

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

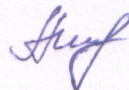
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра: Морського приладобудування

«Допущений до захисту»

В.о. завідувача кафедри



Гайдай Г.Ю.

« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

**на тему: «Удосконалення системи метрологічного контролю під час
вимірювання кількості нафтопродуктів»**

Виконав: студент групи 6631м

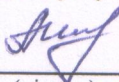


(підпис)

Конюхов М.С.

Керівник роботи:

В.о завідувача кафедри морського
приладобудування, к.т.н., доц.



(підпис)

Гайдай Г.Ю.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

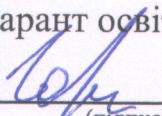
Кафедра морського приладобудування

Спеціальність 175 «Інформаційно-вимірювальні технології»

Освітня програма «Вимірювально-інформаційні системи»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми


(підпис)

Гордєєв Б.М.

«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

Студенту _____ Конюхову Микиті Сергійовичу
(Прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Удосконалення системи метрологічного контролю під час вимірювання кількості нафтопродуктів».

Керівник роботи Гайдай Ганна Юріївна, кандидат технічних наук, доцент

Затверджені наказом ректора № 121742 від «14» 10 2025 року

2. Термін подання роботи: 17.12.25

3. Вихідні дані по роботі: МІ 1971-95 ; ДСТУ 8.400-80

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів): _____

1. Аналітичний огляд метрологічного забезпечення вимірювань кількості нафти і нафтопродуктів; 2. Методики перевірки повірочних установок з застосуванням спеціальних ваг; 3. Вдосконалення методики перевірки повірочних установок із застосуванням спеціальних ваг; 4. Методика передачі одиниць величин від первинного еталону робочим засобам вимірювань; 5. Охорона праці.

5. Перелік презентаційних матеріалів: 1. Метрологічні характ. ЗВТ; 2. Засоби повірки ваг; 3. Порівняння МХ ваг і мірників; 4. Порівняння МХ ПУ
5. Основні засоби вимірювання; 6. Схеми калібрування; 7. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
507	Губальцев А.М.		

7. Дата видачі завдання « 3 » 09 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналітичний огляд метрологічного забезпечення вимірювань кількості нафти і нафтопродуктів	30.09.25 - 22.09.25	вик.
2.	Методики повірки повірочних установок з застосуванням спеціальних ваг	22.09.25 - 13.10.25	вик.
3.	Вдосконалення методики повірки повірочних установок із застосуванням спеціальних ваг	13.10.25 - 27.10.25	вик.
4.	Методика передачі одиниць величин від первинного еталону робочим засобам вимірювань	27.10.25 - 10.11.25	вик.
5.	Охорона праці	10.11.25 - 17.12.25	вик.

Студент

(підпис)

Конюхов М.С.
(ПІБ)

Керівник роботи

(підпис)

Гайдай Г.Ю.
(ПІБ)

АНОТАЦІЯ

Конюхов М.С. «Удосконалення системи метрологічного контролю під час вимірювання кількості нафтопродуктів». Кваліфікаційна робота зі спеціальності 175 «Інформаційно-вимірювальні технології», освітньої програми «Вимірювально-інформаційні системи». Миколаїв: НУК ім. адм. Макарова. 2025 рік. 111 сторінок.

У роботі розглянуто питання вдосконалення метрологічного забезпечення вимірювань маси та об'єму нафти і нафтопродуктів. Проведено аналіз сучасних засобів і методів вимірювання, визначено чинники похибок і шляхи їх мінімізації. Запропоновано рішення, спрямовані на підвищення точності облікових операцій у паливно-енергетичному комплексі.

Ключові слова: Метрологічне забезпечення; вимірювання маси; вимірювання об'єму; нафта і нафтопродукти; паливно-енергетичний комплекс; засоби вимірювання маси; засоби вимірювання об'єму; повірочний комплекс.

ABSTRACT

Koniukhov M.S. «Improving the metrological control system for measuring the quantity of petroleum products». Qualification work in specialty 175 «Information and Measuring Technologies», educational program «Measuring and Information Systems». – Mykolaiv: Admiral Makarov National University of Shipbuilding, 2025, 111 pages.

The work addresses the improvement of metrological support for measurements of the mass and volume of oil and petroleum products. The analysis of modern measuring methods and instruments has been carried out, key sources of measurement errors have been identified, and ways to minimize them have been proposed. The developed solutions are aimed at increasing the accuracy of accounting operations in the fuel and energy sector.

Keywords: metrological support; mass measurement; volume measurement; oil and petroleum products; fuel and energy complex; measuring instruments; verification system.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ КІЛЬКОСТІ НАФТИ І НАФТОПРОДУКТІВ	9
1.1 Системи вимірювань кількості та показників якості нафти і нафтопродуктів	9
1.2 Методики повірки засобів вимірювальної техніки	9
1.3 Аналіз методик повірки та метрологічних характеристик засобів повірки..	19
Висновки за розділом 1.....	23
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКИ ПОВІРКИ ПОВІРОЧНИХ УСТАНОВОК З ЗАСТОСУВАННЯМ СПЕЦІАЛЬНИХ ВАГ	25
2.1 Дослідження метрологічних характеристик спеціальних ваг за методикою з застосуванням компаратора	25
2.2 Дослідження метрологічних характеристик еталонного мірника	26
2.3 Дослідження метрологічних характеристик спеціальних ваг за методикою без застосування компаратора	28
2.4 Дослідження метрологічних характеристик еталонного мірника за методикою без застосування компаратора	36
2.5 Дослідження метрологічних характеристик трубопоршневої повірочної установки	46
2.6 Дослідження метрологічних характеристик компакт-прувера	49
Висновки за розділом 2.....	52
РОЗДІЛ 3. ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ПОВІРКИ ПОВІРОЧНИХ УСТАНОВОК ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СПЕЦІАЛЬНИХ ВАГ	53
3.1 Методика повірки спеціальних ваг і визначення калібрувальних коефіцієнтів	53
3.2 Повірка еталонного мірника	55
3.3 Методика повірки трубопоршневих повірочних установок	63
3.4 Методика повірки компакт-прувера	74

Висновки за розділом 3.....	86
РОЗДІЛ 4. МЕТОДИКА ПЕРЕДАЧІ ОДИНИЦЬ ВЕЛИЧИН ВІД ПЕРВИННОГО ЕТАЛОНУ РОБОЧИМ ЗАСОБАМ ВИМІРЮВАНЬ	87
4.1 Визначення метрологічних характеристик спеціальних ваг	87
4.2 Визначення метрологічних характеристик еталонного мірника	87
4.3 Визначення метрологічних характеристик повірочних установок	88
Висновки за розділом 4.....	96
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ	97
5.1 Вступ	97
5.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів	98
5.3 Розрахунок загального освітлення	102
5.4 Заходи щодо запобігання небезпечних та шкідливих факторів, що виникають при роботі пристрою	103
Висновки за розділом 5.....	106
ВИСНОВКИ.....	107
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	109

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

МЗ – метрологічне забезпечення;

ПЕК – паливно-енергетичний комплекс;

ТПУ – трубопоршнева повірочна установка;

СВКН – система вимірювання кількості нафти;

СВКНП – система вимірювання кількості нафтопродуктів;

ВПУ – вимірювальна повірочна установка;

ПУ – повірочна установка;

КУ – компакт-прувер;

ОГВ – вантажопоршневі ваги;

МХ – метрологічні характеристики;

ППП – пристрій перемикання потоків;

УПЕ – установки повірочні еталонні

СЖ – лічильник рідини;

СКВ – середньоквадратичне відхилення;

УОИ – пристрій обробки інформації;

ВСТУП

Дипломна робота присвячена актуальній задачі вдосконалення метрологічного забезпечення (МЗ) вимірювань маси та об'єму нафти і нафтопродуктів (вуглеводневі рідини) при облікових операціях.

Паливно-енергетичний комплекс (ПЕК) забезпечує в даний час десяту частину внутрішнього валового продукту, а експорту – більше половини. Одне з основних напрямків діяльності ПЕК – видобуток і переробка нафти, транспортування і зберігання нафти і рідких нафтопродуктів. Отримання достовірних даних про кількість нафти і нафтопродуктів – пріоритетне завдання, вирішення якої потребує вдосконалення і випереджаючого розвитку метрологічного забезпечення [1].

Метрологічні дослідження, спрямовані на створення обладнання для перевірки засобів вимірювань маси, об'єму, витрати, щільності, вмісту вологи і в'язкості, що входять в автоматизовані системи обліку нафти і нафтопродуктів, ведуться широким фронтом більше 40 років [2].

Постановка даної роботи була обумовлена в середині минулого десятиліття потребою великих підприємств ПЕК в повірочних комплексах, орієнтованих на локально зосереджені сукупності засобів вимірювальної техніки (в тому числі імпортних), що мають високі метрологічні характеристики. Необхідно було досягти високої точності передачі розміру одиниць маси і об'єму від піврічного комплексу робочим засобам вимірювань. При цьому повинна забезпечуватися простежуваність до первинних еталонів одиниць основних величин, задана продуктивність перевірки та можливість її проведення в робочих умовах експлуатації вимірювальних перетворювачів об'ємної та масової витрати що повіряються, лічильників рідини, компакт-пруверів, трубопоршневих повірочних установок (ТПУ) 1-го і 2 го розрядів [3].

Метою роботи є вдосконалення метрологічного забезпечення вимірювань кількості нафти і нафтопродуктів шляхом реалізації нових технічних і методичних рішень вимірювань маси та об'єму.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ КІЛЬКОСТІ НАФТИ І НАФТОПРОДУКТІВ

1.1 Системи вимірювань кількості та показників якості нафти і нафтопродуктів

В даний час оперативний і комерційний облік вуглеводневих рідин, що перекачуються по трубопроводах, здійснюється за допомогою систем вимірювань кількості та показників якості нафти (СВКН) і нафтопродуктів (СВКНП) [5].

На сьогоднішній день не існує еталона в області вимірювань об'єму, що працює на вуглеводневих рідинах при об'ємній витраті до 2200 м³/год, а існуюча вимірювально-повірочна установка (ВПУ) по ГОСТ 8.510 [11], що працює на воді в якості робочої рідини, не може відтворювати робочі умови вимірювальних перетворювачів маси і об'єму на вугле-водневих рідинах в широких діапазонах в'язкості і щільності.

Для забезпечення достовірних вимірювань випробування і перевірку перетворювачів маси і обсягу необхідно виконувати на робочих рідинах.

1.2 Методики повірки засобів вимірювальної техніки

Основним еталонним засобом, що визначає метрологічні характеристики СВКН і СВКНП є повірочні установки (ПУ), за допомогою яких проводиться перевірка вимірювальних перетворювачів маси і об'єму. Похибка вимірювальних перетворювачів визначається похибкою повірочних установок, які бувають двох типів: трубопоршневі повірочні установки і компакт-прувера (КП).

Для перевірки ПУ 1-го розряду застосовують методики на базі ваг і еталонних мірників 1-го розряду, а для ПУ 2-го розряду застосовують ПУ 1-го розряду. Діючі методики вже застаріли і не враховують останні досягнення в

області вимірювальної техніки, що інтенсивно розвиваються в останнє десятиліття.

Методика повірки МІ 1971-95 «Установки повірочні на базі ваг ОГВ» [12] застосовується для повірки ПУ 1-го розряду. Основні засоби вимірювань – це зразкові вантажопоршневі ваги (ОГВ) з перекидним пристроєм. Похибка вимірювань маси вагами ОГВ істотно залежить від похибки і чутливості ваговимірювальної системи, похибки перекидного пристрою, що має рухомі елементи, які схильні до стирання, а отже й неминучої зміни метрологічних характеристик під час експлуатації.

Відносна похибка ваг ОГВ визначається за формулою:

$$\delta_{ОГВ} = (M_B / M_{Г} - 1) \cdot 100\%, \quad (1.1)$$

де M_B – показання ваг, кг; $M_{Г}$ – еталонна маса, кг.

Дійсну масу кільцевих вантажів і гирь класу МІ з декларованої похибкою, $\pm 0,001\%$ не можна забезпечити в умовах експлуатації, а значить і не можна забезпечити похибку вимірювань маси $\pm 0,01\%$, що пояснюється відсутністю в методиці ваг високого класу точності і розділу, що описує визначення дійсної маси кільцевих вантажів і гирь класу МІ під час експлуатації, що в свою чергу не дозволяє забезпечити достовірні вимірювання при калібруванні і повірці ПУ.

Сучасна історія метрологічного забезпечення еталонних мірників почалася з ГОСТ 8.400-80 «Мірники металеві зразкові. Методи і засоби перевірки» [13], який визначив вимоги до похибки мірників і описав методики їх повірки. ГОСТ 8.400-80 поширюється на зразкові мірники 1-го розряду з основною похибкою вимірювань обсягу $\pm 0,02\%$ і мірники 2-го розряду з основною похибкою $\pm 0,05 \dots 0,1\%$. В якості основних засобів повірки по ГОСТ 8.400-80 для зразкових мірників 1-го розряду застосовуються зразкові ваги 3-го розряду, набори зразкових гирь 3-го розряду, зразкові вантаж-поршневі ваги типів ОГВ-1 і ОГВ-2 для 1000 і 2000 кг відповідно з найбільшій допустимої похибкою $\pm 0,01\%$ вимірюваної величини, лабораторні термометри з ціною поділки $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, похибкою $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Мірники 2-го розряду повіряються за зразковими вимірниками 1-го розряду з використанням зразкових скляних колб 1-го розряду.

