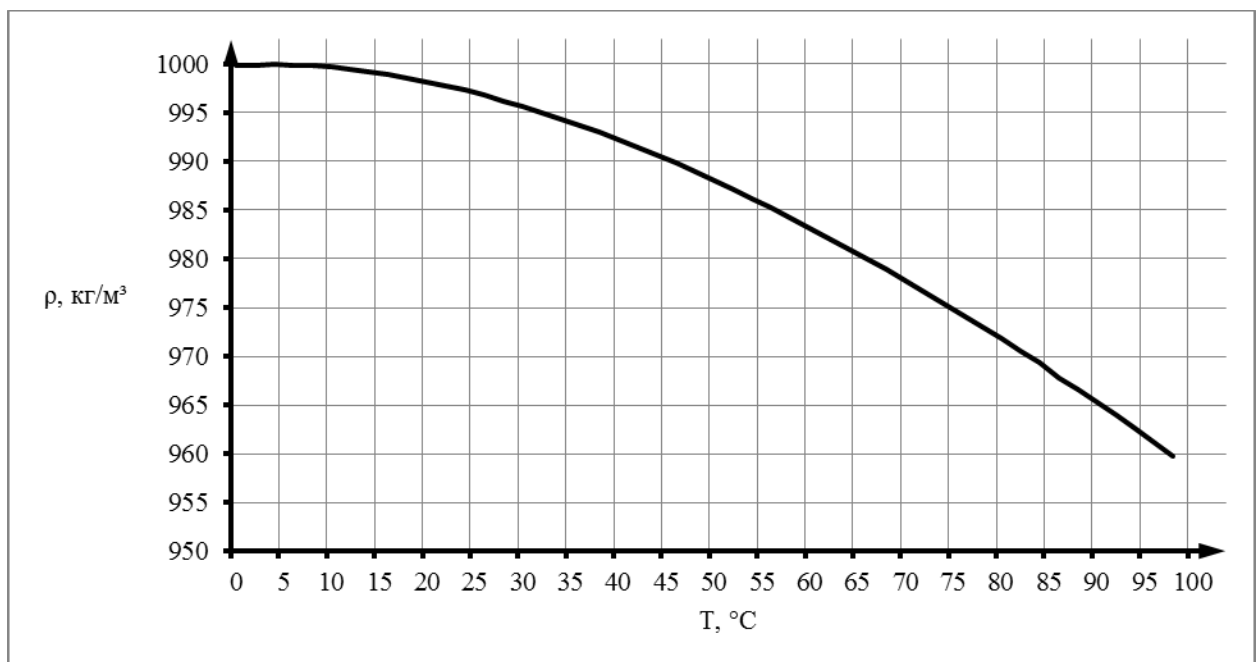


Рисунок 2.4 – Залежність щільності води від температури

Для встановлення наближеної функціональної залежності між щільністю води та її температурою виконана апроксимація експериментальних даних. Для зручності розрахунку та представлення результатів апроксимація виконана у спеціально розробленому в середовищі графічного програмування National Instruments LabVIEW програмному забезпеченні (рис. 2.5, додаток А).

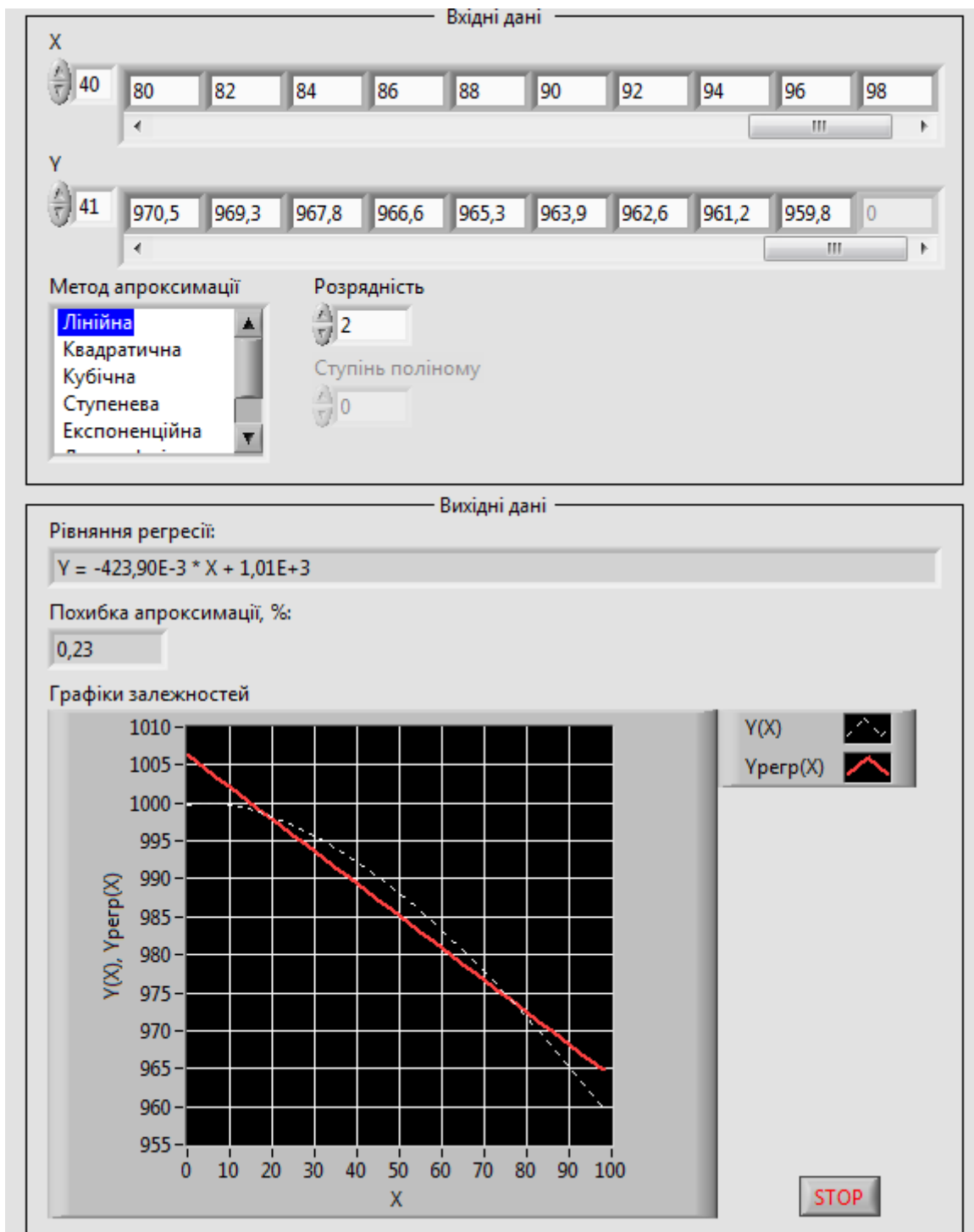


Рисунок 2.5 – Інтерфейс користувача програмного забезпечення

Функціонал програми представлений двома панелями вхідних та вихідних даних. Панель вхідних даних містить два масиви для вводу точок експериментальних даних, вікно списку доступних методів апроксимації та поле зі списком для вибору розрядності вихідних даних. Панель вихідних даних представлена текстовим та числовим полями для відображення кінцевого рівняння регресії та похибки апроксимації відповідно, графіком для відображення вхідної залежності та регресійної моделі та кнопкою зупинки програми.

Модель регресії приймається, якщо похибка апроксимації є нехтовно малою. Відносна похибка апроксимації розраховується за формулою:

$$\delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \cdot 100\%, \quad (2.4)$$

де n – розмір вибірки,

y_i – i -й член вихідної вибірки,

\hat{y}_i – i -й член апроксимованої вибірки.

Згідно з результатами програмних розрахунків, відносна похибка апроксимації експериментальних даних лінійною регресією методом найменших квадратів становить 0,23 %.

Для запропонованої конструкції ВУ модельне рівняння вимірювання набуде наступного вигляду:

$$Q = 3600 \frac{1}{2} \frac{|m_1 - m_2|}{t \cdot \rho(T)} = 3600 \frac{1}{2} \frac{|m_1 - m_2|}{t(-0,42 \cdot T + 1006,34)}, \quad (2.5)$$

де m_1, m_2 – маси води у першому та другому баках у кінці циклу (маси резервуарів виключені);

t – час проливу;

T – температура пролітої води.

2.4 Критерії точності вимірювань

Калібрування витратоміру на ВУ можливе за дотримання умови, що відношення невизначеності витратоміру як ЗВ, що калібрується, до

невизначеності проливної установки як еталонного ЗВ становить не більше, ніж 1 : 3. Невизначеність вимірювання пов'язана з результатом вимірювання та характеризує розкид значень, які обґрунтовано могли б бути приписані вимірюваній величині. ДСТУ-Н РМГ 43:2006 рекомендує співставлення оцінок характеристик похибки та невизначеностей результатів вимірювань за схемою, зведеною до таблиці 2.1 [20–22].

Для встановлення невизначеності вимірювань, а паралельно – виконання вимог Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» до метрологічної простежуваності еталонів калібрувальної лабораторії проливна установка як робочий еталон також підлягає калібруванню за еталоном одиниці об'ємної витрати рідини [23].

Таблиця 2.1 – Співставлення оцінок характеристик похибки та невизначеностей результатів вимірювань

СКВ, що характеризує випадкову похибку	Стандартна невизначеність типу А
СКВ, що характеризує невиключену систематичну похибку	Стандартна невизначеність типу В
СКВ, що характеризує сумарну похибку	Сумарна стандартна невизначеність
Довірчі границі похибки	Розширена невизначеність

З огляду на обумовлену ідею роботи та методику співставлення оцінок характеристик похибки та невизначеності вимірювань можна прийти до висновку, що підвищенню точності вимірювань об'ємної витрати при калібруванні витратоміру сприяють наступні чинники:

- Збільшення обсягу вибірки багатократних спостережень, принаймні не менше 10;

- Компонування ІВС установки ЗВ з найменшими невизначеностями вимірювань.

2.5 Вибір засобів вимірювань

У якості зважувальних пристроїв пропонується використовувати пару неавтоматичних електронних платформних ваг з межею вимірювань до 300 кг. Для передачі даних ваги обладнані інтерфейсом передачі даних (далі – ПД) RS232. Метрологічні характеристики ваг відповідають ДСТУ EN 45501:2017 [24].

Вимірювання температури рідини в закритих трубопроводах передбачається виконувати заглибним датчиком температури, який складається з термоперетворювача опору та аналого-цифрового перетворювача, та обладнаний ПД RS485.

Для відліку часу використовуватиметься системний таймер програмуемого логічного контролера (далі – ПЛК).

Таблиця 2.2 – Метрологічні характеристики ЗВ ІВС

Тип ЗВ	Діапазон вимірювань	Дискретність	Межі основної допустимої похибки
Ваги електронні неавтоматичні	2–300 кг	0,1 кг	Згідно ДСТУ EN 45501:2017
Термометр електронний заглибний	-40..+85 °C	0,1 °C	±0,1 °C
Таймер	-	0,001 с	З технічної документації

2.6 Калібрування робочого еталону

Калібрування робочих еталонів проводиться уповноваженими на проведення таких робіт виконавцями – науковими метрологічними центрами, які мають міжнародно визнані калібрувальні та вимірювальні можливості за відповідними видами та підвидами вимірювань із застосуванням національних еталонів, або науковими метрологічними центрами, метрологічними центрами та калібрувальними лабораторіями, акредитованими національним органом України з акредитації. Робочі еталони калібрують за методиками калібрування, які містяться в національних стандартах або розроблені виконавцями з урахуванням національних стандартів, гармонізованих з відповідними міжнародними та європейськими стандартами, та документів, прийнятих міжнародними та регіональними організаціями з метрології.

Лабораторія повинна оцінювати придатність застандартизованих, незастандартизованих методик та методик, розроблених лабораторією. Оцінювання придатності методик полягає у підтвердженні дослідженням та доказами дотримання конкретних вимог до специфічного цільового використання [25–26].

2.6.1 Опис процедури

Лабораторія повинна забезпечувати умови довкілля, які не зводитимуть нанівець результати роботи та не позначатимуться негативним чином на результатах вимірювань. Оптимальні значення параметрів довкілля зведені до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Необхідні умови довкілля для калібрування ВУ

Параметр	Оптимальне значення (область значень)	Допустиме відхилення
Температура повітря, °С	18–25	-

Продовження таблиці 2.3

Відносна вологість повітря, %	65	±15
Атмосферний тиск, кПа	84–106	-
Напруга змінного струму мережі, В	220	±4,4
Частота мережі, Гц	50	±1

При калібруванні ВУ пропонується виконувати багатократні (щонайменше 10) вимірювання маси пролітої води у 4 контрольних точках, які відповідають 10, 40, 60 та 90 % діапазону відтворюваних витрат.

Стандартні невизначеності типу А оцінюються на основі результатів багатократних вимірювань мас m_1 , m_2 ; стандартні невизначеності типу В оцінюються для зважувальних пристроїв, таймера, термометра та еталонного ЗВ за способами, наведеними у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Складові невизначеності вимірювання об'ємної витрати

Позначення	Опис	Спосіб визначення
$u_A(m_1)$	Стандартна невизначеність багатократних вимірювань маси m_1	$u_A(m_1) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_{1i} - \bar{m}_1)^2}{n(n-1)}}$ де \bar{m}_1 – середнє арифметичне n результатів вимірювань маси m_1
$u_B(m_1)$	Стандартна невизначеність зважувального пристрою m_1	$u_B(m_1) = \sqrt{\left(\frac{\Delta_{m_1}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{p m_1}}{2\sqrt{3}}\right)^2}$ де Δ_{m_1} – абсолютна похибка ЗВ маси m_1 , $\Delta_{p m_1}$ – похибка квантування ЗВ

Продовження таблиці 2.4

$u_A(m_2)$	Стандартна невизначеність багатократних вимірювань маси m_2	$u_A(m_2) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_{2i} - \bar{m}_2)^2}{n(n-1)}}$ <p>де \bar{m}_2 – середнє арифметичне n результатів вимірювань маси m_2</p>
$u_B(m_2)$	Стандартна невизначеність зважувального пристрою m_2	$u_B(m_2) = \sqrt{\left(\frac{\Delta_{m_2}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{p\ m_2}}{2\sqrt{3}}\right)^2}$ <p>де Δ_{m_2} – абсолютна похибка ЗВ маси m_2, $\Delta_{p\ m_2}$ – похибка квантування ЗВ</p>
$u_B(t)$	Стандартна невизначеність таймера	$u_B(t) = \frac{U_t}{2}$ <p>де U_t – розширена невизначеність таймера</p>
$u_B(T)$	Стандартна невизначеність термометра	$u_B(T) = \sqrt{\left(\frac{\Delta_T}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{АЦП}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{p\ T}}{2\sqrt{3}}\right)^2}$ <p>де Δ_T – абсолютна похибка ЗВ температури T, $\Delta_{АЦП}$ – похибка АЦП, $\Delta_{p\ T}$ – похибка квантування ЗВ</p>
$u_B(Q_{ет})$	Стандартна невизначеність еталонного ЗВ об'ємної витрати рідини	$u_B(Q_{ет}) = \frac{U_{Q_{ет}}}{2}$ <p>де $U_{Q_{ет}}$ – розширена невизначеність еталона</p>

Вхідні величини розглядаються, як некорельовані.

Сумарна стандартна невизначеність u_c некорельованих величин визначається за формулою:

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n [C_{X_i} \cdot u(x_i)]^2}, \quad (2.6)$$

де $u(x_i)$ – стандартна невизначеність, розрахована для оцінки x_i вхідної величини X_i за типом А або В;

C_{X_i} – коефіцієнт чутливості вихідної величини до зміни вхідної величини X_i , який розраховується, як частинна похідна функції вимірювання f за вхідною величиною X_i , при цьому значення вхідної величини X_i приймається рівним оцінці x_i величини:

$$C_{X_i} = \frac{\partial f}{\partial X_i} \quad (2.7)$$

Для побудованого модельного рівняння вимірювання сумарна стандартна невизначеність розраховуватиметься наступним чином:

$$\begin{aligned} u_c &= \sqrt{\left[\frac{\partial Q}{\partial m_1} u_A(m_1)\right]^2 + \left[\frac{\partial Q}{\partial m_1} u_B(m_1)\right]^2 + \left[\frac{\partial Q}{\partial m_2} u_A(m_2)\right]^2 + \left[\frac{\partial Q}{\partial m_2} u_B(m_2)\right]^2 +} \\ &\quad \left[\frac{\partial Q}{\partial t} u_B(t)\right]^2 + \left[\frac{\partial Q}{\partial T} u_B(T)\right]^2 + \left[\frac{\partial Q}{\partial Q_{\text{ет}}} u_B(Q_{\text{ет}})\right]^2 = \\ &= \sqrt{\left[\frac{3600(m_1 - m_2)}{2 \cdot t|m_1 - m_2|(-0,42 \cdot T + 1006,34)} u_A(m_1)\right]^2 +} \\ &\quad \left[\frac{3600(m_1 - m_2)}{2 \cdot t|m_1 - m_2|(-0,42 \cdot T + 1006,34)} u_B(m_1)\right]^2 +} \\ &\quad \left[-\frac{3600(m_1 - m_2)}{2 \cdot t|m_1 - m_2|(-0,42 \cdot T + 1006,34)} u_A(m_2)\right]^2 +} \\ &\quad \left[-\frac{3600(m_1 - m_2)}{2 \cdot t|m_1 - m_2|(-0,42 \cdot T + 1006,34)} u_B(m_2)\right]^2 +} \end{aligned}$$

$$+ \left[-\frac{3600|m_1 - m_2|}{2 \cdot t^2(-0,42 \cdot T + 1006,34)} u_B(t) \right]^2 +$$

$$+ \left[\frac{3600 \cdot 0,42|m_1 - m_2|}{2 \cdot t(-0,42 \cdot T + 1006,34)^2} u_B(T) \right]^2 + u_B^2(Q_{\text{ет}})$$

Для розрахунку розширеної невизначеності вимірювань U необхідно сумарну стандартну невизначеність u_c помножити на коефіцієнт охоплення k , який визначається в залежності від закону розподілу результатів [27]:

$$U = k \cdot u_c \quad (2.8)$$

Для рівня довіри $P = 0,95$ та нормального закону розподілу коефіцієнт охоплення k приймається рівним 2.

2.6.2 Розробка програмного забезпечення для обробки результатів

Для обробки результатів вимірювань у СГП NI LabVIEW розроблено ПЗ, функціонуюче за описаним алгоритмом (рис. 2.6, додаток Б).

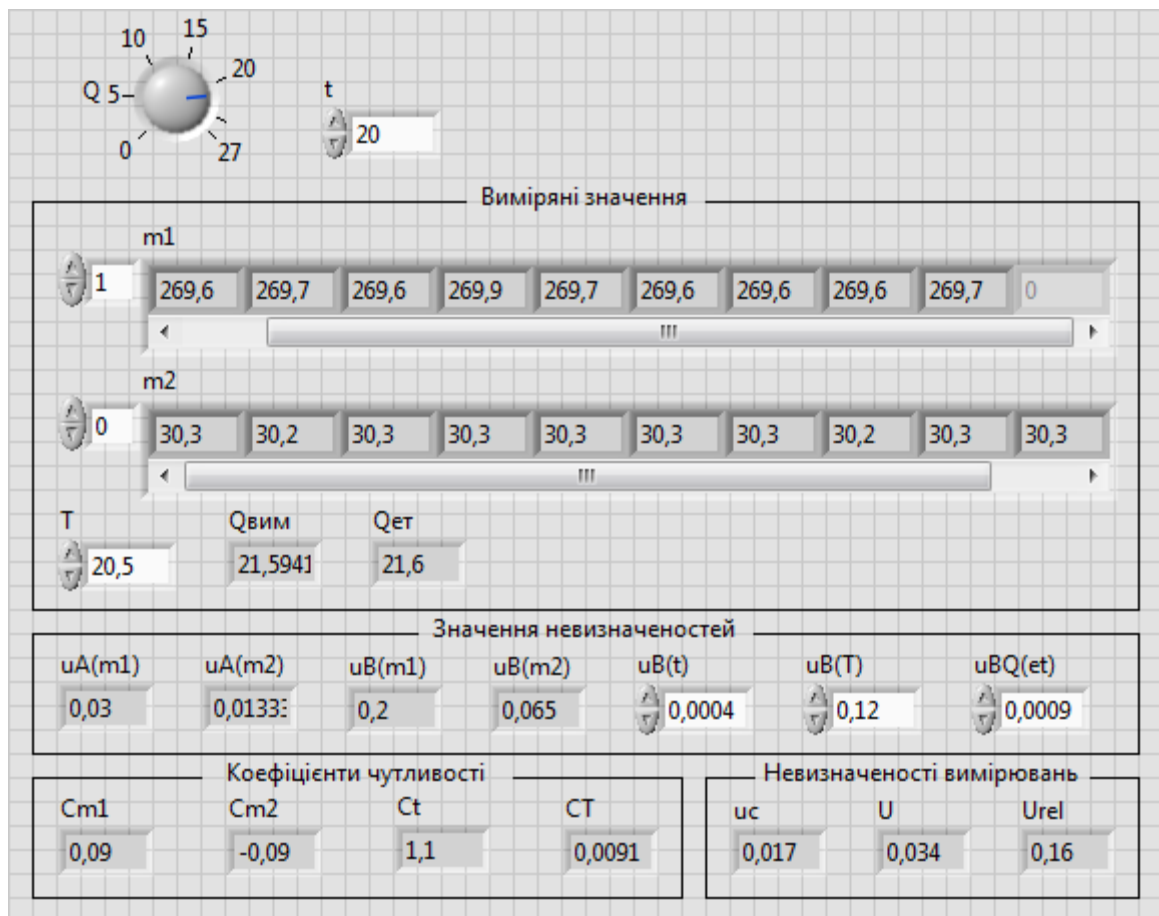


Рисунок 2.6 – Інтерфейс користувача ПЗ для обробки результатів

Графічний інтерфейс користувача ПЗ (рис. 2.6) представлений наступним функціоналом:

- Рухомим диском для встановлення заданої об'ємної витрати та числовим полем для вводу часу проливу;
- Панеллю вимірюваних значень, представленою двома масивами полів для відображення показів ваг, згенерованих випадковим чином у передбаченні нормального розподілу випадкової складової похибки;
- Полем вводу температури проливної води;
- Панелями значень невизначеностей з полями для відображення та вводу невизначеностей складових ЗВ та коефіцієнта охоплення;
- Панелями для відображення розрахованих коефіцієнтів чутливості та стандартної сумарної, розширеної та відносної розширеної невизначеностей вимірювань.