На практиці, в більшості випадків в якості гирь 3-го розряду застосовувалися гирі класу Мі, що пройшли перевірку в акредитованому центрі стандартизації та метрології або в державному науково-метрологічному центрі, таким чином гирі класу Мі повірені по 3-му розряду зберігали свої метрологічні характеристики (МХ) тільки на місці проведення повірки. Після доставки комплекту гирь на місце експлуатації не всі гирі з комплекту відповідали за своїми МХ гирям 3-го розряду. В результаті, не забезпечувалися достовірні вимірювання при повірці ваг і еталонних мірників. Це пов'язано з тим, що гирі класу М1 виготовлені з чавуну, кардинально відрізняються від гирь 3-го розряду, виготовляється з нержавіючої сталі, а крім цього відрізняються і за формою, перші гирі паралелепідної форми і дозволяють їх встановлювати один на одного, а другі мають форму, яка не допускає їх установку один на одного при наборі мас понад 500 і 1000 кг. Крім цих відмінностей в конструкції, комплект гирь класу Мі, що потребується для перевірки ваг і мірників номінальною місткістю 1000 л, має вартість в 7-8 разів меншу, ніж комплект гирь 3-го розряду (F2).

ГОСТ Р 8.682-2009 «Мірники металеві зразкові. Методи і засоби перевірки» [14] передбачає застосування в якості засобів повірки еталонних мірників 1 розряду ваги по ГОСТ 53228-2008 [15] з похибкою $\pm 0,005\%$ і еталонних гирь класу точності F1 по ГОСТ 7328-2001 [16]. ГОСТ Р 8.682-2009 призначений для повірки еталонних мірників 1-го розряду з номінальною місткістю до 1000 л за допомогою ваг з найбільшою межею зважування 1500 кг. Запропоновані еталонні гирі класу точності Рі характеризуються межами відносної похибки $\pm 0,0005\%$, що в сорок разів перевищує межу допустимої відносної похибки еталонних мірників 1-го розряду $\pm 0,02\%$. Для цих цілей підходить методика заміщення маси води в мірнику масою гирь (метод звірень за допомогою компаратора), де в якості ваг застосувати компаратори маси з відносним значенням СКО не більше $0,005\%$ і комплект гирь класу точності F2 і / або М1. Застосування такої методики і засобів повірки буде вірно з метрологічної точки зору і економічно обґрунтовано, що важливо для Державних метрологічних центрів і метрологічних служб, уповноважених на проведення Державної

півірки еталонних мірників, що застосовуються для засобів вимірювань метрологічного забезпечення облікових операцій на території України.

Методики півірки еталонних мірників 1-го розряду типу «М» фірми «Seraphin test measure» США передбачають застосування ваг 3-го класу точності по ГОСТ 24104-2001 [17], з межами відносної похибки 0.01% і набори гирь класу Мт 110 ГОСТ 7328-2001. [18] Застосовувані без компараторів високого класу точності, гирі класу М1 не можуть забезпечити достовірні вимірювання при калібруванні і півірці еталонних мірників 1-го розряду з причин, вказаних вище.

Методика МІ 1972-95 «Установки півірочні трубо-поршневі. Методика півірки півірними установками на базі ваг ОГВ чи мірників», поширюється на трубо-поршневі перевірочні установки 1-го і 2-го розряду всіх типів, в тому числі імпорвні, стаціонарного та пересувного виконання, і встановлює методики первинної та періодичної півірок перевірочними установками на базі зразкових вантажопоршневих ваг або зразкових еталонних мірників 1-го розряду .

Таблиця 1.1

Витрати при визначенні місткості ТПУ вагами ОГВ

Пропускна здатність що півіряється ТПУ (КП), м ³ /год	Перевірочна витрата, м ³ /год	
	Q _{п1}	Q _{п2}
100	20 – 100	10
500 та більше	100	50

Основна і найбільша складова похибки методики на базі ваг ОГВ – це похибка вимірювання маси. Додаткові складові похибки, що впливають на похибка вимірювань об'єму півіряємої ПУ: похибка вимірювань температури і визначення щільності робочої рідини, похибка вимірювань часу, похибка перекидного пристрою перемикування потоків (ППП).

Відносна похибка визначення щільності робочого середовища $\delta\rho$ обумовлюється похибкою каналів вимірювання температури, і буде мати найбільшу значення при температурі + 30 С:

$$\delta\rho = \Delta_T \cdot \beta \cdot 100\%, \quad (1.2)$$

де Δ_T – найбільше значення абсолютної похибки каналів вимірювання температури °C; $\Delta_T = 0.2^\circ\text{C}$; $\beta = 0.00025^\circ\text{C}$; $\delta\rho = 0.2 \cdot 0.00025 \cdot 100\% = 0.005\%$.

Ми бачимо, що похибка вимірювання щільності при температурі $+30^\circ\text{C}$ може складати 0,005%, що становить половину похибки ваг ОГВ $\pm 0,01\%$. Значить, для забезпечення достовірних вимірювань необхідно змінити умови вимірювань при перевірці до значень $25 \pm 5^\circ\text{C}$

Відносні похибки при вимірюванні часу визначають за формулою:

$$\delta_t = (t_m / t_f - 1) \cdot 100\%, \quad (1.3)$$

де t_m – свідчення на моніторі, с; t_f – свідчення по частотоміру, с.

Нижче наведені відносні похибки, що вносяться різницею часу спрацьовування УПП. Визначення різниці часу спрацьовування:

$$\Delta_{ti} = t_{1i} - t_{2i}, \quad (1.4)$$

Середнє арифметичне різниці часу спрацьовування:

$$\overline{\Delta t} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta t_i}{n}, \quad (1.5)$$

де n – число вимірювань на одній витраті.

Відносні систематичні похибки:

$$\delta_{c\ ynn} = (\Delta t / t_{\min}) \cdot 100\%, \quad (1.6)$$

де $t_{\min}$ – мінімальний час наливу води у ваговий бак, с; $t_{\min} = 30$ с.

Відносні випадкові похибки:

$$\delta_{вun\ ynn} = (100 \cdot t_p / t_{\min}) \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta t_i - \overline{\Delta t})^2 / (n-1)}, \quad (1.7)$$

де t_p – коефіцієнт Стюдента для довірчої ймовірності $P = 0,99$, $t_p = 3,169$.

Граничні значення відносних похибок УПП:

$$\delta_{ynn} = \delta_{c\ ynn} + \delta_{вun\ ynn}. \quad (1.8)$$

Сумарна похибка вимірювань маси вагами ОГВ з урахуванням похибок гирь, похибок вимірювань температури і визначення щільності робочої рідини, похибками часу спрацьовування перекидного пристрою може досягати $\pm 0,015\%$, що перевищує допустимий значення $\pm 0,01\%$ і, отже потрібні значно жорсткіші вимоги до застосовуваних засобам і умовам проведення вимірювань, а саме: необхідність застосування гирь 3-го розряду, компаратора високого класу точності, вимірювання температури з похибкою не більше $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, а для умов вимірювань – звуження діапазону температури робочої рідини і температури навколишнього повітря до значень, що не перевищують $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Визначення місткості повірочних установок методикою на базі еталонних мірників 1-го розряду з похибкою $\pm 0,02\%$ виробляється для ТПУ при повірочних витратах води з зупинкою і без зупинки поршня, наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Перевірочні витрати з зупинкою і без зупинки поршня

Умовний діаметр труб каліброваної ділянки, мм	$Q_{\text{найм}}, \text{ м}^3/\text{Год}$	$Q_{\text{п1}}, \text{ м}^3/\text{Год}$	$Q_{\text{п2}}, \text{ м}^3/\text{Год}$
150	0.64	3.2 – 40	1.6 – 10
300	2.6	12 – 40	6 – 20
400	4.5	22 – 40	11 – 20
500	7.2	36 – 40	18 – 20
600	10	40 – 50	20 – 25
750	16	40 – 60	20 – 30
920	24	40 – 60	20 – 30

У другій графі таблиці 1.2 наведені найменші значення витрати, з якими кульовий поршень повинен підводитись до детектору перед його зупинкою. У третій і четвертій графах наведені діапазони значень витрат при визначенні обсягу каліброваного ділянки ТПУ $Q_{\text{п1}}$ і визначення протікання $Q_{\text{п2}}$.

Значення перевірконої витрати води при перевірці КП перевірочними установками на базі мірників без зупинки поршня, наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Значення перевірконої витрати для КП

Внутрішній діаметр каліброваної ділянки ТПУ (компакт-прувера)	Мінімальне значення розходу м³/год	Q _{п1} , м³/год	Q _{п2} , м³/год
8"	203.2 мм	0.055	2 – 4
12" мін	304.8 мм	0.224	2 – 4
12" стандарт	304.8 мм	0.392	2 – 4
18"	457.2 мм	0.784	2 – 4
24"	609.6 мм	1.569	4 – 8
40"	1016 мм	3.970	12 – 16

При перевірці ПУ за допомогою мірника основою внесок в похибка повірочних установок вносить похибка еталонного мірника 1-го розряду. Методика МІ 1972-95 дозволяє повірять перевірконі установки 1-го і 2-го розряду з похибкою $\pm 0,05\%$ і $\pm 0,1\%$ відповідно.

МІ 3209-2009 «Інструкція. ГСИ. Установки повірочні трубопоршневі. Методика повірки за допомогою повірочної установи на базі еталонних мірників» [19]. Справжня методика використовує для повірки набору еталонних мірників 1-го розряду з похибкою $\pm 0,02\%$ і місткістю від 20 до 500 дм³. Методика дозволяє виконувати калібрування і перевірку ТПУ з зупинкою і без зупинки кульового поршня. застосування набору еталонних мірників за цією методикою дозволяє зменшити тривалість перевірки ТПУ в 2 рази в порівнянні з методикою повірки на базі одного еталонного мірника.

МІ 3155-2008 [20]. методика повірки ТПУ перевірочними установками на базі мірника і об'ємного лічильника. Установки повірочні еталонні (УПЕ) на базі мірника і об'ємного лічильника призначені для відтворення об'єму рідини і передачі одиниці об'єму трубопоршневим повірочним установкам 1-го

і 2-го розряду при їх калібрування і повірки з місткістю вимірювальної ділянки від 1 до 40 м³. Принцип дії заснований на порівнянні обсягу, відтвореного еталонним мірником 1-го розряду, з місткістю каліброваного ділянки ТПУ за допомогою об'ємного лічильника, вживаного як компаратора.

Під час проведення перевірки за методикою мобільної еталонної установи застосовують такі основні засоби повірки: мірник еталонний шкальний 1-го розряду з межами основної відносної похибки $\pm 0,02\%$ і номінальною місткістю 500 або 1000 дм³ і лічильник рідини камерний додатного витіснення (СЖ), призначений для вимірювань кількості води зі значенням середнього квадратичного відхилення (СКВ) випадкової складової похибки не більше 0,015%.

Коефіцієнт перетворення ДВ повинен забезпечувати отримання не менше 10000 імпульсів за час проходження кульового поршня по вимірювальній ділянці ТПУ в одному напрямку і за час заповнення мірника. Рекомендовані перевірочні витрати рідини при повірці ТПУ представлені в таблиці 1.4

Таблиця 1.4

Рекомендовані перевірочні витрати рідини для ТПУ

Умовний діаметр каліброваної ділянки, мм	Q ₁ , м ³ /год	Q ₂ , м ³ /год
150	3.2 – 40	1.6 – 10
300	12 – 40	6 – 20
400	22 – 40	11 – 20
500	36 – 40	18 – 20
600	40 – 50	20 – 25
750	40 – 60	20 – 30
920	40 – 60	20 – 30

Застосування цієї методики повірки ТПУ, заснованої на базі еталонного мірника 1-го розряду і лічильника рідини дозволили забезпечити достовірні вимірювання при перевірці ТПУ і значно, в 4 рази зменшити тривалість

перевірки в порівнянні з методом на базі одного еталонного мірника і в 2 рази в порівнянні з методикою МІ 3209-2009.

Таблиця 1.5

Метрологічні характеристики основних засобів повірки

Засоби повірки і допоміжне обладнання	Метрологічні характеристики
Перший метод	
Еталонний мірник 1-го розряду	Місткістю від 10 до 1000 дм ³ , відповідний місткості вимірювальної ділянки що повіряється ПУ. Межі відносної похибки $\pm 0,02\%$
Витратомір	Верхня межа вимірювань не менше найбільшого витрати повірочної рідини через ПУ, межі допустимої похибки $\pm 2,5\%$
Манометри	Діапазон вимірювань від 0 до 0,6 МПа, клас точності 0,6
Термометри ртутні скляні	Діапазон вимірювань від 0 °С до 55 °С, межі абсолютної похибки $\pm 0,2$ °С
Перетворювачі надлишкового тиску з уніфікованим вихідним сигналом	Діапазон вимірювань від 0 до 0,6 МПа, межі допустимої зведеної похибки $\pm 0,5\%$
Термоперетворювачі опору з уніфікованим вихідним сиг-налом	Діапазон вимірювань від 0 °С до 50 °С, межі абсолютної похибки $\pm 0,2$ °С

Другий метод	
Ваги електронні	Ваги по ГОСТ Р 53228-2008 «Ваги неавтоматичного дії. Частина 1. Метрологічні та технічні вимоги. Випробування»[15] з максимальним навантаженням, відповідної масі накопичувальної ємності і води, витісненої з вимірювальної ділянки ПУ. Межі абсолютної похибки ваг визначають згідно з ГОСТ Р 53228 в залежності від величини зважують маси і виходячи з умови: відносна похибка ваг по абсолютній величині не повинна перевищувати $\pm 0,01\%$
Гирі	Клас точності гирь F1, F2 по ГОСТ 7328-2001 «Гирі. Загальні технічні умови » [17]
Накопичувальна ємність	Місткість накопичувальної ємності повинна перевищувати місткість повірюються ПУ не менше, ніж в 1,2 рази.
Витратомір	Верхня межа вимірювань не менше найбільш-шого витрати повірочної рідини через ПУ, межі до-пустимої похибки $\pm 2,5\%$
Манометри	Діапазон вимірювань від 0 до 0,6 МПа, клас точності 0,6

Термометри ртутні скляні	Діапазон вимірювань від 0 ° С до 55 ° С, межі абсолютної похибки $\pm 0,2$ ° С
Перетворювачі надлишкового тиску з уніфікованим вихідним сигналом	Діапазон вимірювань від 0 до 0,6 МПа, межі допустимої зведеної похибки $\pm 0,5\%$
Термоперетворювачі опору з уніфікованим вихідним сигналом	Діапазон вимірювань від 0 ° С до 50 ° С, межі абсолютної похибки $\pm 0,2$ ° С

Перший метод описує:

Визначення місткості ПУ при стандартних умовах, заснованих на вимірах обсягу повірочної рідини, витісненої поршнем ПУ, за допомогою еталонного мірника і приведення виміряного об'єму до стандартних умов.