Враховуючи алгоритм роботи ВУ та метод реєстрації результатів, вибірки необхідно розділяти на дві групи з почерговою реєстрацією результатів вимірювань мас, а невизначеність вимірювання приймати рівною найбільшому значенню.

2.7 Оцінка технічних та метрологічних характеристик установки

Виходячи з результатів програмних розрахунків, відносна розширена невизначеність вимірювань витрати у контрольній точці 20 м³/год. становить:

$$U_{rel} = \frac{U}{Q} 100 = \frac{0,034}{21,59} 100 \approx 0,16\%,$$

де Q – значення витрати води, м³/год.

Величина відносної розширеної невизначеності вимірювань об'ємної витрати у 0,15% свідчить про порівнянність метрологічних характеристик запропонованої конструкції ВУ з існуючими альтернативами у відповідних

діапазонах вимірювань. У таблиці 2.5 представлено бюджет невизначеності вимірювань об'ємної витрати у контрольній точці 20 м³/год.

Таблиця 2.5 – Бюджет невизначеності вимірювань об'ємної витрати у контрольній точці 21,6 м³/год.

Вхідна величина	Оцінка величини	Тип стандартної невизначеності	Стандартна невизначеність	Коефіцієнт чутливості	Внесок
m ₁	269,67	A	0,03	0,09	0,0027
		B	0,2		0,018
m ₂	30,28	A	0,013	-0,09	0,0012
		B	0,065		0,0058
t	20	B	4·10 ⁻⁴	1,1	4·10 ⁻⁴
T	20,5	B	0,12	0,0091	0,0011
Q _{ет}	21,6	B	9·10 ⁻⁴	1	9·10 ⁻⁴
Вихідна величина			Сумарна стандартна невизначеність	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність
Q _{вим}	21,5941		0,017	2	0,034

Запропонована ВУ придатна для калібрування витратомірів об'ємної витрати до 27 м³/год. типорозміру з'єднань Ду 40 класу точності до 0,5. Для калібрування витратомірів інших типорозмірів з'єднань передбачена можливість модернізації випробувальної ділянки. Для наочності характеристики запропонованої та вихідної ВУ зведені до таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Характеристики ВУ

Параметр	Запропонована конструкція	Вихідна конструкція
Мінімально відтворювана витрата, м ³ /год.	2,5	0,005

Продовження таблиці 2.6

Максимально відтворювана витрата, м ³ /год.	27	25
Межі основної допустимої похибки, %	0,17	0,15
Верхня межа зважування, кг	300	100

Висновки з розділу

Запропоновано модернізацію конструкції витратомірної установки, алгоритму роботи та технології вимірювання для вирішення обумовлених у поточному розділі технологічних та методологічних недосконалостей, визначених на основі систематичного аналізу існуючої конструкції.

Для запропонованої методики вимірювання побудовано модельне рівняння з урахуванням температурної складової, визначеної шляхом апроксимації експериментальних даних у спеціально розробленому ПЗ.

На основі побудованого модельного рівняння вимірювання та отриманих експериментальних даних виконано аналіз складових та розрахунок невизначеності вимірювань.

Результати розрахунків засвідчують порівнянність МХ запропонованої конструкції з характеристиками існуючих установок при суттєвих техніко-технологічних, методологічних та економічних перевагах першої.

3 ПРАКТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Для визначення дійсних МХ витратоміра постає задача розробки методики калібрування за запропонованою конструкцією ВУ у якості робочого еталона об'ємної витрати води. Для контролю подачі води на гасіння передбачається визначати покази витратоміра за частотним вихідним сигналом, для забезпечення чого необхідно дослідити статичну характеристику витратоміра.

3.1 Розробка методики калібрування витратоміру

До проведення калібрування за розробленою методикою необхідно розробити процедури, що містять, щонайменше, таку інформацію [25]:

- відповідну ідентифікацію;
- сферу поширення;
- опис типу зразка, що підлягає калібруванню;
- параметри або кількісні показники та границі, що підлягають визначенню;
- апаратуру та устаткування, враховуючи вимоги до технічних характеристик;
- необхідні вихідні еталони;
- необхідні умови довкілля та необхідний період стабілізації;
- опис процедури, зокрема: прикріплення ідентифікаційних знаків, поводження, транспортування, зберігання та готування ЗВТ; перевірку, яка необхідна перед початком роботи; перевірку нормального функціонування і, якщо необхідно, регулювання устаткування перед кожним його використанням; спосіб реєстрації спостережень та результатів; заходи щодо безпеки, яких треба дотримуватися;
- критерії та вимоги для затвердження/відмови;
- дані, які реєструють, метод аналізування та форму подання;

– невизначеність або процедуру оцінювання невизначеності.

3.1.1 Опис методики

Розроблена методика калібрування поширюється на об'ємні витратоміри води з імпульсним вихідним сигналом.

Калібруванню підлягають вихрові об'ємні витратоміри води з межею вимірювань до 25 м³/год. фланцевого та безфланцевого з'єднання типорозміру Ду 40 з імпульсним вихідним сигналом частотою 0–1 кГц.

Контрольні точки та обсяг вимірювань визначаються за вимогою замовника робіт. За відсутності вимог для кожної з контрольних точок, що відповідають 10 %, 40 %, 60 % та 90 % діапазону вимірювань витратоміра, проводиться 50 реєстрацій показів витратоміра протягом кожного циклу проливу.

3.1.2 Необхідні вихідні еталони

Для проведення калібрування пропонується використовувати вихідні еталони, МХ яких наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Метрологічні характеристики еталонних ЗВ

Тип та найменування еталону	Відтворювана (вимірювана) величина	Діапазон вимірювань	Невизначеність вимірювань (k = 2; P _d = 95%)
Установка витратомірна	Об'ємна витрата води	(0,5–25) м ³ /год.	0,15 %
Частотомір	Частота електричного сигналу	0-1000 Гц	Зі свідоцтва про калібрування

3.1.3 Підготовка до калібрування

Параметри умов довкілля повинні реєструватись допоміжними ЗВ, що мають чинні свідоцтва про повірку/калібрування, та знаходитись у

діапазонах, зазначених у таблиці 3.2.

Витратомір та еталонні ЗВ повинні стабілізуватись за постійних умов довкілля у приміщенні лабораторії протягом години.

Таблиця 3.2 – Умови проведення калібрування

Параметр	Оптимальне значення (область значень)	Допустиме відхилення
Температура повітря, °С	18–25	-
Відносна вологість повітря, %	65	±10
Атмосферний тиск, кПа	84–106	-
Напруга змінного струму мережі, В	220	±4,4
Частота мережі, Гц	50	±1

Підготовка витратоміра, еталонних та допоміжних ЗВ до роботи проводиться у відповідності з їх настановами з експлуатації.

3.1.4 Проведення калібрування

Перед монтажем витратоміра до випробувальної ділянки ВУ необхідно провести його зовнішній огляд та засвідчитись у повній комплектності приладу (наявність запасних частин, необхідних для проведення калібрування), наявності маркування, чіткості нанесення написів та позначень (позначення приладу, товарний знак виробника, серійний номер, рік виготовлення, діапазони вимірювань тощо), відсутності механічних пошкоджень корпусу, пошкоджень покриття або елементів, які можуть порушувати чи ускладнювати роботу приладу.

Необхідно перевірити ВУ на предмет цілості ізоляції провідників, герметичності резервуарів, трубопровідного контуру в точках їх з'єднання між собою, з резервуарами, устаткуванням та ЗВ, відсутності зовнішніх пошкоджень проливного контуру та засвідчитись у заземленості ВУ.

Після монтажу витратоміра до випробувальної ділянки – перевірити надійність його фіксації та герметичність з'єднання торцевих стінок проливної ділянки датчика зі стінками трубопроводу випробувальної ділянки.

Проведення вимірювань при калібруванні проводиться за схемою, зображеною на рисунку 3.1.