Другий метод описує:

Визначення місткості ПУ при стандартних умовах, заснованих на вимірах маси повірочної рідини, витісненої поршнем ПУ в накопичувальну ємність, за допомогою еталонних ваг і обчислення обсягу повірочної рідини при стандартних умовах по відомій залежності між масою і щільністю повірочної рідини. За довірчу відносну похибку ПУ при відтворенні обсягу, $\delta_{\text{ПУ}}, \%$, при довірчій ймовірності 0,99, приймають довірчу відносну похибку визначення місткості ПУ при довірчій ймовірності 0,99:

$$\delta = \delta \leq 0.05\%. \quad (1.9)$$

1.3 Аналіз методик повірки та метрологічних характеристик засобів повірки

Результати аналізу застосування методик і метрологічних характеристик засобів повірки представлені в таблиці 1.6 методики і засоби повірки ваг і мірників, в таблиці 1.7 методики і засоби повірки ТПУ і КП.

Методики та засоби повірки ваг і мірників

Найменування	ГОСТ 8.400	ГОСТ 8.682	МИ 1971-95	МИ 3058-2007, МИ 3059-2007
Основні засоби повірки	Ваги $\pm 0,01\%$, гирі М1, СІ температури	Ваги $\pm 0,005\%$, гирі F1, СІ температури	Ваги $\pm 0,01\%$, набір кільцевих вантажів, гирі М1, СІ температури	Ваги високого класу точності $\pm 0,01\%$, компаратор на 20 кг, набір гирь М1, гиря F2, СІ температури
Похибки, які вносять найбільший вклад у сумарну похибку вимірювань маси і обсягу	Відносна похибка визначення маси гирь М1 не перевищує $\pm 0,01\%$, похибка щільності і вимірювань температури робочої рідини, гирі F1 не використовуються через їх дорожнечі, відсутність ваг з похибкою $\pm 0,005\%$ з НПВ більше 1000 кг			Відносна похибка визначення щільності і вимірювань температури робочої рідини

Методики та засоби повірки ТПУ і КП

Найменування	МИ 1972-95	МИ 2000 МИ 2004 МИ 3225	МП 2550 МИ 3155 МИ 3209 МИ 3264	МИ 2622 МИ 2974 МИ 3268
Основні засоби повірки	Ваги $\pm 0,01\%$, Набір кільцевих вантажів, гирі М1, мірники з нижнім і верхнім наливом, СІ температури	Мірники з нижнім наливом, СІ температури	Ваги високого класу точності $\pm 0,01\%$, компаратор, набір гирь М1, гиря F2, мірники з нижнім наливом, СІ температури	ПУ1-го розряду, СІ температури

Похибки, які вносять найбільший вклад у сумарну похибку вимірювань маси і обсягу	Відносна похибка визначення маси і щільності робочого середовища, похибка вимірювань часу, похибка перекидного пристрою перемикавання потоків, похибка виміру температури води, похибка мірників за рахунок верхнього наливу	Таблиця 2.10 Бюджет невизначеності КП	Похибка виміру температури води	Похибка виміру температури робочої вуглеводневої рідини
Тип мірника	Наливання мірника через нижній або верхній патрубок	Наливання мірника через верхній патрубок	Наливання мірника тільки через нижній патрубок	Не використовується

У таблиці 1.8 представлені калібрувальні та вимірювальні можливості методики визначення місткості каліброваного ділянки ТПУ по МІ 3155-2008 на базі еталонного мірника 1-го розряду і об'ємного лічильника, патент № 102995 в порівнянні з метрологічними характеристиками інших еталонів, підтверджені акредитованим національним інститутом метрології «VSL» (Нідерланди).

Калібрувальні та вимірювальні можливості місткості каліброваного ділянки ПУ, підтверджені сертифікатом CIPM MRA, виданими НМІ «VSL» (Нідерланди)

Країна, метрологічна служба підприємства	Номер сертифіката, підтверджує заявлені калібрувальні та вимірювальні можливості	Сертифікований обсяг ПУ м ³ /тип ПУ	Невизначеність вимірювань каліброваного обсягу повірочної установки, %
США, фірма Cameron, м Піттсбург	39331745	0.12 (КП)	0.03
		10.0 (ТПУ)	0.04
		3.3 (ТПУ)	0.07
США, фірма Daniel, м Х'юстон	39332333	60.0 (ТПУ, мастер-лічильник)	0.035 ... 0.065

Висновки за розділом 1

1. Проведений аналіз методик повірки показав, що в більшості випадків методики і засоби вимірювань, що використовуються під час калібрування та повірку повірочних установок, були розроблені більше 25-ти років тому і не відповідають сучасному технічному рівню. На метрологічні характеристики цих засобів вимірювальної техніки впливає безліч чинників, що знижують точність вимірювань, за рахунок великих складових сумарної стандартної невизначеності, а саме через похибки вимірювань: маси, температури і щільності. Крім цього ці методики вимагають значних матеріальних і тимчасових витрат при їх виконання.

2. Аналіз існуючих методик повірки ваг, еталонних мірників першого розряду і повірочних установок показав, що існуючі методи і засоби повірки, що застосовуються при калібрування і повірки еталонних мірників 1-го розряду

потребують удосконалення та модернізації відповідно до завданням забезпечення достовірних вимірювань маси та об'єму вуглеводневих рідин при облікових операціях.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКИ ПОВІРКИ ПОВІРОЧНИХ УСТАНОВОК З ЗАСТОСУВАННЯМ СПЕЦІАЛЬНИХ ВАГ

2.1 Дослідження метрологічних характеристик спеціальних ваг за методикою з застосуванням компаратора

Опис розроблених методик полягає в перевірці гирь М1 на місці експлуатації по компаратору і присвоєння їм класу F2 безпосередньо під час перевірки еталонних мірників 1-го розряду.

Гирі необхідні для проведення юстування, повірки і випробувань ваг, вони роблять ваги засобом вимірювань маси. Розроблені методики МП 2301-0023-2006, МІ 3058-2007 і МІ 3059-2007 дозволяють обійтися без великої кількості гирь класу F2. Замість них, як баластних вантажів, використовуються чавунні гирі масою 20 кг класу М1. Для перевірки і юстировки ваг використовуються набори баластних вантажів (гирь) відповідної маси, кожен з яких окремо може бути звірений з гирею класу F2 масою 20 кг. Таким чином, кожному баластних вантажу приписується своя дійсна маса на момент виконання вимірювань. Відповідно до принципу адитивності сумарна маса баластних вантажів дорівнює сумі їх мас. Звичайно, ці баластні вантажі не володіють достатньою довгостроковою стабільністю. Тому отримані дійсні значення маси баластних вантажів можна застосовувати тільки в процесі проведеної перевірки вагів, безпосередньо під час калібрування та повірку в даний час і в даному місці. Таким чином, основними засобами повірки є ваги високого класу точності, зразкова гиря масою 20 кг класу F2 і компаратор маси на це навантаження. Даний метод застосовують для юстирування і повірки ваг високого класу точності з найбільшою межею зважування більше 100 кг, гирь великої маси класу М1 і мірників 1-го розряду. Для виконання вимірювань в якості основних засобів вимірювань були використані: гиря масою 20 кг класу точності F1 по ГОСТ 7328-2001, мас-компаратор ВК-20М ТУ4274-002-27414051-04 і ваги платформні KES-1500 високого класу точності по ГОСТ 24104-2001 фірми «Меттлер Толедо ». З

2006р. стали застосовуватися платформні ваги фірми «Петвес» високого класу точності, на максимальні навантаження 600/1500/3000кг.

Перед початком перевірки вагів їх витримують при постійній температурі в місці проведення повірки не менше 4 годин. Ваговий компаратор юстірують за допомогою гирі масою 20 кг класу точності F1 згідно керівництву по експлуатації ваг. Перед проведенням повірки ваг слід повірити комплект баластних вантажів сумарною масою, рівною НПВ повіряються ваги. Перевірку проводять на мас-компараторе методом звірення з гирею масою 20 кг класу точності F1. Для кожної гирі, що входить в комплект визначаємо її дійсне значення за формулою:

$$m_B = m_A + I_B - \frac{(I_{A1} + I_{A2})}{2}, \quad (2.1)$$

де m_B і m_A – дійсні значення маси калібруємої і еталонної гирі; I_B – свідчення компаратора для калібруємої гирі; I_{A1} і I_{A2} – свідчення компаратора для еталонної гирі при першому і останньому вимірах.

2.2 Дослідження метрологічних характеристик еталонного мірника

Для визначення показників точності використовувалися основні засоби вимірювань: еталонна гиря 2-го розряду масою 20 кг (гиря класу точності F1) по ГОСТ 7328-2001, мас- компаратор ВК-20М, ваги платформні високого класу точності по ГОСТ 24104-2001 з НПВ, відповідним масі заповненого мірника, комплект гирь паралелепіпедної форми масою 20 кг класу точності M1 і гирь масою 0,5; 5 і 10 кг класу точності F2 по ГОСТ 7328- 2001

Мірник необхідно підготувати відповідно до вимог п.2.2. мас – компаратор ВК-20М необхідно повірити за допомогою гирі масою 20 кг класу точності F1 по ГОСТ 7823-2001 відповідно вимог керівництва з експлуатації.

Перед проведенням повірки мірників слід повірити комплект гирь класу точності M1 сумарною масою, близькою до маси води в мірнику. Повірки слід проводити на мас-компараторе ВК-20М методом звірення з гирею масою 20 кг

класу точності F1 відповідно до. Для кожної гирі, що входить в комплект слід визначити її дійсне значення.

Проведення вимірювань. На платформні ваги встановлюють попередньо змочений мірник, за допомогою пристрою вибірки маси тари встановлюють нульові показання ваг і заповнюють мірник дистильованою водою до позначки номінальної місткості. Записують показання ваг m_I , кг і вимірюють температуру води в мірнику t , °C. Після цього воду зливають, після повного спорожнення мірника дають витримку на слив крапель протягом 1 хвилини. Потім встановлюють на ваги гирі, загальною масою близькою до виміряним значенням m_I і кратного 20 кг, записують свідчення терезів. визначають поправку до показань ваг за формулою:

$$\Delta I = (m_W - I_W) \cdot \frac{I_m}{I_W}, \quad (2.2)$$

де m_W – маса встановлених на ваги гирь.

Результат зважування води в заповненому до номінальної позначки мірника отримують за формулою:

$$m = I_m + \Delta I. \quad (2.3)$$

Місткість мірника V_t в дм^3 визначають за формулою:

$$V_t = p \cdot m, \quad (2.4)$$

де p – коефіцієнт, що враховує значення щільності дистильованої води і поправку на дію сили, що виштовхує повітря. Чисельні значення коефіцієнта p наведені в додатку використовуваних джерел.

Місткість мірника V_{20} при 20 °C обчислюють за формулою:

$$V_{20} = n \cdot V_t, \quad (2.5)$$

де n – коефіцієнт, що враховує зміну обсягу мірника від температури в залежності від матеріалу, з якого він виготовлений. Чисельні значення коефіцієнта n наведені в додатку використовуваних джерел. Місткість вивіреного мірника визначають два рази. При цьому відносна різниця між

результатами вимірювань не повинна перевищувати $\pm 0,01\%$, а відносні різниці між кожним з цих результатів і номінальним значенням місткості не повинні перевищувати $0,01\%$. За дійсне значення місткості вивіреного мірника приймають середнє арифметичне з двох результатів вимірювань і за абсолютну похибка вивіреного мірника приймають різницю між номінальною значенням місткості мірника і його дійсним значенням.

2.3 Дослідження метрологічних характеристик спеціальних ваг за методикою без застосування компаратора

У звичайних вагах з кількома датчиками, сигнали з кожного з них підсумовуються і сумарний сигнал виводиться на дисплей. Такі ваги характеризуються одним сумарним коефіцієнтом перетворення. При цьому інформація про індивідуальні властивості датчиків втрачається і не може бути врахована в подальшому. Коефіцієнт перетворення ваг такого типу знаходять навантаженням ваг еталонними гирями. У найпростішому випадку він являє собою частка від ділення зміна сигналу ΔI на приріст навантаження від нуля до маси еталонної гирі, тобто

$$k = \frac{\Delta I}{m_r}, \quad (2.6)$$

де k – коефіцієнт перетворення ваг; m_r – маса еталонної гирі.

При цьому з ростом верхньої межі зважування ваг потрібні дедалі більшого кількості еталонних гирь. Ці гирі повинні бути доставлені на місце їх експлуатації або на місце їх повірки. Основну частку витрат на експлуатацію таких ваг, що застосовуються для повірки еталонних мірників 1-го розряду, становить вартість гирь класу F2. Крім цього на практиці часто буває складно забезпечити доставку 1500 кг гирь на перевірку. Для забезпечення достовірних вимірювань і зниження вартості витрат на експлуатацію і технічне обслуговування були запропоновані спеціальні ваги з незалежними трикомпонентними датчиками, забезпеченими трьома тензорезисторні мостами, чутливими уздовж вертикальної осі Z за дією вимірюваного навантаження і до

бічних горизонтальних складових, уздовж осей X і Y. Причому інформація про складові навантаження виводиться на дисплей з кожного датчика, що дає можливість мінімізувати бічні складові із записом їх значень у відповідному протоколі. Після цього датчики можна зняти з ваг і відвести їх в перевірку в акредитованому на перевірку метрологічний центр випробувань засобів вимірювань за допомогою еталонних силовоспроізвідних машин 1-го розряду (Еталонних гирь) з межею відносної похибки не більше $\leq \pm 0,002\%$ для забезпечення вимог ГОСТ Р 8.663-2009 для ваг, що застосовуються для повірки еталонних мірників 1-го розряду. Після перевірки датчики встановлюються в ваги і юстируються з урахуванням отриманих раніше значень бічних складових при навантаженні обраної юстувальні масою. Юстування проводять на місці експлуатації ваг з урахуванням значень прискорення вільного падіння в місцях експлуатації та повірки ваг. Еталонна маса m_r , з якої порівнюють показання ваг, розраховують за формулою:

$$m_r = Fr / g_V, \quad (2.7)$$

де Fr – значення сили в Н, що відтворюється робочим еталонно одиниці сили; g_V – прискорення вільного падіння на місці повірки датчика.