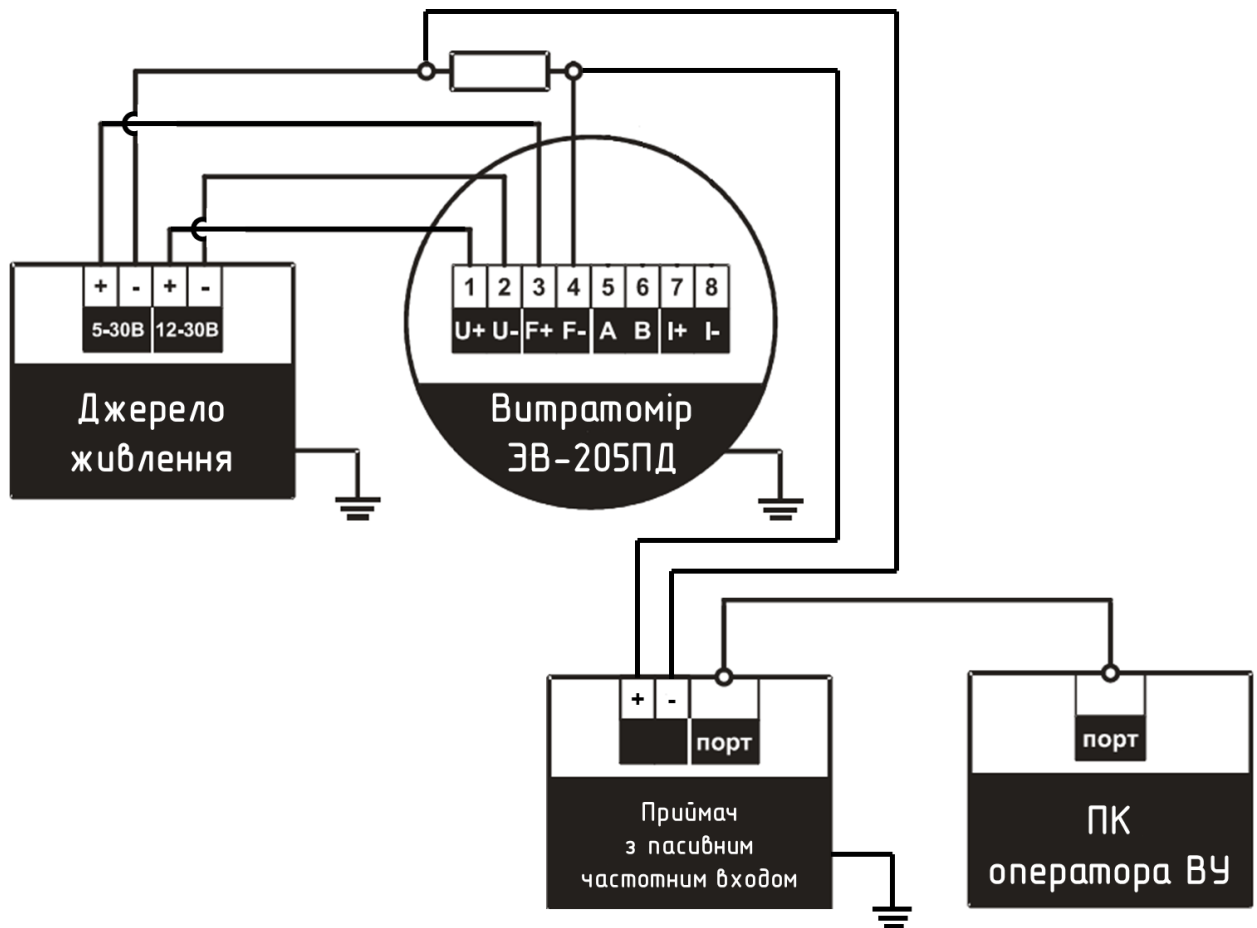


Рисунок 3.1 – Схема підключення витратоміра до вимірювального каналу при калібруванні

3.1.5 Визначення метрологічних характеристик

Враховуючи (1.2) та виходячи з аналізу складових невизначеності, які

впливають на фактичне значення результату вимірювання, модельне рівняння вимірювання об'ємної витрати води набуде наступного вигляду:

$$Q = 3,6 \cdot F \cdot m, \quad (3.1)$$

де F – частота вихідного сигналу ЗВ;

$m = 0,0063$ л/імп. – ціна імпульсу за замовчанням.

Складові невизначеності, які впливають на визначення дійсних значень МХ витратоміра, а також способи їх визначення зведені до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Складові невизначеності вимірювань при калібруванні витратоміра

Позначення	Опис	Спосіб визначення
$u_A(F)$	Стандартна невизначеність багатократних вимірювань частоти F	$u_A(F) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})^2}{n(n-1)}}$ де \bar{F} – середнє арифметичне n результатів вимірювань частоти F
$u_B(F)$	Стандартна невизначеність частотоміра	$u_B(F) = \frac{U_F}{\sqrt{3}}$ де U_F – розширена невизначеність частотоміра
$u_B(Q_{ет})$	Стандартна невизначеність, обумовлена ВУ	$u_B(Q_{ет}) = \frac{U_{Q_{ет}}}{2}$ де $U_{Q_{ет}}$ – розширена невизначеність ВУ

З урахуванням складових невизначеності, модельне рівняння сумарної невизначеності витратоміра при калібруванні набуде вигляду:

$$u_c(Q) = \sqrt{[0,0227 \cdot u_A(F)]^2 + [0,0227 \cdot u_B(F)]^2 + u_B^2(Q_{ет})}$$

Розширена невизначеність розраховується за (2.8), коефіцієнт

охоплення k приймається рівним 2.

3.2 Розробка програмного забезпечення для обробки результатів

Виконання розрахунків автоматизоване у ПЗ СГП NI LabVIEW (рис. 3.2, 3.3). На лицьовій панелі програми передбачений масив для вводу результатів вимірювань, поля для вводу ціни імпульсу, невизначеності частотоміра, ВУ та коефіцієнта охоплення.

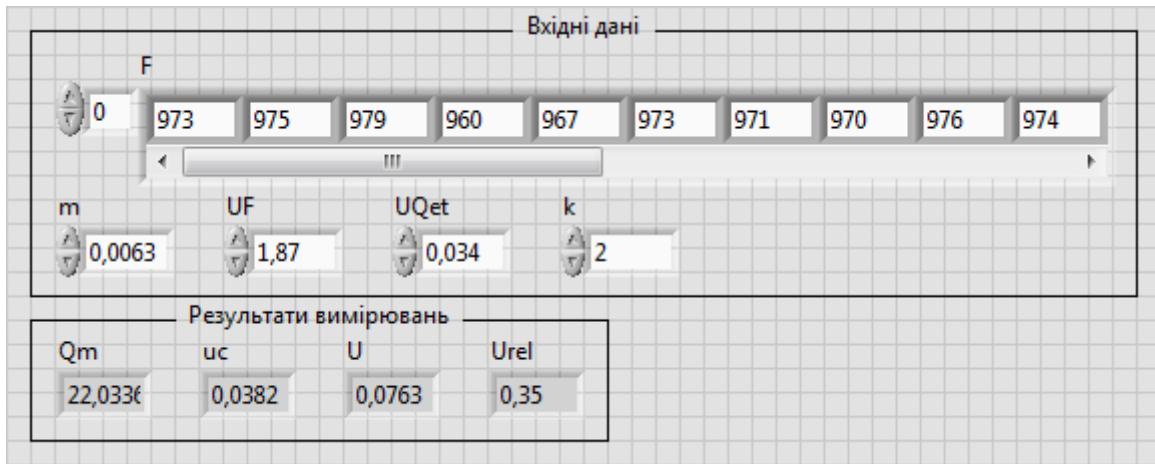


Рисунок 3.2 – Інтерфейс користувача ПЗ для обробки результатів

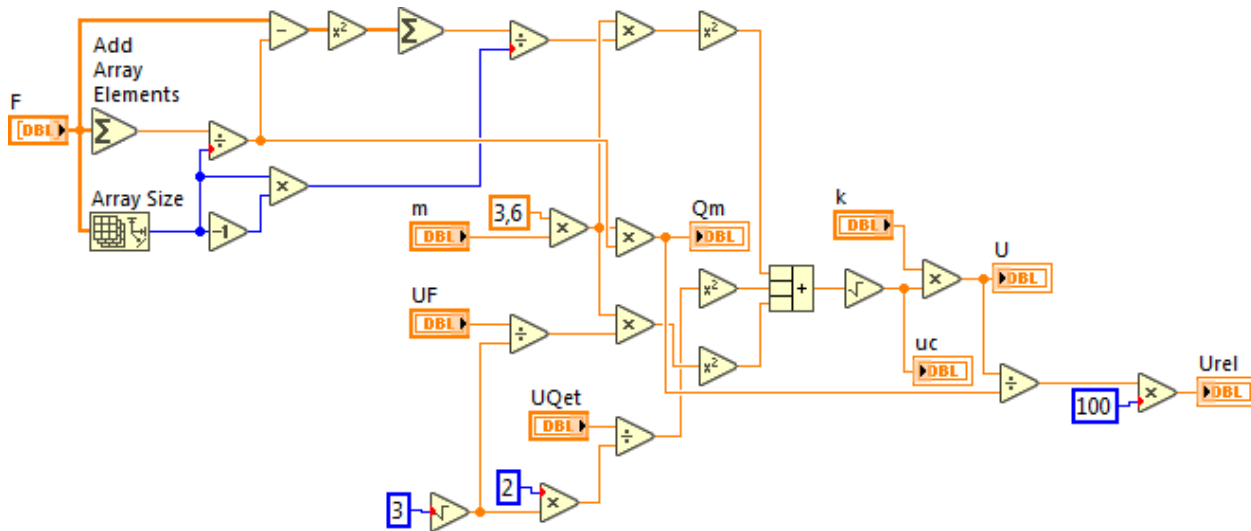


Рисунок 3.3 – ГК ПЗ для обробки результатів

3.3 Дослідження статичної характеристики витратоміру

Статична характеристика (далі – СХ) перетворення ЗВТ відповідає статичному режиму його роботи, за якого перетворювана величина не

залежить від часу, а тривалість перетворення достатня для загасання перехідних процесів у вимірювальному колі. У якості основних статичних характеристик ЗВТ розрізняють градувальну характеристику, функцію перетворення, коефіцієнт перетворення, чутливість, поріг чутливості та її похибки в статичному режимі [28].

Визначати СХ передбачається у вигляді функціональної залежності частоти вихідного сигналу від витрати. Дослідження СХ витратоміра з частотним вихідним сигналом виконано із застосуванням ПЗ для апроксимації експериментальних даних (рис. 3.4).

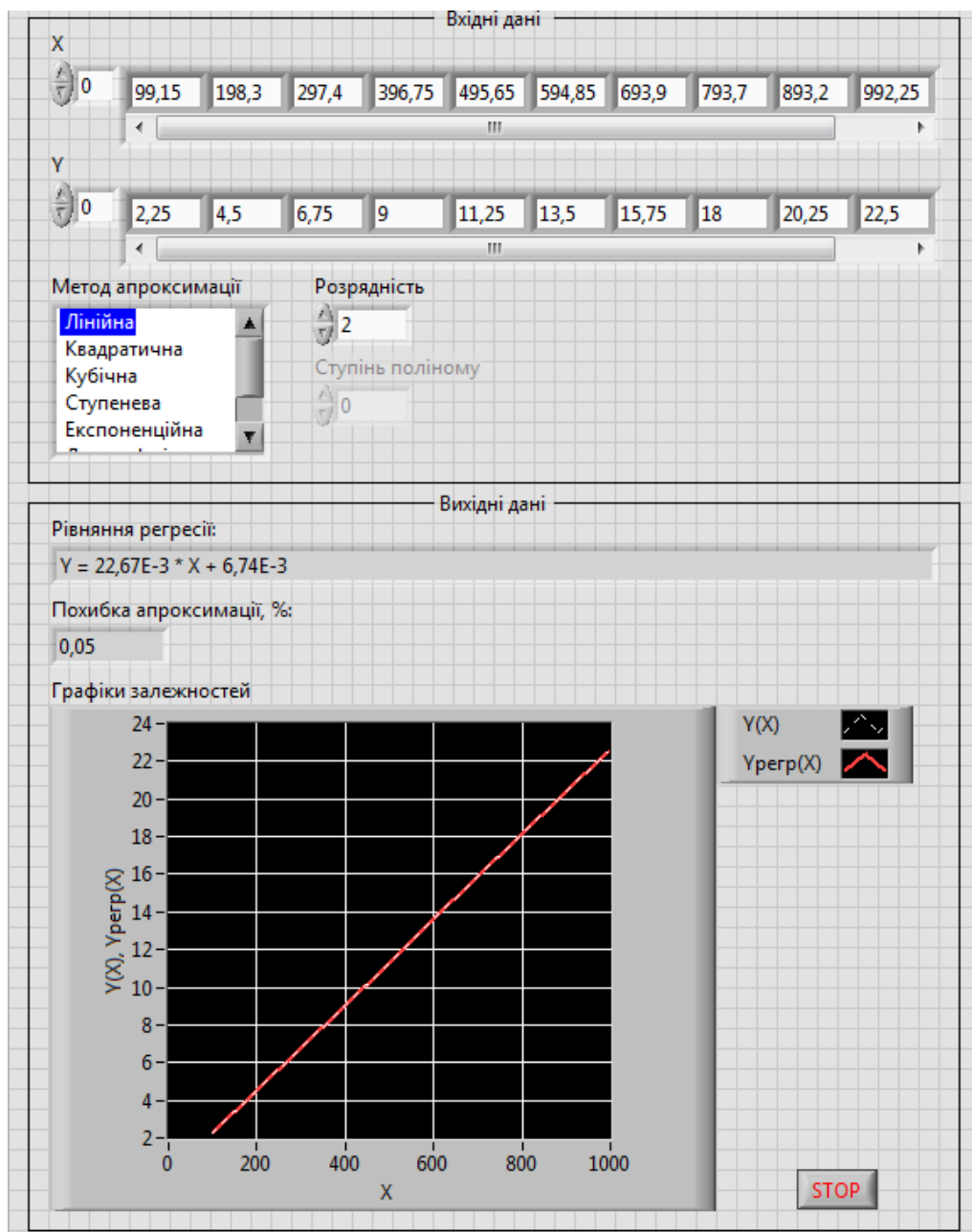


Рисунок 3.4 – Результати апроксимації експериментальних даних

На основі програмних розрахунків отримана наступна статична характеристика витратоміра з частотним вихідним сигналом:

$$Q = 22,67 \cdot 10^{-3} \cdot F + 6,74 \cdot 10^{-3},$$

де F – частота вихідного сигналу.

Відносна похибка апроксимації склала 0,05 %.

3.4 Оцінка метрологічних характеристик

Розробка та опробування процедури калібрування витратоміру об'ємної витрати рідини з частотним вихідним сигналом на ВУ модернізованої конструкції дозволили визначити дійсні метрологічні характеристики витратоміра, зазначені у бюджеті невизначеності вимірювань об'ємної витрати в контрольній точці 22 м³/год. (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Бюджет невизначеності вимірювань об'ємної витрати

Вхідна величина	Оцінка величини	Тип стандартної невизначеності	Стандартна невизначеність	Коефіцієнт чутливості	Внесок
F	970	A	1,05	0,0227	0,0238
		B	1,0797		0,0245
Q _{ет}	22	B	0,017	1	0,017
Вихідна величина			Сумарна стандартна невизначеність	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність
Q	21,9781		0,0382	2	0,0763

Межі основної допустимої відносної похибки витратоміра становлять:

$$\delta_Q = \frac{U_Q}{Q} \cdot 100 \approx 0,35\%$$

Висновки з розділу

У розділі розроблено процедуру калібрування витратоміру об'ємної витрати з частотним вихідним сигналом. На основі модельного рівняння вимірювання проаналізовано складові невизначеності вимірювань.

В ході модельного експерименту за допомогою ПЗ, розробленого для обробки результатів вимірювань визначено дійсні метрологічні характеристики витратоміра. Межі основної допустимої похибки вимірювань становлять 0,35 %.

На основі зареєстрованих результатів вимірювань досліджено статичну характеристику, представлену лінійною регресійною моделлю. Похибка апроксимації методом найменших квадратів склала 0,05 %.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Вступ

Забезпечення єдності вимірювань у витратометрії водних ресурсів на коксохімічному підприємстві підвищує економічні показники його діяльності за рахунок, перш за все:

- економії електроенергії, що споживається агрегатами, які нагнітають стічні води до зрошувача;
- скорочення показників вологості вихідного продукту;
- підвищення механічних характеристик коксу.

Зіставляючи масштаби витратометрії водних ресурсів на підприємстві та відстань до найближчого вповноваженого на калібрування ЗВ об'ємної витрати води виконавця можна дійти висновку, що з метою скорочення логістичних витрат та витрат часу доцільним рішенням є впровадження витратомірної установки до парку робочих еталонів калібрувальної лабораторії підприємства.

Для прийняття рішення стосовно економічної обґрунтованості впровадження ЗВ об'ємної витрати стічних вод на гасіння коксу, та ВУ, модернізованої під поставлену задачу калібрування таких ЗВ, необхідно визначити річну економію та період окупності технічного рішення на основі супутніх розрахунків [29].

4.1 Розрахунок капітальних витрат

Розмір проектних капітальних інвестицій визначає обсяг коштів, призначених для створення та придбання основних засобів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації, та розраховується за формулою:

$$K_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^k (K_{\text{об } i} + Z_{\text{д } i}) + Z_{\text{МН}} + Z_{\text{ТЗС}} + Z_{\text{ін}}, \quad (4.1)$$

де k – кількість необхідних комплектуючих;

$K_{\text{об } i}$ – вартість придбання i -ї одиниці обладнання;

$Z_{дi}$ – витрати на доставку i -ї одиниці обладнання;

$Z_{МН}$ – витрати на монтажні та налагоджувальні роботи;

$Z_{ТЗС}$ – транспортно-заготівельні та складські витрати;

$Z_{ін}$ – інші одноразові вкладення грошових коштів.

Для більшої наочності інвестиції на придбання обладнання зведено до таблиці 4.1 [30].

Таблиця 4.1 – Капітальні інвестиції на придбання обладнання

Найменування	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сумарна вартість, грн.
ЗВ			
Ваги платформні FS608E	2	7490	14980
Термометр заглибний ДТС125-50М	1	480,50	480,50
Витратомір вихровий ЭВ-205ПД	1	28000	28000
Передавальні пристрої			
Насос відцентровий Speroni CS 32-160C	1	16826	16826
Частотний перетворювач Danfoss FC-51 1.5кВт 3-ф/380В	1	9576	9576
Електромагнітний клапан GAMA DSS-40 N.C.	4	3225,60	12902,40
Контролер ОВЕН ПЛК100	1	5739,60	5739,60
Програмне забезпечення			
NI LabVIEW 2020	1	11470	11470

Продовження таблиці 4.1

ПЗ управління роботою ВУ	1	1600	1600
ПЗ обробки результатів LabVIEW	1	800	800
Інше			
Водяний бак 300 л	2	1490	2980
Випробувальна трубопровідна ділянка	1	7750	7750
Каркас установки	1	3913,20	3913,20
Всього, грн.			117017,70

Витрати на монтажні та налагоджувальні роботи передбачають витрати на збір ВУ з урахуванням витрат на програмування ПЛК установки, її калібрування $Z_{\text{КВУ}}$, монтаж відкаліброваного витратоміра на трубопровідній ділянці комплексу мокрого гасіння, та розраховуються за формулою:

$$Z_{\text{МН}} = Z_{\text{КВУ}} + \sum_{i=1}^k (C_i \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_{\text{Д}} \cdot K_{\text{СВ}} \cdot K_{\text{ІН}}, \quad (4.2)$$

де $Z_{\text{КВУ}}$ – витрати на калібрування ВУ (враховуючи вартість транспортування установки до метрологічного центру та назад);

k – кількість спеціальностей або розрядів задіяних працівників;

C_i – чисельність працівників i -ї спеціальності або розряду, необхідних для виконання певного обсягу монтажних або налагоджувальних робіт, чел.;

a_i – годинна тарифна ставка працівника i -го розряду, грн.;

t_i – час, необхідний для виконання певного обсягу монтажних або налагоджувальних робіт, год.;

$K_{\text{Д}}$ – коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

K_{CB} – коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок;

$K_{ін}$ – коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення монтажних або налагоджувальних робіт.

Людські ресурси, необхідні для виконання монтажних та налагоджувальних робіт, розраховані на основі тарифної сітки та зведені до таблиці 4.2 [31].

Найменування професії	Необхідна кількість спеціалістів	Час виконання робіт, год.	Годинна тарифна ставка, грн./год.
Слюсар	2	9	63,35
Електромонтер	1	6	87,40
Зварювальник	1	2	95,42
Програміст	1	2	77,58
Всього, грн.			1819,86

З урахуванням розміру єдиного соціального внеску, який станом на 01.09.2020 складає 22%, витрати на монтажні та налагоджувальні роботи становитимуть [32]:

$$Z_{MH} = 4200 + 1,22 \cdot 1819,86 = 6653,06 \text{ грн.}$$

Установку передбачається транспортувати з точки збору до калібрувальної лабораторії, а після калібрування – до суб'єкта експлуатації. Тоді транспортно-заготівельні та складські витрати дорівнюватимуть [33]:

$$Z_{ТЗС} = 330 + 991,80 = 1321,80 \text{ грн.}$$

Таким чином, обсяг проектних капітальних витрат становитиме:

$$K_{пр} = 117017,7 + 11153,06 + 1321,80 = 124992,56 \text{ грн.}$$

4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

До основних статей витрат на експлуатацію та обслуговування ВУ відносяться:

- амортизаційні відрахування C_A ;

- заробітна плата обслуговуючого персоналу C_3 ;
- єдиний соціальний внесок C_C ;
- витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт устаткування C_T ;
- вартість спожитої ВУ протягом року електроенергії C_E ;
- інші експлуатаційні витрати $C_{ін}$.

Річні експлуатаційні витрати розраховуються за формулою:

$$C = C_A + C_3 + C_C + C_T + C_E + C_{ін} \quad (4.3)$$

Враховуючи, що впровадження технічного рішення не передбачає наймання нового персоналу, заробітна плата та єдиний соціальний внесок не розраховуються; також не розраховуються інші експлуатаційні витрати, які визначаються, як 4 % річного фонду заробітної плати ($C_3 = 0$, $C_C = 0$, $C_{ін} = 0$) та вартість спожитої установкою та витратоміром електроенергії.

4.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Амортизація об'єкта основних засобів нараховується виходячи з терміну його корисного використання. Строк корисного використання об'єкта основних засобів та нематеріальних активів визначається підприємством, та не може бути менше мінімально допустимих термінів корисного використання (табл. 4.3).

Вартістю основних засобів та нематеріальних активів, що амортизуються, є первісна або переоцінена вартість основних засобів та нематеріальних активів за вирахуванням їх ліквідаційної вартості:

$$\Phi_A = \Phi_{П} - Л, \quad (4.4)$$

де $\Phi_{П}$ – первісна або переоцінена вартість об'єкта основних засобів;

$Л$ – розрахункова ліквідаційна вартість основних засобів; в рамках роботи при лінійному методі амортизації ліквідаційна вартість об'єкта основних засобів приймається рівною нулю ($Л = 0$).

Норма амортизації при прямолінійному методі постійна протягом усього амортизаційного періоду і дорівнює:

$$H_A = \frac{\Phi_{\Pi} - Л}{\Phi_{\Pi} \cdot T_{\Pi}} 100\%, \quad (4.5)$$

де T_{Π} – термін корисного використання.