Тоді значення встановленої маси на місці експлуатації m_{er} розраховують за формулою:

$$m_{er} = m_r \cdot \frac{g_r}{g_e}, \quad (2.8)$$

де g_e – прискорення вільного падіння на місці експлуатації датчика.

Ваги з навантаженнями менше 300 кг можна повірити за допомогою еталонних гирь. В цьому випадку доставка еталонних гирь до місця експлуатації не викликає ускладнень і доцільно використовувати в вагах звичайні однокомпонентні ваговимірювальні датчики. В цьому випадку пропонується визначати коефіцієнти перетворення кожного окремого датчика шляхом навантаження ваг еталонної гирею, переміщаючи її по платформі ваг і, кожного разу знімаючи показання з кожного датчика. Якщо число таких вимірювань

перевищує число датчиків в вагах, то ми отримуємо надлишкову систему рівнянь вимірювань, з якої методом найменших квадратів знаходимо оцінки коефіцієнтів перетворення датчиків і їх невизначеності.

У вагах застосовані трикомпонентні ваговимірювальні датчики (рис. 2.1), які перетворюють прикладену до них силу, в даному випадку вага навантаження, по трьом координатним осях X , Y , Z до відповідних електричних сигналів.

Вихідний сигнал по компоненті вектора сили уздовж вертикальної осі Z пропорційний масі вимірюваного навантаження, а сигнали по компонентах вектора сили уздовж осей X , Y в горизонтальній площині пропорційні бічним складовим вектора сили прикладеному навантаженню. В ідеальному випадку вони повинні бути близькі до нуля. Тоді вектор сили від вимірюваної навантаження збігається з компонентою уздовж осі Z :

$$F_l = F_z . \quad (2.9)$$



Рис. 2.1 – Трикомпонентний ваговимірювальний датчик

Сигнали по компонентах вектора сили уздовж осей X , Y служать для контролю правильності юстирування датчиків. Градування датчиків по

вимірювального каналу (по осі Z) проводять на еталонній установці прямого навантаження. При цьому фіксують сигнали U_{sx} в U_{sy} по каналах X і Y. При появі сигналів уздовж осей X, Y більше 3 грам, вимірювання виробляються з урахуванням цих навантажень. Для визначення коефіцієнтів перетворення ваговимірювальних датчиків спеціальних ваг і їх невизначеностей виконують такі процедури: звільняють платформу ваг і після заспокоєння натисканням клавіші «Т» тарують свідчення терезів на нуль. На платформу ваг встановлюють еталонну гирю (комплект гирь) масою 500 кг, відповідної першої випробувальної навантаженні m_1 . Еталонну гирю встановлюють по можливості симетрично щодо центру вантажоприймальної платформи і після заспокоєння записують свідчення терезів з кожного датчика I_{11} , I_{12} , I_{13} потім при тому ж навантаженні на ваги виробляють переміщення частини гирь в сторону першого датчика і після заспокоєння знімають показання ваг з кожного датчика, далі виробляють перерозподіл навантаження в сторону другого датчика і після заспокоєння знімають показання ваг з кожного датчика, потім перерозподіляють навантаження на третій датчик і після заспокоєння знімають показання з кожного датчика. На цьому закінчується пер-ший цикл вимірювань. Таких циклів слід провести не менше трьох. В результаті заповнюють таблицю, яку записують у вигляді прямокутної матриці A_1 розміром $(n \times 3 + 1)$, де n - число циклів вимірювань.

Потім звільняють вантажоприймальну платформу і знову тарують ваги на нуль.

Після цього повторюють всі операції з другої навантаженням 1000 кг і отримують матрицю A_2 . Потім повторюють всі операції з третьої навантаженням 1500 кг і отримують матрицю A_3 . В результаті отримують для кожної навантаженні свою матрицю показань A_1 , A_2 і A_3 . Систему рівнянь вимірювань в матричній формі записують в наступному вигляді:

$$m = A \cdot k, \quad (2.10)$$

де m – вектор мас вимірюваних навантажень; k – вектор коефіцієнтів перетворення датчиків.

Коефіцієнти перетворення датчиків k_1 , k_2 і k_3 методом найменших квадратів за формулою:

$$k = L \cdot m, \quad (2.11)$$

$$L = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T, \quad (2.12)$$

де $k = \begin{pmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \end{pmatrix}$ – шуканий вектор коефіцієнтів перетворення датчиків;

A^T – транспонована матриця A ; m – вектор, всі компоненти якого рівні однієї з випробувальних навантажень.

Підставляючи отримане рішення для вектора k в систему рівнянь вимірювань (2.11), отримаємо вектор залишкових похибок Δ , що дорівнює:

$$\Delta = A \cdot k - m. \quad (2.13)$$

Варіаційно-коваріаційну матрицю знаходять за формулою:

$$VA = (A^T \cdot A)^{-1}. \quad (2.14)$$

Невизначеність вектора коефіцієнта перетворення k по типу A обчислюють за формулою

$$uA = S \cdot \sqrt{\text{Diag}(VA)}. \quad (2.15)$$

Вимірювання проводять не менше, ніж при двох випробувальних навантаженнях. Вектор невизначеності вектора коефіцієнта перетворення k по типу B обчислюють за формулою:

$$uB = L \cdot u_w. \quad (2.16)$$

Сумарну стандартну невизначеність вектора коефіцієнта перетворення розраховують за формулою:

$$u_c(k) = \sqrt{uA^2 + uB^2}. \quad (2.17)$$

Розширену невизначеність вектора коефіцієнта перетворення розраховують по формулою:

$$U(k) = 2u_c(k). \quad (2.18)$$

Показання датчиків ваг з трьома незалежними датчиками, представлені у вигляді матриці A , можна уявити як компоненти деякого вектора Z (Z_1, Z_2, Z_3). Очевидно його довжина пропорційна прикладеному навантаженню, а його напрямок від неї не залежить і є інваріантом для даної конфігурації ваг. Напрямок навантаження залежить від співвідношення коефіцієнтів перетворення ваг, яке проявляється при зміщенні навантаження, прикладеної до ваг, по платформі. Граничні значення кутів α і β , що визначають напрямок вектора Z , можуть служити оцінкою стану ваг і бути критерієм, коли їх слід налаштувати і провести чергову перевірку. У таблиці 2.1 представлені результати визначення кутів вектора Z , що визначають його напрям при різних навантаженнях, для спеціальних ваг ВСПМ-1500

Таблиця 2.1

Результати визначення кутів вектора Z

Навантаження, кг	$\alpha_{\text{ср}}$, град.	$\Delta\alpha$, град	$\beta_{\text{ср}}$, град	$\Delta\beta$, град	Число вимірювань, N
320	35.1	± 10.5	41.8	± 6.9	13
1320	35.9	± 6.6	47.4	± 6.5	13
452	35.6	± 0.5	48.9	± 0.6	9
1452	35.6	± 0.6	45.5	± 0.6	9

Межі кута α і кута β , всередині яких можна вважати робочий стан ваг, задовольняє вимогам технічної документації, розраховують для нижньої межі за формулою:

$$\alpha_n = \alpha_{\min} - \Delta\alpha_{\max} = 24.6 \text{ град.} \quad (2.19)$$

І для верхньої межі по формулі:

$$\alpha_B = \alpha_{\max} + \Delta\alpha_{\max} = 42.5 \text{ град.} \quad (2.20)$$

В процесі експлуатації ваг контролюють напрямок вектора шляхом навантаження ваг деякої масою, для чого можна використовувати порожній еталонний мірник. Якщо напрямок вектора виходить за межі зазначених меж, слід прийняти рішення про проведенні юстирування і подальшої повірки.

Показання ваг і значення залишкових похибок наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Показання ваг і значення залишкових похибок

№ п/п	Навантаження 320 кг		Навантаження 1320 кг	
	Показання, кг	Похибка кг	Показання, кг	Похибка кг
1	319.992	-0.014	1320.017	-0.009
2	320	-0.006	1319.979	0.047
3	320.006	-0.001	1320.017	-0.009
4	320.028	0.022	1320.05	0.023
5	320.02	0.014	1320.058	0.032
6	320.014	0.008	1320.017	-0.009
7	319.978	0.028	1319.984	-0.043
8	320.005	0.001	1319.992	0.034
9	320.016	0.010	1320.051	0.024
10	320.025	0.019	1320.017	0.009
11	319.987	-0.019	1320.069	0.043
12	320.004	-0.002	1320.056	0.029
13	320.005	-0.001	1320.035	0.008
Середнє	320.006	0	1320.0264	0
СКО, кг	0.015		0.025	

Значення коефіцієнтів перетворення датчиків при двох випробувальних навантаженнях наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Значення коефіцієнтів перетворення датчиків при двох випробувальних навантаженнях

№ п/п	Навантаження, кг	
	320	1320
K1, кг/од	0.003013	0.003009
K2, кг/од	0.002996	0.003007
K3, кг/од	0.002997	0.002996

Похибки ваг при двох навантаженнях наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Похибки ваг при двох навантаженнях

№ п/п	Показник точності	Отримане значення показника точності при навантаженні, кг (%)	
		320	1320
1	Випадкова складова похибки, кг	0,015 (0,0047)	0,025 (0,0019)
2	Невиключена систематична похибка, кг	0*	0*
3	Довірчі границі сумарної похибки при довірчій ймовірності 0,95	0.029 (0,0091)	0,050 (0,0038)
4	Розширена невизначеність результату одиничного виміру (при $k = 2$)	0.029 (0,0091)	0,050 (0,0038)

*Пренебрежимо мала величина

2.4 Дослідження метрологічних характеристик еталонного мірника за методикою без застосування компаратора

Результати проведених досліджень підтвердили високу точність спеціальних ваг ВСПМ-1500 (рис 2.2), виконаних на базі трикомпонентних ваговимірювальних датчиків. Розширена невизначеність ваг склала $\pm 0,004\%$ при довірчій ймовірності $P = 0,95$, що в 2,5 рази краще розширеної невизначеності вимірювань, що отримується за допомогою вживаних в даний час ваг для перевірки еталонних мірників 1-го розряду.



Рис. 2.2 – Визначення місткості мірника на вагах ВСПМ-1500

З цієї причини ваги ВСПМ-1500 можуть бути введені до складу вихідного еталона одиниці маси і об'єму рідини.

Під час проведення перевірки мірників 1-го розряду у відповідності з цією методикою повинні бути виконані наступні операції:

- визначення маси порожнього і заповненого дистильованою водою мірника;
- визначення дійсного значення місткості мірника;
- визначення маси води в горловині;
- визначення місткості горловини і ціни поділки шкали мірника;
- визначення похибки і розширеної невизначеності місткості мірника;

- визначення розширеної невизначеності місткості горловини мірника.

Місткість до номінальної позначки шкали мірника відповідно до запропонованої методикою визначають методом заміщення маси води масою еталонних гирь. Масу води в мірнику, заповненого до позначки номінальної місткості, звіряють з еталонними гирями на вагах спеціальних ВСПМ високого класу точності з відносним значенням СКО не більше 0,0025%.

Мірник встановлюють за рівнем на платформі ваг, показання ваг встановлюють на нуль, натисканням кнопки « T » на сенсорному дисплеї. Через впускний кран мірник заповнюють дистильованою водою до позначки номінальної місткості. По закінченні 10 хвилин, вимірюють і реєструють температуру води в термокишенях t_1 і t_2 , приймаючи температуру мірника рівною середньому арифметичному $\bar{t}$ з двох вимірних значень t_1 і t_2 . Реєструють показання ваг I_m . Зливають воду з мірника суцільним струменем, дають витримку на слив крапель протягом 60 с і знімають мірник з платформи ваг.

Потім встановлюють на ваги імітатор порожнього мірника, показання ваг встановлюють на нуль, натисканням кнопки « T » на сенсорному дисплеї і потім на імітатор встановлюють гирі, заміщають масу води, загальною масою, m_w , близькою до виміряного значення I_m , і реєструють показання ваг I_w .

Визначення місткості мірника визначають не менше двох разів. розбіжність між двома отриманими значеннями не повинно перевищувати 0.01%. За дійсне значення місткості приймають середнє арифметичне з двох значень його місткості.

Місткість горловини мірника за шкалою мірника на будь-якій точці позначки шкали визначають як суму (різницю – для відміток, розташованих нижче за відмітку номінальної місткості) номінальною місткості мірника і місткості його горловини від позначки номінальної місткості до обраної позначки.

Заповнюють мірник водою вище максимальної верхньої позначки шкали. Після 10 хвилин витримки вимірюють температуру води в мірнику і реєструють

температуру, приймаючи температуру мірника рівній температурі води. Встановлюють на ваги змочену допоміжну ємність. При наявності у ваг функції обнулення, показання ваг встановлюють на «0». Зливають (відбирають) воду з мірника у допоміжну ємність до рівня мінімальної нижньої позначки шкали. Наповнений посудину встановлюють на ваги, зважують і реєструють значення маси води в допоміжній ємності, зважування проводять з виконанням умов по зміні температури води і повітря. Зливають воду з допоміжної ємності.

Місткість між крайніми відмітками шкали визначають не менше двох разів. При цьому відносна різниця між результатами вимірювань не повинна перевищувати 0,01%.