Термін корисного використання витратомірної установки та витратоміра приймається рівним 12 рокам. Тоді норма амортизації дорівнюватиме:

$$H_A = \frac{124992,56}{124992,56 \cdot 12} 100 = 8,3 \%$$

Річні амортизаційні відрахування АВ за прямолінійним методом розраховуються за формулою:

$$AB = \frac{\Phi_{\Pi} \cdot H_A}{100} \quad (4.6)$$

Для норми амортизації 8,3 % річні амортизаційні відрахування складуть:

$$AB = \frac{124992,56 \cdot 8,3}{100} = 10374,38 \text{ грн}$$

4.2.2 Визначення річних витрат на технічне обслуговування та поточний ремонт

Річні витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт ВУ враховують витрати на її транспортування Z_T до метрологічного центру та назад з метою здійснення її калібрування Z_K , та обслуговування/ремонт насоса:

$$Z_{TP} = \sum_{i=1}^n \left(R_i \cdot t_i \cdot m_i \cdot R_{\Sigma i} + \frac{S_i \cdot \Pi_i}{T_i} T_{\Phi} \right) + 2 \cdot Z_T + Z_K, \quad (4.7)$$

де n – число пристроїв автоматики, що підлягають ремонту;

R_i – годинна ставка робітників, що виконують ремонт, грн.;

t_i – трудомісткість одного ремонту при категорії складності ремонту в одну ремонтну одиницю залежно від виду ремонту, год./од.;

m_i – число ремонтів за рік;

$R_{\Sigma i}$ – сумарна категорія складності ремонту в залежності від виду електрообладнання ($R = 1,3$ для асинхронних двигунів до 5 кВт);

S_i - вартість однотипних замінних елементів, грн.;

Π_i – кількість однотипних замінних елементів;

T_i – середній термін служби деталей даного типу, год.;

T_{Φ} – число годин роботи апаратури на рік, год.

$$Z_{\text{ТР}} = \left(87,40 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1,3 + \frac{2500 \cdot 1}{34560} \cdot 4 \right) + 2 \cdot 991,80 + 4200 = 6411,13 \text{ грн.}$$

Таким чином, розмір експлуатаційних витрат складе:

$$C = C_A + C_T = 10374,38 + 6411,13 = 16785,51 \text{ грн.}$$

4.3 Визначення річної економії

Річна економія від впровадження засобу вимірювання об'ємної витрати води на гасіння в АСК мокрого гасіння обумовлюється економією електроенергії, споживаної обома насосами гасильної вежі.

$$E_{\text{КР}} = C_E \cdot t_{\text{РН}} \cdot 2 \cdot \frac{(W_{\Pi} - W_{\text{К}})}{1000}, \quad (4.8)$$

де C_E – поточний тариф на розподіл електроенергії, встановлений оператором в залежності від класу напруги споживача;

$t_{\text{РН}}$ – річний обсяг часу роботи насосів гасильної вежі;

W_{Π} – встановлена потужність насоса до впровадження контролю об'ємної витрати води на гасіння, кВт;

$W_{\text{К}}$ – потужність насоса, задана за показами витратоміра, кВт.

Річний обсяг часу роботи насосів гасильної вежі розраховується за формулою:

$$t_{\text{РН}} = \frac{1}{3600} t_0 \cdot n \cdot \frac{24}{T_{\text{К}}} \cdot 360, \quad (4.9)$$

де t_0 – тривалість гасіння партії коксу, с;

$n = 45$ – кількість камер коксування у батареї;

$T_{\text{К}}$ – тривалість коксування в одній камері, год.

Таким чином, річний обсяг часу становить:

$$t_{PH} = \frac{1}{3600} \cdot 80 \cdot 45 \cdot \frac{24}{25} \cdot 360 = 345,6 \text{ год.}$$

Тоді річна економія споживаної електроенергії складе [34]:

$$E_{Kp} = 837,50 \cdot 345,6 \cdot 2 \cdot \frac{(302,6 - 257,4)}{1000} = 26165,38 \text{ грн.}$$

Повна річна економія від впровадження науково-технічного рішення визначається з урахуванням експлуатаційних витрат по даному об'єкту:

$$E_{K\Pi} = E_{Kp} - C \quad (4.10)$$

$$E_{K\Pi} = 26165,38 - 16785,51 = 9379,88 \text{ грн.}$$

4.4 Визначення та аналіз показників економічної ефективності

Оцінка економічної ефективності розглянутого науково-технічного рішення здійснюється на основі визначення та аналізу наступних показників:

а) розрахункового коефіцієнта ефективності (прибутковості) капітальних витрат E_p ;

б) терміну окупності капітальних витрат T_p .

Коефіцієнт ефективності (прибутковості) капітальних витрат E_p показує, скільки гривень додаткового прибутку (економії) приносить одна гривня капітальних витрат:

$$E_p = \frac{E_{K\Pi}}{K_{\text{пр}}}, \quad (4.11)$$

де $E_{K\Pi}$ - загальна річна економія від впровадження об'єкта проектування, тис. грн.;

$K_{\text{пр}}$ - капітальні витрати за варіантом, що викликали економію, тис. грн.

$$E_p = \frac{9379,88}{124992,56} = 0,08 \text{ грн.}$$

Термін окупності капітальних витрат T_p показує, за скільки років вони окупляться за рахунок загальної економії від впровадження прийнятого технічного рішення:

$$T_p = \frac{K_{\text{пр}}}{E_{K\Pi}} = 13,32 \text{ років}$$

Для визначення доцільності впровадження проекту необхідно порівняти розрахунковий коефіцієнт ефективності E_p з нормативним E_H .

Оскільки підприємство здійснює фінансування капітальних витрат за рахунок реінвестування власних коштів (частини прибутку та амортизаційних відрахувань), то в якості E_H слід приймати можливу норму прибутковості альтернативних варіантів вкладення коштів (в цінні папери, інші проекти, на депозитний рахунок у банку та ін.) з урахуванням інфляції і ризику. При цьому варіант визнається економічно доцільним, якщо розрахунковий коефіцієнт ефективності перевищує річний рівень прибутковості альтернативного варіанту [35–37]:

$$E_p > \frac{1}{100} (N_{\text{деп}} - N_{\text{інф}}) \left(1 - \frac{N_{\text{пр}}}{100} \right),$$

де $N_{\text{деп}}$ – річна депозитна ставка, %;

$N_{\text{інф}}$ – річний рівень інфляції, %;

$N_{\text{пр}}$ – ставка податку на прибуток, %.

$$0,08 > 0,035$$

Оскільки умова виконується, то описане науково-технічне рішення є економічно доцільним.

Висновки з розділу

При капітальних інвестиціях на метрологічне забезпечення контролю витрати води на гасіння у 124992,56 грн. та річних експлуатаційних витратах у розмірі 16785,51 грн. річна економія становить 9379,88 грн., при цьому строк окупності проекту – 13,32 років.

Економія зумовлюється скороченням споживання електроенергії насосами гасильної вежі завдяки можливості контролю подачі води за показами витратоміра з визначеними метрологічними характеристиками.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Калібрування витратомірів на ВУ передбачається проводити у приміщенні калібрувальної лабораторії метрологічної служби підприємства. Для забезпечення задовільних умов праці у лабораторії постає задача дослідження поточних умов та розробки відповідних організаційно-технічних заходів з усунення, запобігання дії та профілактики виявлених небезпечних та шкідливих чинників.

У приміщенні лабораторії впроваджені технічні засоби контролю умов мікроклімату (температура, вологість та швидкість руху повітря) та стабілізації параметрів мережі електричного живлення [38–39].

5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих чинників

Узагальнена конструкція ВУ включає сталевий несучий каркас, на який змонтовано насосний агрегат, та закриту випробувальну трубопровідну ділянку, якою вода проливається між резервуарами. Електродвигун насоса живиться від трифазної електричної мережі напругою 380 В.

На основі аналізу умов праці, проведеного керуючись ГОСТ 12.0.003-74, виявлено наступні небезпечні та шкідливі чинники, впливу яких піддається оператор під час експлуатації ВУ:

- Імовірність замикання струму підвищеної напруги через тіло оператора ВУ;
- Підвищений рівень шуму;
- Недостатня освітленість робочої зони;

Результати аналізу зведені до таблиці 5.1 із зазначенням джерел виникнення чинників, гранично допустимих рівнів, фактичних значень та регулюючих документів [40-42].

Таблиця 5.1 – Аналіз небезпечних та шкідливих чинників

Чинник	Джерело виникнення	ГДР	Фактичне значення	Регламент
Імовірність ураження людей струмом підвищеної напруги	Порушення ізоляції струмопровідних частин ВУ	0,3 мА	>0,3 мА	НПАОП 40.1-1.21-98
Недостатня освітленість приміщення	Реорганізація робочих місць	300 лк	100 лк	ДБН В.2.5-28:2018

5.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці

Для забезпечення безпечних, нешкідливих умов праці оператора при експлуатації ВУ необхідно розробити комплекс інженерно-технічних заходів, спрямованих на усунення та запобігання впливу на оператора визначених небезпечних та шкідливих чинників.

5.2.1 Електробезпека

Лабораторія розташована у сухому приміщенні зі струмонепровідною підлогою, відносна вологість повітря не перевищує 75%. Згідно з ПУЕ [43] приміщення лабораторії відноситься до класу приміщень без підвищеної небезпеки ураження електричним струмом.

До лабораторії підходить чотирипровідна мережа напругою 380 В із глухозаземленою нейтраллю, підключена до розподільного щита. Корпус розподільного щита заземлений. На щиті повинні бути змонтовані запобіжники, призначені для захисту мережі від перевантажень та коротких замикань. Включення та відключення щита має виконуватися рубильником або головним автоматом. Групові комутуючі пристрої повинні бути підключені через автомати. Прокладку силової проводки необхідно виконувати відокремлено від освітлювальної.

Електропроводка до робочих столів та ВУ повинна бути виконана таким чином, щоб повністю була виключена можливість порушення ізоляції проводки, її обриву та коротких замикань. Для захисту від зовнішніх механічних пошкоджень проводку необхідно закрити швелером або рукавом.

До роботи з установкою необхідно допускати осіб, які мають відповідну кваліфікацію, групу з електробезпеки III, а також пройшли інструктаж, навчання та перевірку знань у відповідності до займаної посади.

5.2.2 Оптимізація освітленості робочої зони

В лабораторії необхідно застосовувати засоби природного та штучного освітлення з метою запобігання швидкій втомлюваності або засліплюванню органів зору персоналу, нещасним випадкам та сприяння утворенню оптимального для підтримання працездатності рівня освітленості.

Оптимальний рівень освітлення приміщення лабораторії забезпечується наступними рішеннями:

Природне освітлення приміщення – через світлові прорізи в зовнішніх огорожувальних конструкціях – стінах або даху. Поділяється на бокове, верхнє та комбіноване.

Штучне освітлення – джерелами штучного світла: лампами, світильниками, ліхтарями – при недоліку/нестачі природного освітлення.

5.4 Пожежна профілактика

Комплекс організаційних та інженерно-технічних заходів з пожежної профілактики розробляється з метою попередження пожеж в приміщенні лабораторії, створення умов для їх гасіння та обмеження їх поширення.

Для профілактики пожежонебезпечних ситуацій та забезпечення можливості пожежогасіння необхідне беззаперечне дотримання наступних заходів та вимог [45]:

Організаційні вимоги:

- Розміщення меблів та устаткування не має створювати перешкод для евакуації людей;
- На видному місці повинні розташовуватись план евакуації людей, таблиця з номером пожежно-рятувальної служби, стаціонарний телефон та інструкція з пожежної безпеки.
- У легкодоступному місці повинен бути обладнаний пожежний щит, укомплектований згідно з вимогами пожежної безпеки, та вуглекислотний вогнегасник.

Технічні вимоги:

- Електрообладнання підлягає зануленню або заземленню відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок;
- Електроприлади та апаратуру необхідно підключати до електромережі за допомогою справних шнурів живлення, штепсельних з'єднань та розеток;
- Електричні машини, апарати, обладнання, проводи та кабелі мають відповідати класу зони згідно з Правилами улаштування електроустановок за виконанням та ступенем захисту, бути захищені від струмів короткого замикання та інших аварійних режимів;
- Легкозаймисті конструкції усередині приміщення за винятком дверей, вікон, підлоги, стелажів мають підлягати вогнезахисній обробці.

5.3 Розрахункова частина

Для більшої наочності аналіз освітленості приміщення робочої зони виконаний у спеціалізованій САПР DIALux evo 9.1. Згідно з ДБН В.2.5-28:2018 освітленість приміщень лабораторій повинна становити від 300 лк.

Приміщення загальною площею 15 x 10.5 м має по два віконні прорізи в стінах довшої сторони, стіни та стеля пофарбовані у білий колір, підлога вкрита шаром лінолеуму (рис. 5.1).



Рисунок 5.1 – Загальний план приміщення лабораторії

Виходячи з аналізу освітленості приміщення, вихідне розташування джерел штучного освітлення нерациональне та малоефективне (рис. 5.2).

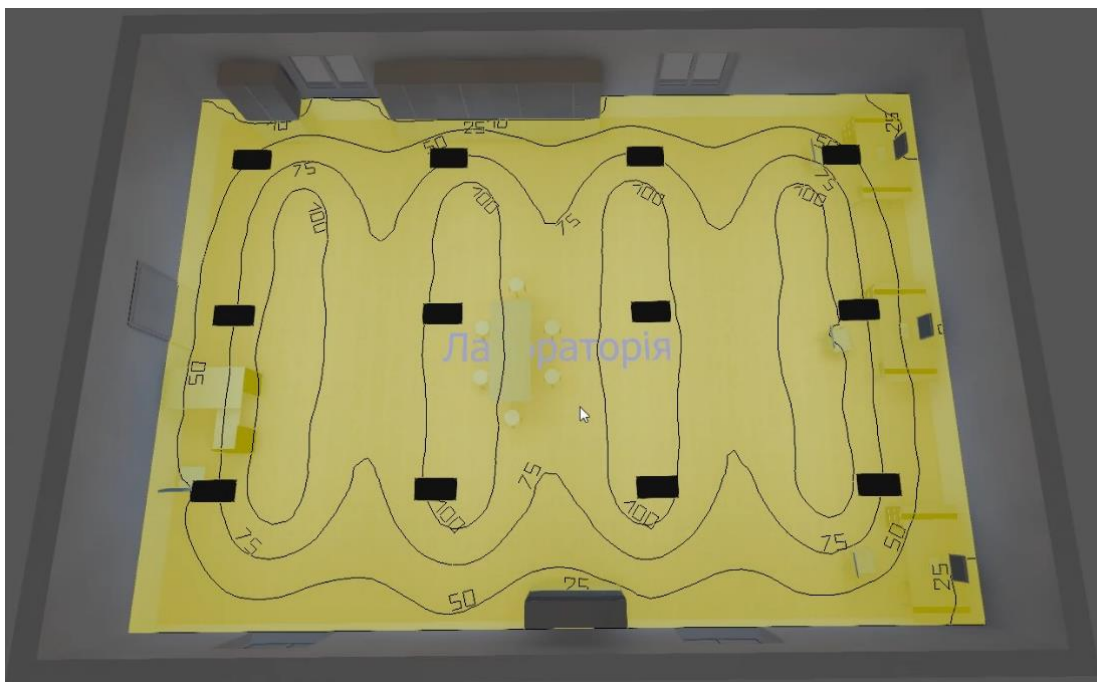


Рисунок 5.2 – Вихідний стан освітленості приміщення

Для підвищення освітленості приміщення запропоновано замінити вихідні моделі світильників [44].

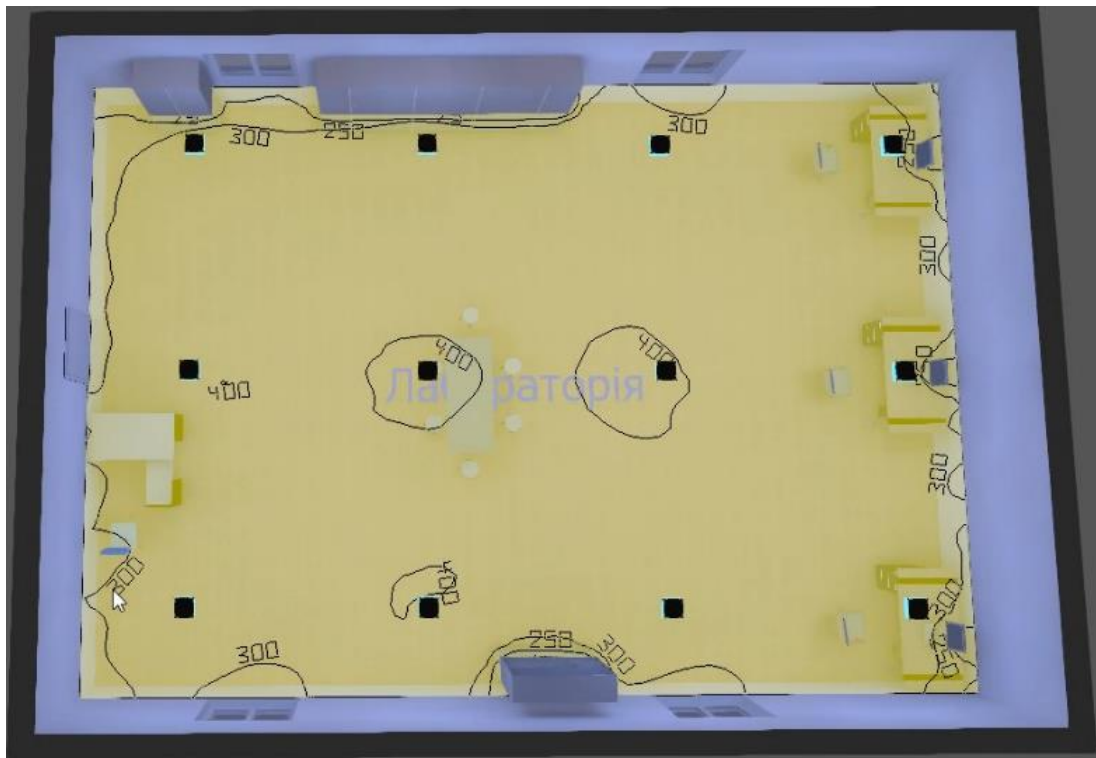


Рисунок 5.3 – Освітленість приміщення після вжиття інженерно-технічних заходів

5.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Виходячи з характеру виробництва, найбільш типовою для коксохімічного підприємства надзвичайною ситуацією є пожежа. При виявленні пожежі (ознак горіння) кожен працівник зобов'язаний:

- негайно сповістити про це по телефону пожежну охорону;
- повідомити про пожежу керівника чи відповідну компетентну посадову особу та (або) чергового по об'єкту;
- прийняти (за можливості) заходи щодо евакуації людей, гасіння (локалізації) пожежі і схоронності матеріальних цінностей;

Посадова особа об'єкта, що прибула до місця пожежі, зобов'язана:

- перевірити, чи викликана пожежна охорона (продублювати повідомлення), довести до відома власника підприємства;
- у випадку загрози життю людей негайно організувати їх евакуацію, використовуючи для цього наявні сили і засоби;

- вивести за межі небезпечної зони всіх працюючих, не пов'язаних з ліквідацією пожежі;
- припинити роботи (якщо це допускається технологічним процесом виробництва), крім робіт, пов'язаних із заходами щодо ліквідації пожежі;
- за необхідності відключити електроенергію (за винятком систем протипожежного захисту), зупинити транспортувальні пристрої, агрегати, апарати, перекрити сировинні, газові, парові і водяні транспортні комунікації, зупинити систему вентиляції в аварійному і суміжних з ним приміщеннях (за винятком пристроїв протидимового захисту) та вжити інших заходів, що сприяють запобіганню розвитку пожежі і задимленості приміщення;
- перевірити роботу системи оповіщення людей про пожежу, установок пожежогасіння, протидимового захисту;
- організувати зустріч підрозділів пожежної охорони, надати їм допомогу у виборі найкоротшого шляху для під'їзду до осередку пожежі та джерела водопостачання;
- одночасно з гасінням пожежі організувати евакуацію та захист матеріальних цінностей;
- забезпечити дотримання заходів безпеки працівниками, які беруть участь у гасінні пожежі.

Після прибуття пожежних підрозділів, необхідно забезпечити безперешкодний їх доступ на територію об'єкта, за винятком, коли відповідними державними нормативними актами встановлений особливий порядок допуску.

Технічний персонал підприємства зобов'язаний надавати керівнику гасіння пожежі інформацію щодо конструктивних і технологічних особливостей об'єкта, де виникла пожежа, та будинків і прибудов, що прилягають до нього, залучати до виконання заходів, пов'язаних з

ліквідацією та локалізацією пожежі, працівників та надати їм необхідні для ліквідації пожежі технічні засоби.

Висновки з розділу

У розділі проведено аналіз умов праці у приміщенні калібрувальної лабораторії, на базі якого визначено небезпечні та шкідливі чинники, що виникають при роботі з ВУ.

У відповідності до чинних нормативно-правових актів з охорони праці розроблено інженерно-технічні та організаційні заходи з попередження та мінімізації впливу визначених небезпечних та шкідливих чинників на оператора ВУ.

Виходячи з потреби реорганізації робочих місць для розміщення установки у лабораторії спроектовано оптимальну схему розташування світильників для забезпечення необхідної освітленості приміщення.

Враховуючи, що для коксохімічного виробництва типовою надзвичайною ситуацією є пожежа, розроблено відповідні профілактичні заходи, а також правила безпеки при пожежі.

ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто характеристику витрати води на гасіння коксу, особливості імпульсного режиму гасіння та доведено доцільність впровадження засобу обліку об'ємної витрати води в комплекс АСКТП гасильної вежі.