Визначення ціни поділки шкали. Отримані при вимірах місткості шкали значення маси води, переводять в значення обсягу, при температурі 20 °С. Ціну поділки шкали горловини визначають як частка від ділення місткості горловини на число поділок. Обробку результатів вимірювань проводять за алгоритмом обробки результатів місткості мірника, наведеним нижче.

Місткість еталонного мірника визначають ваговим методом відповідно до рівнянням вимірювань:

$$V_{20} = m_W (p_W - p_a) \frac{I_m [1 - (t - 20)\beta]}{I_W p_W (p_t - p_a)}, \quad (2.21)$$

де V_{20} – місткість мірника при температурі 20 °С; m_W – маса гирь, що заміщають масу води в мірнику; p_W – щільність гирь; p_a – щільність навколишнього повітря; I_m – різниця показань ваг з заповненим водою мірником і порожнім мірником (відповідної масі води в мірнику); t – температура води в мірнику; β – об'ємний коефіцієнт температурного розширення мірника; I_W – показання ваг з гирями, що заміщають масу води в мірнику; p_t – щільність води при температурі t .

Справжнє значення місткості горловини мірника на максимальній верхній позначці шкали при 20 °С розраховують за формулою:

$$V_{+N}^{20} = \frac{I + N}{(p_W^t - p_a^t)} \left[1 - \frac{2}{3} \beta(t - 20) \right]. \quad (2.22)$$

Справжнє значення місткості горловини мірника на максимальній нижній позначці шкали при 20 °С розраховують за формулою:

$$V_{-N}^{20} = \frac{I - N}{(p_W^t - p_a^t)} \left[1 - \frac{2}{3} \beta(t - 20) \right]. \quad (2.23)$$

Результати вимірювань вхідних величин, значення констант і їх межі допустимої абсолютної похибки мірника місткістю 1000 дм³ наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

Результати вимірювань вхідних величин

№ п / п	Вхідна величина	Чисельне значення	Межі допустимої абсолютної похибки	Стандартна невизначеність
1	$\beta, ^\circ\text{C}^{-1}$	0.0000477	± 0.0000001	0.00000003
2	$\rho_a, \text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$	1.195	± 0.0001	0.00003
3	$\rho_W, \text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$	8000	± 0.5	0.8
4	$I_m, \text{кг}$	996.363	± 0.01	0.029
5	$t, ^\circ\text{C}$	20.98	± 0.1	0.04
6	$\rho_t, \text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$	997.988	± 0.003	0.001
7	$I_W, \text{кг}$	999.38	± 0.01	0.03
8	$m_W, \text{кг}$	1000.0209	± 0.018	0.006

Вимірюють і реєструють температуру води в термокишенях t_1 і t_2 , приймаючи температуру води в мірнику, що дорівнює середньому арифметичному $\bar{t}$ з двох вимірних значень t_1 і t_2 . Далі реєструють показання ваг І. Зливають воду з мірника суцільний струменем, дають витримку на слив крапель протягом 60 с і знімають мірник з платформи ваг.

Стандартну невизначеність результату вимірювань середньої температури в мірнику u_t можна оцінити за формулою:

$$u_t = \sqrt{2 \cdot \left(\frac{\Delta t}{2 \cdot \sqrt{3}} \right)^2}, \quad (2.24)$$

де Δt - межа допустимої абсолютної похибки термометрів.

Оцінюємо сумарну стандартну невизначеність результату вимірювань середньої температури в мірнику як $u_t = 0,04$ °C.

Щільність повітря розраховують за формулою:

$$p_a = \frac{0.34848 \cdot P_a - 0.009024 \cdot (hr) \cdot e^{0.0612t_a}}{273.15 + t_a}. \quad (2.25)$$

Визначення похибки і невизначеності місткості мірника ΔV знаходять як різницю між його дійсним і номінальним значеннями:

$$\Delta V = V_{20} - V_{nom}. \quad (2.26)$$

Місткість мірників V_N при 20 °C на N-ій позначці шкали знаходять за формулою:

$$V_N = V_{20} \pm \frac{N}{N_{\max}} V_{\pm N}^{20}. \quad (2.27)$$

У формулі (2.27) застосовувати знак «+» для відміток шкали вище нульової позначки, знак «-» – для відміток шкали нижче номінальної позначки.

Сумарну стандартну невизначеність вимірювань щільності повітря розраховують за формулою:

$$u(p_a) = \sqrt{u_F^2 + \left(\frac{\partial p_a}{\partial P_a} \cdot u_{Pa} \right)^2 + \left(\frac{\partial p_a}{\partial t_a} \cdot u_{ta} \right)^2 + \left(\frac{\partial p_a}{\partial h_r} \cdot u_{hr} \right)^2}, \quad (2.28)$$

де $u_F = 10^{-4} p_a$.

Коефіцієнти впливу за умов калібрування мають наступні чисельні значення:

$$\frac{\partial p_a}{\partial P_a} = 10^{-5} p_a; \quad (2.29)$$

$$\frac{\partial p_a}{\partial t_a} = -3.4 \cdot 10^{-3} p_a; \quad (2.30)$$

$$\frac{\partial p_a}{\partial h_r} = -10^{-4} p_a. \quad (2.31)$$

Сумарну стандартну невизначеність вимірювань щільності води розраховують за формулою:

$$u_p = \sqrt{u(p)_{tab}^2 + (p_w^t \cdot \beta_w \cdot u_t)^2}. \quad (2.32)$$

Сумарну стандартну невизначеність вимірювань місткості мірника на номінальній позначці шкали розраховують за формулою:

$$u_c(V_{20}) = \sqrt{\left(\frac{\partial V_{20}}{\partial m_W} u_{mw}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{20}}{\partial p_W} u_{pw}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{20}}{\partial p_a} u_{pa}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{20}}{\partial I_m} u_{Im}\right)^2 + \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_{20}}{\partial t} u_t\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{20}}{\partial \beta} u_\beta\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{20}}{\partial I_W} u_{IW}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{20}}{\partial p_t} u_{pt}\right)^2}}. \quad (2.33)$$

Приватні похідні, що входять в (2.33), являють собою коефіцієнти чутливості:

$$\frac{\partial V_{20}}{\partial m_W} = -\frac{I_m(p_a - p_w)[\beta(t - 20) - 1]}{I_W p_W (p_a - p_t)}; \quad (2.34)$$

$$\frac{\partial V_{20}}{\partial p_W} = -\frac{I_m m_w p_a (20\beta - t\beta + 1)}{I_W p_W^2 (p_a - p_t)}; \quad (2.35)$$

$$\frac{\partial V_{20}}{\partial p_a} = \frac{I_m m_w (p_W - p_t)(20\beta - t\beta + 1)}{I_W p_W (p_a - p_t)^2}; \quad (2.36)$$

$$\frac{\partial V_{20}}{\partial I_m} = -\frac{m_w (p_W - p_w)[\beta(t - 20) - 1]}{I_W p_W (p_a - p_t)}; \quad (2.37)$$

$$\frac{\partial V_{20}}{\partial t} = -\frac{I_m \beta m_w (p_a - p_w)}{I_W p_W (p_a - p_t)}; \quad (2.38)$$

$$\frac{\partial V_{20}}{\partial \beta} = -\frac{I_m m_w (p_a - p_w)(t - 20)}{I_W p_W (p_a - p_t)}; \quad (2.39)$$

$$\frac{\partial V_{20}}{\partial I_W} = \frac{I_m m_w (p_a - p_w)(\beta(t - 20) - 1)}{I_W^2 p_W (p_a - p_t)}; \quad (2.40)$$

$$\frac{\partial V_{20}}{\partial p_t} = -\frac{I_m m_w (p_a - p_w)(\beta(t - 20) - 1)}{I_W p_W (p_a - p_t)}. \quad (2.41)$$

Місткість горловини від мінімальної нижньої до максимальної верхньої відміток розраховують за формулою:

$$V_g = V_{+N}^{20} + V_{-N}^{20}. \quad (2.42)$$

Функціональну залежність для місткості горловини:

$$V_g = \frac{I_\Sigma}{(p_w^t - p_a^t)} \left[1 - \frac{2\beta(t - 20)}{2} \right], \quad (2.43)$$

де:

$$I_\Sigma = I_{+N} + I_{-N}. \quad (2.44)$$

Розширену невизначеність місткості мірника на номінальній позначці для рівня довіри 0,95 для нормального закону розподілу (коефіцієнт охоплення дорівнює 2) обчислюють за формулою:

$$U_{0.95}(V_{20}) = 2u_c. \quad (2.45)$$

Довірчі межі абсолютної похибки при довірчій ймовірності 0.95 розраховують за формулою:

$$\delta = 2u_c. \quad (2.46)$$

У таблиці 2.6 представлені результати вимірювань горловини мірника.

Таблиця 2.6

Бюджет невизначеності горловини мірника

Місткість горловини					
I_{Σ}	19.930 кг	0.001 кг	Рівномірний	$0.001 \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1}$	$1.0 \cdot 10^{-3}$
ρN_w^t	996.849 кг м ⁻³	0.008 кг м ⁻³	те ж саме	$2.0 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{кг м}^{-3}$	$1.6 \cdot 10^{-4}$
ρN_a^t	1.16501 кг м ⁻³	$6 \cdot 10^{-5}$ кг м ⁻³	те ж саме	$2,0 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{кг м}^{-3}$	$1.2 \cdot 10^{-6}$
t	25.76 оС	0.06 оС	те ж саме	$7,2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3 \text{ оС}^{-1}$	$4.3 \cdot 10^{-5}$
B	$0.0000537 \text{ оС}^{-1}$	$1 \cdot 10^{-7} \text{ оС}^{-1}$	те ж саме	$0,076 \text{ м}^3 \text{ оС}$	$7.6 \cdot 10^{-6}$
Vg	0.020 м^3			$uc(Vg)$	$1.0 \cdot 10^{-3}$

Бюджет невизначеності мірника місткістю 1000 дм³ представлений в таблиці 2.7 і на рисунку 2.3.

Таблиця 2.7

Бюджет невизначеності повірки мірників

Параметр	Оцінка	Стандартна невизначеність	Розподіл ймовірностей	Коефіцієнт чутливості	Внесок, дм ³
Місткість на номінальній позначці					
m_w	1000.0037 кг	0.003 кг	Рівномірний	$0,001 \text{ м}^3/\text{кг}^{-1}$	$3.0 \cdot 10^{-3}$
I_m	997.18 кг	0.029 кг	те ж саме	$0,001 \text{ м}^3/\text{кг}^{-1}$	$2.9 \cdot 10^{-2}$
I_w	1000.36 кг	0.021 кг	те ж саме	$0,001 \text{ м}^3/\text{кг}^{-1}$	$2.1 \cdot 10^{-2}$
ρ_a^t	1.165152 кг·м ⁻³	$6 \cdot 10^{-5}$ кг·м ⁻³	те ж саме	$8,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$	$5.3 \cdot 10^{-5}$
ρ_w^t	996.8640 кг·м ⁻³	$0.008 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$	те ж саме	$0,001 \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$	$8.0 \cdot 10^{-3}$

ρ_w	8000 кг·м ⁻³	50 кг·м ⁻³	те ж саме	$1.8 \cdot 10^{-8}$ м ³ / кг·м ⁻³	$9.1 \cdot 10^{-4}$
T	25.68 °C	0.06 °C	те ж саме	$5.4 \cdot 10^{-5}$ м ³ °C ⁻¹	$3.2 \cdot 10^{-3}$
B	0.0000537 °C ⁻¹	$1 \cdot 10^{-7}$ °C ⁻¹	те ж саме	5,69 м ³ °C	$5.7 \cdot 10^{-4}$
V_{20}	1.00068 м ³			ис (V20) =	$3.7 \cdot 10^{-2}$

На представленому рисунку 2.3 видно, що найбільший внесок у сумарну невизначеність при визначенні обсягу вносить вимірювання маси, що становить 66%. Наступними за значимістю стоять вимірювання температури, що становлять 12% і щільності води 8%.

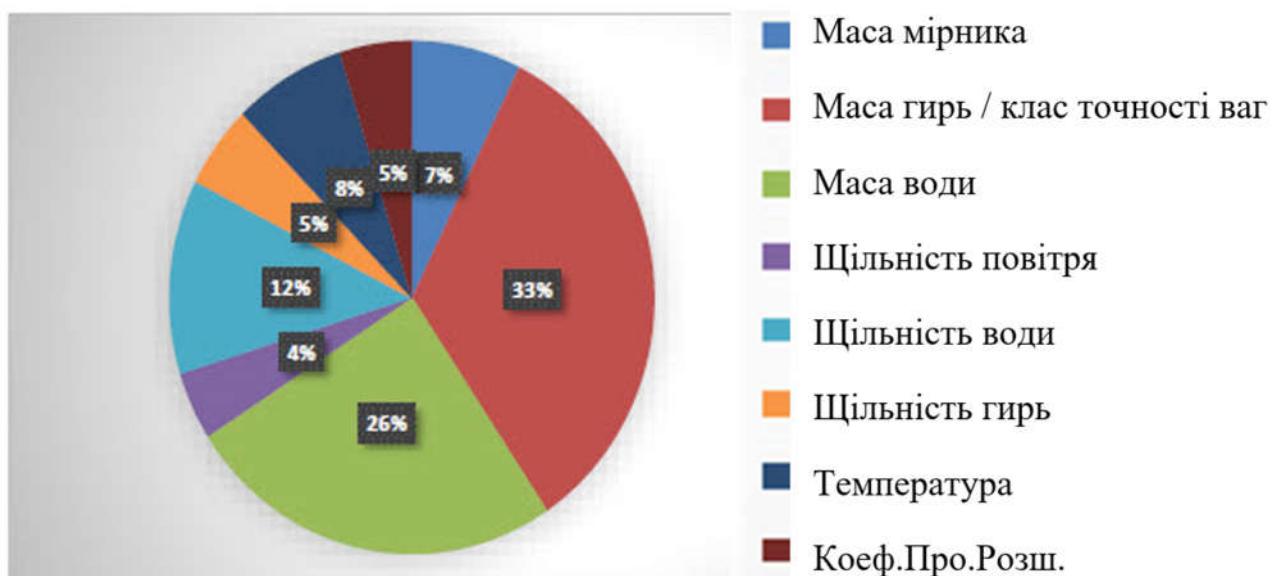


Рис. 2.3 – Бюджет невизначеності вимірювань місткості мірника 1000 дм³

Розширена невизначеність місткості мірника (при $k = 2$)

$$U_{0,95}(V_{20}) = 2u_c = 2 \cdot 0.037 = 0.074 \text{ дм}^3, \quad (2.47)$$

$$W(V_{20}) = 0.0074\%. \quad (2.48)$$

Отримане значення $W(V_g) = 0.0002\%$ розширеної невизначеності місткості горловини мірника в подальших розрахунках не враховуємо через малу величину, що не впливає на отриманий результат.