Запропоновано модернізацію конструкції витратомірної установки, алгоритму роботи та технології вимірювання для вирішення обумовлених у поточному розділі недосконалостей. Результати розрахунків невизначеностей засвідчують порівнянність МХ запропонованої конструкції з характеристиками існуючих установок при суттєвих техніко-технологічних, методологічних та економічних перевагах першої.

Розроблено процедуру калібрування витратоміру об'ємної витрати з частотним вихідним сигналом. На основі модельного рівняння вимірювання проаналізовано складові невизначеності вимірювань. Досліджено статичну характеристику витратоміру.

Розраховано річну економію та період окупності науково-технічного рішення. Економія зумовлюється скороченням споживання електроенергії насосами гасильної вежі завдяки можливості контролю подачі води за показами витратоміра з визначеними метрологічними характеристиками.

Розроблено відповідні інженерно-технічні заходи з охорони праці при роботі з витратомірною установкою в калібрувальній лабораторії.

Поставлена мета вдосконалення техніко-технологічних та методологічних аспектів калібрування об'ємних витратомірів була досягнута, задачі виконані в повному обсязі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Иванов Е.Б., Мучник Д.А. Технология производства кокса. - Киев: Издательское объединение "Вища школа", 1976. - 232 с.
- [2] Коксование. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Коксование>
- [3] Як змінилися показники роботи коксохімічної галузі у 2019 році. URL: <https://gmk.center/ua/infographic/yak-zminilisy-pokazniki-roboti-koksohimichnoi-galuzi-u-2019-roci/>
- [4] ПрАТ «ДКХЗ» - історія підприємства. URL: <https://dkhz.com.ua/index.php/home/istoriya>
- [5] Соколов Р. С. Химическая технология : Учебное пособие для студентов высших учебных заведений: В 2 т. – М.: Гуманитарный издательский центр «ВЛАДОС», 2000. – Т. 2: Металлургические процессы. Переработка химического топлива. Производство органических веществ и полимерных материалов. 448 с.
- [6] Пожидаев Ю. А., Столярова М. С., Бабинцев Я. В. Эффективные способы тушения кокса. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова*. Магнитогорск, 2015. №3 С. 34–38
- [7] Каталимов А. В., Кобяков А. И. Переработка твердого топлива: Учебное пособие для вузов. Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2003. – 248 с.
- [8] Лейбович Р. Е., Яковлева Е. И., Филатов А. Б. Технология коксохимического производства. 3-тье изд. Москва: Издательство «Металлургия», 1982. 359 с.
- [9] Рубчевский В. Н. Особенности технологии мокрого тушения кокса на ПАО «Запорожжкокс». *Углекимический журнал*. Харьков: Украинский государственный научно-исследовательский углекимический институт, 2014. №1–2. С. 32–40

- [10] Абрамов Г.С., Барычев А.В., Зимин М.И. Практическая расходометрия в промышленности. М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2000.
- [11] Харазов А. М. Техническая диагностика гидроприводов машин. Москва: Машиностроение, 1979. – 112 с.
- [12] Преобразователи расхода вихревые «ЭМИС-Вихрь 200 (ЭВ-200)». Модификации ЭВ-200, ЭВ-205, ЭВ-200-ППД : Руководство по эксплуатации. Челябинск: ЗАО «ЭМИС». 79 с.
- [13] Water Meters: Selection, Installation, Testing and Maintenance. 4th ed. – Denver : AWWA, 2001. 121 p.
- [14] Лепявко А.П. Средства измерений расхода жидкости и газа : практическое пособие. Москва: Академия стандартизации, метрологии и сертификации, 2015. – 252 с.
- [15] Кузьменко Ю. В. К вопросу о классификации поверочных проливных установок. *Український метрологічний журнал*. 2011. № 1. С. 39–42.
- [16] S. K. Jaiswal, S. Yadav, A. K. Bandyopadhyay, R. Agarwal. Global Water Flow Measurement and Calibration Facilities: Review of Methods and Instrumentations. *Mapan – Journal of Metrology Society of India*. 2012. P. 63-76
- [17] Каргапольцев В. П. Требования к проливным установкам для расходомеров-счетчиков воды и технологических жидкостей. *Нефтегазовое дело*. Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2004. №1. С. 1–6.
- [18] ISO 4185. Measurement of Liquid Flow in Closed Conduits – Weighing Methods.
- [19] ГСССД 2-77: Таблицы стандартных справочных данных. Вода. Плотность при атмосферном давлении и температурах от 0 до 100 °С.
- [20] JCGM 100:2008 GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement.

[21] В. І. Корсун, В. Т. Белан, Н. В. Глухова. Метрологія, стандартизація, сертифікація, акредитація : Навчальний посібник. Дніпро: Національний гірничий університет, 2011. – 147 с.

[22] ДСТУ-Н РМГ 43:2006. Метрологія. Застосування «Руководства по выражению неопределенности измерений».

[23] Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність»

[24] ДСТУ EN 45501:2017. Метрологічні аспекти неавтоматичних зважувальних приладів (EN 45501:2015, IDT).

[25] Наказ Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України №1518 «Про затвердження Порядку калібрування вторинних та робочих еталонів» від 10.08.2020.

[26] ДСТУ ISO/IEC 17025:2017. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.

[27] EA-4/02 M: 2013. Evaluation of the Uncertainty of Measurement In Calibration.

[28] Поліщук Є. С., Дорожовець М. М., Яцук В. О. та ін. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник. Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2003. – 544 с.

[29] Економіка та організація виробничої діяльності підприємства. Частина 1: навчальний посібник /Небава М. І. Адлер О. О. Лесько О. Й. - Вінниця : ВНТУ. 2011. - 117 с.

[30] Кошторис на закупівлю комплектуючого обладнання для витратомірної установки. МС ПрАТ «ДКХЗ»

[31] Тарифна сітка ПрАТ «ДКХЗ» станом на 01.10.2020

[32] Розмір єдиного соціального внеску станом на 01.09.2020. Міністерство фінансів України. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/labour/social/>

[33] Грузоперевозки по Днепропетровской области. URL: <https://logist.in.ua/g2314454-gruzoperevozki-dnepropetrovskaya-oblast>

[34] Поточні тарифи на послуги з розподілу електроенергії. ДТЕК Дніпровські Електромережі

[35] Індекс інфляції в Україні 2020. Міністерство фінансів України. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/economy/index/inflation/>

[36] Ставки податку на прибуток (станом на 23.05.2020 р.). Дебет-кредит. URL: https://services.dtkr.ua/catalogues/tax_rates/67

[37] Економіка. Методичні вказівки до виконання економічної частини кваліфікаційної роботи для студентів напряму підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Укладач: Л.В. Тимошенко - Дніпро: НТУ «ДП», 2019. - 18 с.

[38] Голінько В. І. Основи охорони праці: підручник.. – 2-ге вид. – Дніпро: НГУ, 2014. – 271 с.

[39] Охорона праці. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» в дипломних проектах (роботах) студентів інституту електроенергетики / В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, М.Ю. Іконніков – Д.: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2011. – 7 с.

[40] ГОСТ 12.0.003-74 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація

[41] НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (2029)

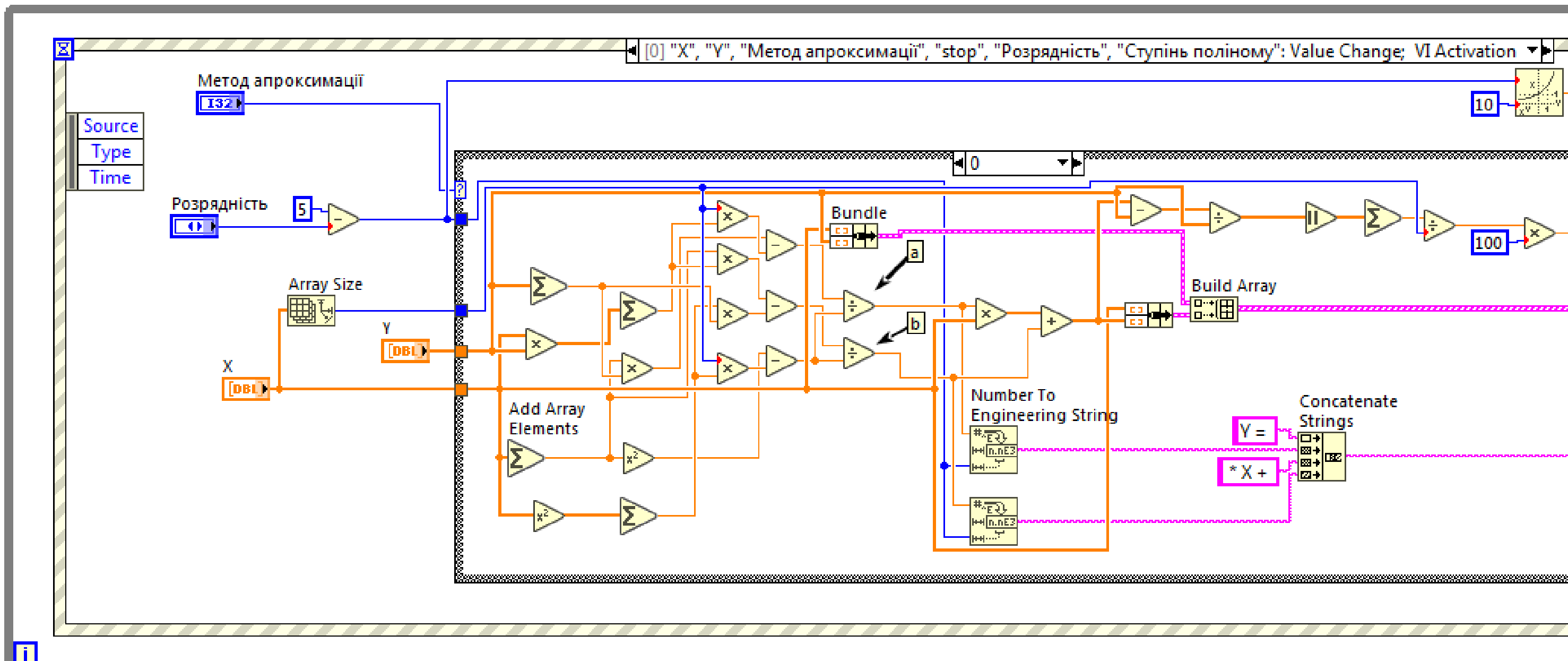
[42] ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення (2032)

[43] О. М. Єременко. Щодо питання застосування САПР під час проектування освітлення. *Сталий розвиток енергетики*. Київ: НТУУ «КПІ»

[44] ПУЕ:2006. Правила улаштування електроустановок

[45] Наказ МВС України № 1417 від 30.12.2014 «Про затвердження правил пожежної безпеки в Україні»

Додаток А – Блок-діаграма ПЗ для апроксимації експериментальних даних



Додаток Б – Блок-діаграма ПЗ для обробки результатів