Результати проведених досліджень підтвердили ефективність застосування спеціальних ваг з трикомпонентними ваговимірювальними датчиками. Ці ваги мають розширену невизначеність не більше $\pm 0,0074\%$ при довірчій ймовірності $P = 0,95$, що в 2,7 рази менше, в порівнянні з метрологічними характеристиками застосовуваних в нині еталонних мірників 1-го розряду. Порівняння метрологічних характеристик представлені в таблиці 2.8. і на рисунку 2.4, який наочно демонструє ефективність застосування нової методики вимірювань.

Таблиця 2.8

Порівняння МХ ваг і мірників

Найменування еталона	Межа довірчої кордону сумарної похибки при довірчій ймовірності $P = 0,95$ (розширеної невизначеності),%	
	До впровадження методики вимірювань	Після впровадження методики вимірювань
Ваги ВСПМ-1500	$\pm 0.01\%$	$\pm 0.004\%$
Мірник OGSB-1000	$\pm 0.02\%$	$\pm 0.0074\%$
Мірник OGSB-20	$\pm 0.02\%$	$\pm 0.0005\%$

Метрологічні характеристики ваг і мірників наочно представлені на рисунку 2.4, який наочно демонструє ефективність застосування нової методики вимірювань.



Рис. 2.4 – Порівняння метрологічних характеристик ваг і мірників до і після впровадження ваг ВСПМ-1500

2.5 Дослідження метрологічних характеристик трубопоршневої повірочної установки

Передача одиниці об'єму ТПУ від мірника місткістю 1000 дм³ із застосування компаратора (лічильника), довірчі кордону сумарної похибки:

$$\delta(P) = \pm K_{\Sigma} \cdot S_{\Sigma}, \quad (2.49)$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{(S_{\theta\bar{y}})^2 + (S_0^{Cq})^2 + (S_0^{TPY})^2}, \quad (2.50)$$

$$K_{\Sigma} = \frac{t_p^m \cdot \sqrt{S_0^{Cq})^2 + (S_0^{TPY})^2} + \theta_{\Sigma o}}{\sqrt{S_0^{Cq})^2 + (S_0^{TPY})^2} + S_{\theta\bar{y}}}, \quad (2.51)$$

$$S_{\bar{y}} = \sqrt{S_{Kcq}^2 + S_{V0}^2}, \quad (2.52)$$

$$S_{\theta\bar{y}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \theta_{XI}^2}{3}} = \sqrt{\frac{\theta_M^2 + \theta_{t1}^2 + \theta_{t2}^2 + \theta_{IBK n}^2 + \theta_{IBK ksc}^2}{3}}, \quad (2.53)$$

де $\theta_{\bar{y}}$ – довірчі кордони невиключену систематичної похибки, %, визначаються за формулою:

$$\theta_{\Sigma 0} = k \cdot \sqrt{\theta_M^2 + \theta_{t1}^2 + 2 \cdot \theta_{t2}^2 + \theta_{t3}^2 + 2 \cdot \theta_{P1}^2 + \theta_{P2}^2 + \sqrt{\theta_{IBK n}^2 + \theta_{IBK ксч}^2 + \theta_Q^2 + \theta_{исп}^2 + \theta_{ныз}^2}}; \quad (2.54)$$

θ_M – кордони складової невиключену систематичної похибки, обумовленої похибкою визначення місткості мірника, $\theta_M = \pm 0,01\%$;

θ_{t1} , θ_{t2} – кордони складових невиключену систематичних похибок, обумовлених похибкою вимірювань температури, %, обчислюють за формулами:

$$\theta_{t1} = \beta \cdot 100 \cdot \Delta t_M; \quad (2.55)$$

$$\theta_{t2} = \beta \cdot 100 \cdot \Delta t_{CЧ}; \quad (2.56)$$

$$\theta_{t3} = \beta \cdot 100 \cdot \Delta t_{ТПУ} = 0.0037\%; \quad (2.57)$$

$\theta_{IBK n}$ – межі складової невиключену систематичної похибки, обумовленої похибкою ІВК при вимірюванні кількості імпульсів від лічильника-компаратора, %;

$\theta_{IBK ксч}$ – межі складової невиключену систематичної похибки, обумовленої похибкою ІВК при обчисленні коефіцієнта перетворення лічильника-компаратора в точці діапазону витрати, при якому визначають місткість ТПУ, %. При визначенні місткості ТПУ із застосуванням мірників і компаратора температуру робочої рідини визначають із застосуванням лабораторних термометрів, тому $\theta_{IBK ксч} = \theta_{IBK n} = \pm 0.005\%$ для ИМЦ 07;

Δt_M , $\Delta t_{CЧ}$, $\Delta t_{ТПУ}$ – межі допустимих абсолютних похибок термометрів при вимірі температури в мірнику, лічильнику-компараторе і ТПУ відповідно, $\Delta t_M = \Delta t_{CЧ} = \Delta t_{ТПУ} = \pm 0.1^\circ\text{C}$;

β_g – коефіцієнт об'ємного розширення води, $\beta_g = 0,00026 \text{ } 1/^\circ\text{C}$;

S_{V0} – СКО випадкової похибки визначення середнього значення місткості ТПУ, $S_{V0} = 0,003\%$;

T - коефіцієнт Стюдента, для $P = 0,95$ і $n = 11$ $t = 2,228$, $P = 0,99$ і $n = 11$ $t = 3,169$;

K - коефіцієнт, який визначається прийнятою довірчою ймовірністю і числом складових НСП і їх співвідношенням, для $P = 0,95$ $k = 1,1$; $P = 0,99$ $k = 1,4$ при $m > 4$

Довірчі кордону сумарної похибки $\Delta(0,95) = 0,018\%$, $\Delta(0,99) = 0,024\%$. Бюджет невизначеності передачі одиниці об'єму ТПУ представлений в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9

Порівняння МХ ваг і мірників

Джерела стандартної невизначеності	Значення, %
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом A , що виникає при визначенні середнього значення місткості ТПУ (СКО випадкової похибки визначення середнього значення місткості ТПУ S_{V0} при числі вимірювань 11)	0.003
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом A , що виникає при визначенні середнього значення коефіцієнта перетворення лічильника-компаратора (СКО випадкової похибки визначення середнього значення коефіцієнта перетворення лічильника-компаратора $S_{Kсч}$ при числі вимірювань 10)	0.003
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом B , що виникає через неточного визначення місткості мірника	$0.01/\sqrt{3}$
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом B , що виникає через неточного визначення температури	$0.0037/\sqrt{3}$
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом B , що виникає через неточного визначення кількості імпульсів від лічильника-компаратора	$0.005/\sqrt{3}$
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом B , що виникає через неточного визначення коефіцієнта перетворення лічильника-компаратора в точці діапазону витрати, при якому визначають місткість ТПУ	$0.005/\sqrt{3}$

Сумарна стандартна невизначеність:

$$u_c = \sqrt{S_{Kc}^2 + S_{V0}^2 + \frac{\theta_M^2 + \theta_{t1}^2 + \theta_{t2}^2 + \theta_{IBK n}^2 + \theta_{IBK kc}^2}{3}} = 0.009\%. \quad (2.58)$$

Розширена невизначеність для рівня довіри 0,95 для нормального закону розподілу результатів вимірювань (коефіцієнт охоплення дорівнює 2)

$$U(0.95) = 2u_c = 0.018\%. \quad (2.59)$$

Розширена невизначеність для рівня довіри 0,99 для нормального закону розподілу результатів вимірювань (коефіцієнт охоплення дорівнює 3):

$$U(0.99) = 3u_c = 0.027\%. \quad (2.60)$$

2.6 Дослідження метрологічних характеристик компакт-прувера

Передача одиниці об'єму КП від мірника місткістю 20 дм³, довірчі кордони сумарної похибки:

$$\delta(P) = \pm K_\Sigma \cdot S_\Sigma, \quad (2.61)$$

$$S_\Sigma = \sqrt{S_{\theta\bar{y}}^2 + S_y^2}, \quad (2.62)$$

$$K_\Sigma = \frac{t_p^n \cdot S_0^{IIY} + \theta_{\Sigma 0}}{S_0^{IIY} + S_{\theta\bar{y}}^2}, \quad (2.63)$$

$$S_\Sigma = \sqrt{S_{V0}^2 + S_{\theta\bar{y}}^2}, \quad (2.64)$$

$$S_{\theta\bar{y}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=3}^m \theta_{XI}^2}{3}} = \sqrt{\frac{\theta_M^2 + \theta_t^2}{3}}. \quad (2.65)$$

Довірчі кордону невиключену систематичної похибки КП при зберіганні і передачі одиниці об'єму:

$$\theta_y = (HCP_V) = \sqrt{\frac{\theta_M^2 + \theta_t^2}{3}}, \quad (2.66)$$

θ_M – межі складової невиключену систематичної похибки, обумовленої похибкою визначення місткості мірника, %. $\theta_M = \pm 0,01$ %;

θ_t – межі складової невиключену систематичної похибки, обумовленої похибкою вимірювань температури, %, обчислюють за формулою $\theta_t \pm 0,0037$ %;

Δt_M – межі допустимих абсолютних похибок термометрів при вимірі температури в мірнику і ТПУ.

$$\Delta t_{ТПУ} \cdot \Delta t_M = \Delta t_{ТПУ} = \pm 0,1 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\beta_g - \text{коефіцієнт об'ємного розширення води, } \beta_g = 0,00026 \text{ } 1/^\circ\text{C};$$

Довірчі кордону сумарної похибки $\Delta(0,95) = 0,017\%$, $\Delta(0,99) = 0,022\%$. Бюджет невизначеності передачі одиниці об'єму КП представлений в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10

Бюджет невизначеності КП

Джерела стандартної невизначеності	Значення, %
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом <i>A</i> , що виникає при визначенні середнього значення місткості ТПУ (СКО випадкової похибки визначення середнього значення місткості ТПУ S_{V0} при числі вимірювань 7)	0.006
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом <i>B</i> , що виникає через неточного визначення місткості мірника	$0.01/\sqrt{3}$
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом <i>B</i> , що виникає через неточного визначення температури	$0.0037/\sqrt{3}$

Сумарна стандартна невизначеність:

$$u_c = \sqrt{S_{V0}^2 + \frac{\theta_M^2 + \theta_t^2}{3}} = 0.008\%. \quad (2.67)$$

Розширена невизначеність для рівня довіри 0,95 для нормального закону розподілу результатів вимірювань (коефіцієнт охоплення дорівнює 2)

$$U(0.95) = 2u_c = 0.017\%. \quad (2.68)$$

Розширена невизначеність для рівня довіри 0,99 для нормального закону розподілу результатів вимірювань (коефіцієнт охоплення дорівнює 3):

$$U(0.99) = 3u_c = 0.025\%. \quad (2.69)$$

Межі довірчої кордону сумарної похибки, отримані в наслідок досліджень метрологічних характеристик ТПУ і компакт-прувера представлені в таблиці 2.11 і на рисунку 2.5, де видно дворазове зменшення похибки після впровадження методики.

Таблиця 2.11

Порівняння МХ ПУ після впровадження методики вимірювань

Найменування еталона	Допустима довірча межа сумарної похибки при довірчій ймовірності (розширеної невизначеності) $P = 0,99$ (розширеної невизначеності); % Для ПУ 1-го розряду	
	До впровадження методики вимірювань	Після впровадження методики вимірювань
ТПУ OGSB-800	± 0.05	± 0.026
ТПУ OGSB-2200	± 0.05	± 0.027
Компакт-прувер Brooks	± 0.05	± 0.025

В результаті експериментальних досліджень були отримані обсяги каліброваних ділянок ТПУ і компакт-прувера з розширеною невизначеністю не більше $\pm 0.027\%$, що в 1,9 рази краще в порівнянні з метрологічними характеристиками застосовуваних в даний час еталонних ТПУ і компакт-прувер 1-го розряду.



Рис. 2.5 – Порівняння метрологічних характеристик ТПУ і КП після впровадження ваг ВСПМ-1500

Висновки за розділом 2

В основі вдосконалення МО вимірювань маси та об'єму вуглеводневих рідин по-кладені спеціальні ваги ВСПМ з трьома незалежними ваговимірювальними датчиками, що сприймають вертикальну і горизонтальні складові по осях X, Y, Z, що дозволяє:

- вирішити актуальну на сьогодні завдання - перевірка на місці експлуатації без застосування еталонних гирь або компаратора, що дозволяє демонтувати ваговимірювальні датчики і проводити їх перевірку за допомогою еталонних гирь або на еталонної установки одиниці сили прямого навантаження;

- ваговимірювальним датчикам відтворити умови прикладання сили при монтажі датчиків в місці механізації тваринницьких на місці експлуатації після повірки;

- застосувати методику із застосуванням компаратора, гирі F1 20 кг, набором гирь класу M1 для повірки еталонних ваг ВСПМ з похибкою не більше $\pm 0,005\%$;

- виконати перевірку еталонних ваг ВСПМ з похибкою не більше $\pm 0,005\%$ набором гирь 1500 кг класу F1 або F2;

- виконати перевірку еталонних ваг ВСПМ з похибкою не більше $\pm 0,005\%$ передачею одиниці сили від робочого еталона одиниці сили 3-го розряду, який є найбільш оптимальним, ефективним і найменш витратним.

РОЗДІЛ 3. ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ПОВІРКИ ПОВІРОЧНИХ УСТАНОВОК ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СПЕЦІАЛЬНИХ ВАГ

3.1 Методика повірки спеціальних ваг і визначення калібрувальних коефіцієнтів

У методиці були застосовані наступні позначення:

Таблиця 3.1

Позначення і визначення

Позначення	Визначення
I_1, I_2, I_3	Показання ваг з датчиків С1, С2, С3
A_1, A_2	Матриці показань ваговимірювальних датчиків при навантаженнях М1 і М2
M_1, M_2	Випробувальні навантаження
M	Вектор мас вимірюваних навантажень
k	Вектор коефіцієнтів перетворення ваговимірювальних датчиків
Δ	Похибка показань ваг
$\Delta_{\text{сист}}$	Систематична похибка показань ваг
N	Число вимірювань при визначенні коефіцієнтів перетворення ваговимірювальних датчиків
S	Групове СКО
E	Вектор залишкових похибок
m_r	Маса еталонної гирі
S	СКО показників датчиків
u_m	Невизначеність, пов'язана з еталонними гирями
u_d	Невизначеність, пов'язана з роздільної здатності дисплея ваг
u_0	Невизначеність, пов'язана з дрейфом нуля ваг
Δm	Вектор залишкових похибок
U	Розширена невизначеність показань ваг

Похибка проведених вимірювань в значній мірі залежить від самих повіряються засобів вимірювань, а не тільки від засобів вимірювань калібрувальної лабораторії, але, до певної міри вона може бути знижена шляхом збільшення кількості вимірів, виконуваних під час повірки. Значення невизначеності розраховується за результатами повірки.

Основні засоби вимірювання, що застосовується при повірці:

- робочий еталон одиниці сили 1-го розряду по ГОСТ Р 8.663-2009 «Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань сили» з межею допустимої відносної похибки $\pm 0,002\%$;
- еталонні гирі 3-го розряду (клас точності F2) масою 500 кг в кількості 4-х шт. або 75 штук масою 20 кг по ГОСТ 8.021 -2005 «Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань маси» з межею відносної похибки $\pm 0,0016\%$;
- гравіметр з діапазоном вимірювань $9,77 \dots 9,85 \text{ м / с}^2$ і відносною похибкою $\delta_0 = 60 \cdot 10^{-8} \dots 100 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}^2$;
- термометр цифровий малогабаритний ТЦМ 9410 М1 з межами допустимої абсолютної похибки $\pm 0.06 \text{ }^\circ\text{C}$.

Умови виконання вимірювань:

- основною умовою отримання позитивного результату при виконанні вимірювань є забезпечення температурної стабілізації устаткування і засобів вимірювань при постійній температурі не менше 8 годин до початку вимірювань;
- постійну температуру навколишнього повітря необхідно підтримувати в діапазоні $20 \pm 5^\circ\text{C}$, градієнт зміни температури навколишнього повітря не повинен перевищувати $0,5 \dots 1^\circ\text{C}$ в годину.

При повірці ваг виконуються наступні операції:

- визначення коефіцієнтів перетворення ваговимірювальних датчиків ваг і їх невизначеностей при навантаженнях 500 і 1000 кг;

- визначення середнього квадратичного відхилення показань ваг при випробувальних навантаженнях 500 і 1000 кг, відповідних масі порожнього і заповненого водою мірника;
- визначення невиключену систематичної похибки ваг і середнього квадратичного відхилення показань ваг при навантаженнях 500 і 1000 кг;
- визначення розширеної невизначеності показань ваг при довільному навантаженні.

3.2 Повірка еталонного мірника

Методика повірки описує процедуру калібрування еталонного мірника ваговим методом. У методиці повірки були застосовані позначення, наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Позначення і визначення

Позначення	Визначення
I_W	Показання ваг з еталонними гирями, що заміщають масу води в мірнику
I_Σ	Показання ваг, відповідне масі води в горловині
I_{+N} та I_{-N}	Показання ваг, відповідне масі води в горловині від номінальної позначці до максимальної верхньої і максимальної нижньої позначки шкали
m_w	Маса еталонних гирт, що заміщають масу води в мірнику
V_{nom}	Номінальне значення місткості мірника
V_{20}	Справжнє значення місткості мірника при 20 °С
V_N	Справжнє значення місткості мірника на N- ой позначці шкали
V_g	Справжнє значення місткості горловини при 20 °С
ΔV	Похибка мірника

V_{+N}^{20} і V_{-N}^{20}	Значення місткості горловини від номінальної позначці до верхньої максимальної і нижньої мінімальної позначці шкали при 20 °С
ρ_w^t	щільність води в мірнику
ρN_w^t	щільність води в горловині мірника
ρ_a^t	щільність навколишнього повітря при зважуванні води в мірнику
ρN_a^t	щільність навколишнього повітря при зважуванні води в горловині
ρW	щільність матеріалу еталонних гир, кг / м ³
t_1 і t_2	температура води на верхньому і нижньому рівнях мірника t середнє значення температури води в мірнику
t	середнє значення температури води в мірнику
β	Об'ємний коефіцієнт температурного розширення мірника
N	число поділок шкали від номінальної позначці
N_{max}	максимальне число поділок шкали від номінальної позначці до верхньої і нижньої відміток
u_{mw}	Стандартна невизначеність маси гирь
u_{pw}	Стандартна невизначеність щільності гирь
u_{pa}	Стандартна невизначеність щільності навколишнього повітря
u_{pt}	Стандартна невизначеність щільності води
u_{Im}	Стандартна невизначеність зважування води в мірнику
u_{IW}	Стандартна невизначеність зважування гирь
u_t	Стандартна невизначеність вимірювань температури
u_β	Стандартна невизначеність температурного коефіцієнта об'ємного розширення мірника
$u_c (V_g)$	Стандартна невизначеність місткості мірника

$u_c(V_g)$	Стандартна невизначеність місткості горловини
$u_{I\Sigma}$	Стандартна невизначеність зважування води в горловині
$U(V_{20})$	Розширена невизначеність місткості мірника при коефіцієнті охоплення $k = 2$
$W(V_{20})$	Розширена відносна невизначеність місткості мірника при коефіцієнті охоплення $k = 2$
$U(V_g)$	Розширена невизначеність місткості горловини при коефіцієнті охоплення $k = 2$
$W(V_g)$	Розширена відносна невизначеність місткості горловини при коефіцієнті охоплення $k = 2$

При проведенні повірки мірників виконують такі операції:

- визначення маси порожнього і заповненого дистильованою водою мірника;
- визначення дійсного значення місткості мірника;
- визначення маси і місткості горловини, ціни ділення шкали мірника;
- визначення похибки і розширеної невизначеності місткості мірника;
- визначення похибки і розширеної невизначеності місткості горловини мірника.

Основні засоби повірки:

- еталонні гири 3-го розряду масою 500 кг в кількості 2-х шт. по ГОСТ 8.021-2005 мають простежуваності до державного первинного еталона одиниці маси МЕТ 3-2008;
- ваги спеціальні ВСПМ на максимальне навантаження 1500 кг і межами відносної похибки $\pm 0,005\%$;
- термометр цифровий малогабаритний ТЦМ 9410 М1 з діапазоном $(-10 \dots 50)$ °С і межами допустимої абсолютної похибки ± 0.06 °С;
- скляний циліндр 1-го класу точності номінальною місткістю 2 дм³ з допустимою похибкою 0.01 дм³.

Умови повірки:

- калібрувальна рідина – вода дистильована;
- температура води і навколишнього повітря, від 15 до 25 °С;
- зміна температури води під час калібрування,
- не більше, $\pm 0,2$ °С;
- зміна температури навколишнього повітря,
- не більше, $\pm 0,5$ °С.

Визначення дійсного значення місткості мірника. Місткість до нульової позначки шкали мірника визначають методом заміщення або методом прямих вимірювань. Мірник, заповнений водою до позначки номінальної місткості, звіряють з еталонними гирями на вагах спеціальних ВСПМ з відносним значенням СКО не більше 0,0025%.

Мірник встановлюють на платформі ваг, показання ваг встановлюють на «0» – тарують. Через впускний кран мірник заповнюють дистильованою водою до позначки номінальної місткості. Після закінчення 10 хвилин, вимірюють і реєструють температуру води в термокарманах t_1 і t_2 , приймаючи температуру мірника рівною середньому арифметичному t з двох вимірних значень t_1 і t_2 . Реєструють показання ваг I_m .

Встановлюють гирі, які заміщають воду, загальною масою m W , близькою до виміряного значенням I_m , реєструють показання ваг I_w . Зливають воду з мірника. Після закінчення зливу роблять витримку на слив крапель протягом 60 с.

Місткість мірників на будь-якій точці позначки шкали визначають як суму (різницю - для відміток, розташованих нижче за відмітку номінальної місткості) номінальної місткості мірника і місткості його горловини від позначки номінальної місткості до обраної позначки.

Заповнюють мірник водою вище позначки кінцевого значення шкали (верхня відмітка шкали). Після 10 хвилин витримки вимірюють температуру води в мірнику і реєструють температуру, приймаючи температуру мірника рівній температурі води. Встановлюють на ваги змочену допоміжну ємність. Показання ваг встановлюють на «0». Зливають воду з мірника в допоміжну

ємність до рівня числовий позначки кінцевого значення шкали. Наповнений посудину встановлюють на ваги, зважують і реєструють значення маси води в допоміжній ємності, зважування проводять з виконанням умов по зміні температури води і повітря. Потім встановлюють на ваги гирі, які заміщають воду, загальною масою близькою до виміряного значення маси води, реєструють показання ваг. Зливають воду з допоміжної ємності.

Обробку результатів вимірювання місткості між відмітками початкового значення шкали (нижньої позначки) і кінцевого значення шкали (верхньої позначки) випробуваного мірника проводять за алгоритмом обробки результатів місткості мірника наведеним вище. Місткість між крайніми відмітками шкали визначають не менше двох разів. При цьому відносна різниця між результатами вимірювань не повинна перевищувати 0,01%, а відносні різниці між кожним з цих результатів і номінальним значенням місткості шкали не повинні перевищувати 0,01%.

Отримані при вимірах місткості шкали значення маси води, переводять в значення обсягу, при температурі 20 °С. Ціну поділки шкали горловини визначають, як частка від ділення місткості горловини на число поділок.

Дійсне значення місткості мірника на номінальній позначці при 20°С розраховують за формулою:

$$V_{20} = m_W(p_W - p_a) \frac{I_m [1 - (t - 20)\beta]}{I_W p_W (p_t - p_a)}. \quad (3.1)$$

Дійсне значення місткості горловини на максимальній верхньої позначки шкали при 20°С розраховують за формулою:

$$V_{+N}^{20} = \frac{I_{+N}}{(p_W^t - p_a^t)} \left[1 - \frac{2}{3} \beta (t - 20) \right]. \quad (3.2)$$

Дійсне значення місткості горловини на максимальній нижньої позначки шкали при 20 °С розраховують за формулою:

$$V_{-N}^{20} = \frac{I_{-N}}{(p_W^t - p_a^t)} \left[1 - \frac{2}{3} \beta (t - 20) \right]. \quad (3.3)$$

Похибка мірника ΔV знаходять як різницю між його дійсним і номінальним значеннями:

$$\Delta V = V_{20} - V_{ном}. \quad (3.4)$$

Місткість мірників V_N при 20 °С на N-ой позначці шкали знаходять за формулою:

$$V_N = V_{20} \pm \frac{N}{N_{\max}} V_{\pm N}^{20}. \quad (3.5)$$

У формулі (3.6) застосовувати знак «+» для відміток шкали вище нульової позначки, знак «-» для відміток шкали нижче нульової позначки.

Сумарну стандартну невизначеність результату визначення місткості мірника на номінальній позначці шкали розраховують за формулою:

$$u_c(V_{20}) = \sqrt{\left(\frac{\partial V_{20}}{\partial m_W} u_{mw}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{20}}{\partial p_W} u_{pw}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{20}}{\partial p_a} u_{pa}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{20}}{\partial I_m} u_{Im}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{20}}{\partial t} u_t\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{20}}{\partial \beta} u_{\beta}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{20}}{\partial I_W} u_{IW}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{20}}{\partial p_t} u_{pt}\right)^2}. \quad (3.6)$$

Місткість горловини від мінімальної нижньої до максимальної верхньої відміток розраховують за формулою:

$$V_g = V_{+N}^{20} + V_{-N}^{20}. \quad (3.7)$$

Отримуємо функціональну залежність для місткості горловини:

$$V_g = \frac{I_{\Sigma}}{(p_w^t - p_a^t)} \left[1 - \frac{2\beta(t - 20)}{3} \right], \quad (3.8)$$

де:

$$I_{\Sigma} = I_{+N} + I_{-N}. \quad (3.9)$$

Сумарну стандартну невизначеність результату визначення місткості горловини розраховують за формулою:

$$u_c(V_g) = \sqrt{\left(\frac{\partial V_g}{\partial t} u_t\right)^2 + \left(\frac{\partial V_g}{\partial \beta} u_\beta\right)^2 + \left(\frac{\partial V_g}{\partial p_a^t} u_a^t\right)^2 + \left(\frac{\partial V_g}{\partial p_W^t} u_{p_W^t}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_g}{\partial I_\Sigma} u_{I_\Sigma}\right)^2} \quad (3.10)$$

де:

$$\frac{\partial V_g}{\partial t} = \frac{2}{3} \beta \frac{I_\Sigma}{(p_W^t - p_a^t)}; \quad (3.11)$$

$$\frac{\partial V_g}{\partial \beta} = \frac{2I_\Sigma}{3(p_W^t - p_a^t)}(t - 20); \quad (3.12)$$

$$\frac{\partial V_g}{\partial p_a^t} = -\frac{I_\Sigma}{(p_W^t - p_a^t)^2} \left[1 - \frac{2}{3} \beta(t - 20) \right]; \quad (3.13)$$

$$\frac{\partial V_g}{\partial p_W^t} = -\frac{I_\Sigma}{(p_W^t - p_a^t)^2} \left[1 - \frac{2}{3} \beta(t - 20) \right]; \quad (3.14)$$

$$\frac{\partial V_g}{\partial I_\Sigma} = \frac{1 - \frac{2}{3} \beta(t - 20)}{(p_W^t - p_a^t)^2}; \quad (3.15)$$

Справжнє значення місткості мірника на номінальній позначці при 20°C за другим способом розраховують за формулою:

$$V_{20} = \frac{\left(1 - \frac{p_a^t}{p_W^t} \right) \cdot I_m [1 - \beta(t - 20)]}{(p_W^t - p_a^t)}. \quad (3.16)$$

Сумарну стандартну невизначеність результату визначення місткості мірника на номінальній позначці шкали при вимірах методом заміщення розраховують за формулою:

$$u_c(V_{20}) = \sqrt{\left(\frac{\partial V_{20}}{\partial p_W} p_{mw}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{20}}{\partial p_a} u_{pa}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{20}}{\partial I_m} u_{pa}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{20}}{\partial t} ut\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{20}}{\partial \beta} u_\beta\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{20}}{\partial p_t} u_{pt}\right)^2}. \quad (3.17)$$

Коефіцієнти чутливості

$$\frac{\partial V_{20}}{\partial p_W} = \frac{I_m p_a [\beta(t-20)-1]}{p_W^2 (p_a - p_t)^2}; \quad (3.18)$$

$$\frac{\partial V_{20}}{\partial p_a} = \frac{I_m (p_w - p_t)(20\beta - \beta t + 1)}{p_W (p_a - p_t)^2}; \quad (3.19)$$

$$\frac{\partial V_{20}}{\partial I_m} = -\frac{m_W (p_a - p_w) [\beta(t-20)-1]}{I_W p_W (p_a - p_t)}; \quad (3.20)$$

$$\frac{\partial V_{20}}{\partial t} = -\frac{\beta I_m \left(\frac{p_a}{p_w} - 1\right)}{p_a - p_t}; \quad (3.21)$$

$$\frac{\partial V_{20}}{\partial \beta} = -\frac{I_m (t-20) \left(\frac{p_a}{p_w} - 1\right)}{p_a - p_t}; \quad (3.22)$$

$$\frac{\partial V_{20}}{\partial p_t} = -\frac{I_m [\beta(t-20)-1] \left(\frac{p_a}{p_w} - 1\right)}{(p_a - p_t)^2}; \quad (3.23)$$

Розширена невизначеність місткості мірника розраховується, виходячи з нормального закону розподілу і ймовірності охоплення 0,95. У цьому випадку коефіцієнт охоплення $k = 2$. Тоді розширена невизначеність:

$$U(V_{20}) = 2 \cdot u_c(V_{20}), \text{ м}^3 \quad (3.24)$$

або у відносному вигляді:

$$U_0(V_{20}) = \frac{U(V_{20}) \cdot 10^{-5}}{1.0} \cdot 100\%. \quad (3.25)$$

3.3 Методика повірки трубопоршневих повірочних установок

Методика повірки виконана на базі методики «Установки повірочні трубопоршневі. Методика повірки перевірочними установками на базі мірника і об'ємного лічильника» і визначає вимоги до процедури калібрування установок повірочних трубопоршневих високого класу точності повірочної установкою на базі мірника і об'ємного лічильника рідини.

Операції повірки:

- визначення метрологічних характеристик СЖ;
- визначення МХ ТПУ.

Основні засоби повірки:

1. Мірник еталонний шкальний 1-го розряду з межами основної відносної похибки $\pm 0,01\%$ і номінальною місткістю 500 або 1000 дм³.
2. Лічильник рідини камерний позитивного витіснення, призначений для вимірювань кількості води зі значенням середнього квадратичного відхилення (СКО) випадкової складової похибки не більше 0,01%.
3. Перетворювачі температури або термометри з межами допустимої абсолютної похибки $\pm 0,1$ °С.
4. Перетворювачі тиску з межами приведеної похибки $\pm 0,1\%$.
5. Пристрій обробки інформації (УОИ) з межами допустимої відносної похибки вимірювань кількості імпульсів $\pm 0,005\%$.

Основні умови повірки:

1. При проведенні повірки дотримуються наступні умови:
 - температура навколишнього повітря, °С від 10 до 30;
 - повірочна рідина вода питна;
 - тиск рідини на виході ТПУ, МПа, не менше 0,1;
 - вміст вільного газу в перевірочній рідині не допускається.
2. Значення піврічного витрати (Q_1 , м³/ч) при якому визначають метрологічні характеристики, і значення витрати (Q_2 , м³/год), при якому проводять контроль відсутності протікання, встановлюють, виходячи з таких умов:

- значення витрати Q_1 має не менше, ніж в 2 рази перевищувати значення Q_2 ;

- значення витрати вибирають в межах діапазону, в якому нормуються МХ ТПУ.

Допускається вибирати одне або обидва значення витрати менше нижньої межі діапазону витрат ТПУ, наведеного в експлуатаційній документації.

Значення витрат рідини при перевірці ТПУ наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Значення витрат рідини при перевірці ТПУ

Умовний діаметр каліброваного ділянки, мм	Q_1 , м ³ /год	Q_2 , м ³ /год
150	3.2-40	1.6-10
300	12-40	6-20
400	22-40	11-20
500	36-40	18-20
600	40-50	20-25
750	40-60	20-30
920	40-60	20-30

Відхилення піврічного витрати від встановленого значення в процесі повірки не має перевищувати 2,5%, зміна температури рідини в ТПУ і СЖ не повинно перевищувати 0,1 ° С за час проходження поршня в одному напрямку від од-ного детектора до іншого .Монтаж технологічної схеми повірки (Рис.. 3.1). Всі з'єднання трубопроводів, силових і сигнальних кабелів необхідно виконувати відповідно до вимог експлуатаційної документації на ТПУ і ПУ.

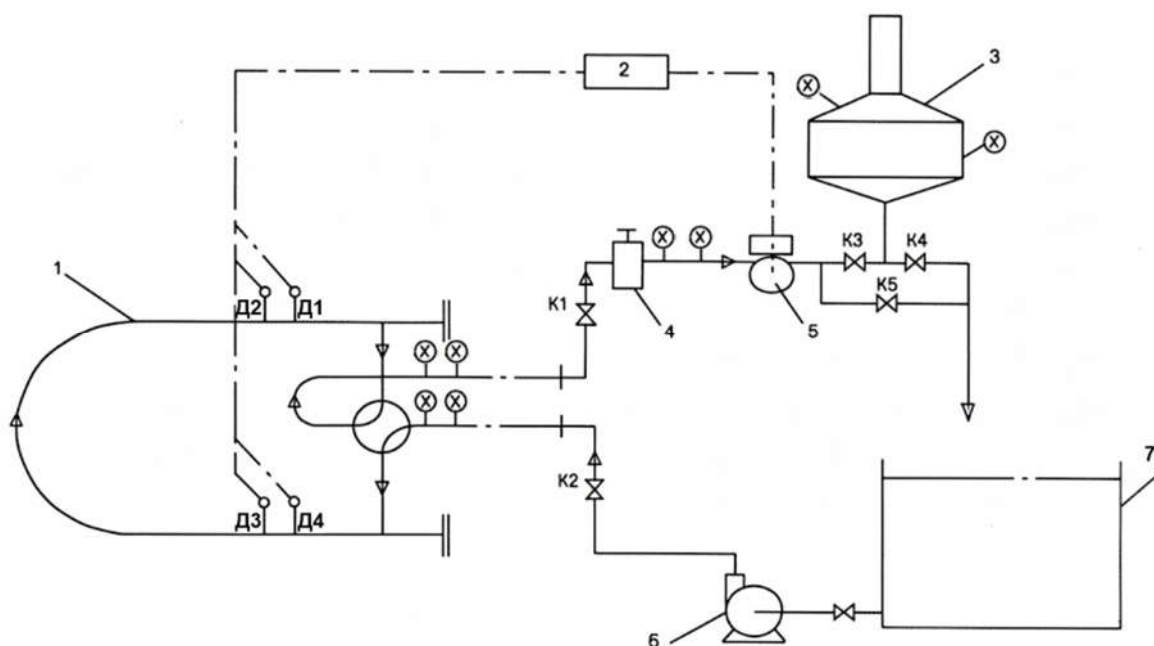


Рис. 3.1 – Схема калібрування

де: 1 – ТПУ; 2 – УОИ; 3 – еталонний мірник; 4 – фільтр; 5 – лічильник рідини; 6 – насос; 7 – ємність-сховище; Д1-Д4 – детектори; К1, К2 – крани що регулюють; К3-К5 – крани запірні; К5 – з контролем протікання.

Перевірку відсутності повітря в схемі виконують наступним чином: при відкритих кранах К1, К2, К5 і закритих кранах К3, К4 включають насос. За допомогою кранів К1 і К2, орієнтуючись на значення вихідної частоти СЖ f' , 1/с, на дисплеї УОИ, встановлюють витрату рідини через технологічну схему, наближено рівний витраті Q_1 .

$$f' = \frac{Q_1 \cdot KF}{3600}, \quad (3.26)$$

де KF – заводський коефіцієнт перетворення СЖ, імпульс/м³.

Виконують кілька пусків кульового поршня ТПУ. При цьому відкривають повітряні вентиля, встановлені на ТПУ, на верхніх точках технологічних трубопроводів, і т.д. і перевіряють наявність повітря, при необхідності повітря випускають. Вважають, що повітря в технологічній системі відсутній, якщо з повітря-них вентилів випливає струмінь робочої рідини без бульбашок повітря.

Контролюють стабілізацію температури робочої рідини. температуру вважають стабільною, якщо за один прохід поршня зміна температури за показаннями перетворювачів температури (термометрів), встановлених на вході і виході ТПУ і біля СЖ, не перевищує $0,1^{\circ}\text{C}$.

Випробування виконують в наступному порядку описаному нижче. Закривають кран К5. Відкривають кран К3 і виконують заповнення мірника, контролюючи процес заповнення по індикатору СЖ і за шкалою мірника.

Закривають кран К3. Якщо через 0,5 хв. після заповнення мірника рівень повірочної рідини в ньому, що фіксується за шкалою на горловині мірника, змінюється, то це свідчить про наявність протікання через крани К3, К4 і необхідності їх усунення.

Відкривають кран К4 і спорожняють мірник, витримавши 1 хв. закривають кран К4.

У УОИ обнуляють, або фіксують поточне значення кількості імпульсів, згенерованих СЖ і виміряних УОИ. Відкривають кран К3 і виконують заповнення мірника. В процесі заповнення мірника фіксують значення температури і тиску повірочної рідини біля СЖ. за значення температури і тиску за час вимірювання приймають середнє арифметичне значень в початку і кінці заповнення мірника.

Закривають кран К3. З дисплея УОИ зчитують значення кількості імпульсів, згенерованих СЖ і виміряних УОИ за час вимірювання.

Через 0,5 хв. після заповнення мірника визначають обсяг води в ньому за шкалою на горловині і знімають показання з датчиків температур (термометрів) встановлених в мірнику.

Відкривають кран К4 і спорожняють мірник, витримавши 1 хв. закривають кран К4.

Розраховують уточнене значення частоти вихідного сигналу СЖ f , 1/с, відповідної витраті $Q1$, $\text{м}^3/\text{год}$, за формулою:

$$f = \frac{Q_1 \cdot K^{Opr}}{3600}, \quad (3.27)$$

де K^{Opr} – коефіцієнт перетворення СЖ при випробуванні, імп / м³.

При необхідності виконують корекцію витрати рідини за допомогою K1 і K2.

Відкривають кран K5. Виконують запуск кульового поршня ТПУ. При проходженні поршнем першого детектора Д1 в УОИ починається, а при проходженні детектора Д3 закінчується рахунок імпульсів, що надходять з СЖ.

У процесі руху поршня при необхідності виконують корекцію витрати рідини до значення Q1 при допомозі K1 і K2.

У процесі проходження поршнем вимірювальної ділянки ТПУ фіксують значення температури і тиску повітряної рідини біля СЖ, на вході і виході ТПУ.

За значення температури і тиску рідини в СЖ приймають середнє арифметичне значень на початку і в кінці проходження поршнем вимірювальної ділянки.

За значення температури і тиску рідини в ТПУ приймають середнє арифметичне значень на вході і на виході ТПУ на початку і в кінці проходження поршнем вимірювального ділянки.

Визначення МХ СЖ виконують двома серіями по п'ять вимірювань у кожній. Першу серію виконують перед визначенням МХ ТПУ, другу – після.

При відкритих кранах K1, K2, K5 і закритих кранах K3, K4 встановлюють витрату рідини через технологічну схему Q1, орієнтуючись на значення вихідної частоти СЖ.

Обчислюють коефіцієнт перетворення СЖ за результатами першої серії вимірювань, імп / м³, визначають за формулою:

$$K_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} K_i}{n_1}, \quad (3.28)$$

де n_1 - кількість вимірювань в першій серії при визначенні МХ СЖ;
 K_i - коефіцієнт перетворення СЖ при i -му вимірі, імп / м³, значення якого визначають за формулою:

$$K_i = \frac{N_i \cdot Cplm_i}{V_i \cdot Ctstp_i \cdot Ctdw_i}, \quad (3.29)$$

де N_i - кількість імпульсів від СЖ, накопичене УОИ за час i -го вимірювання;
 V_i - об'єм рідини в мірнику при i -му вимірі, м³; $Cplm_i$ - коефіцієнт, що враховує вплив тиску на об'єм рідини в СЖ при i -му вимірі, значення якого визначають за формулою:

$$Cplm_i = \frac{1}{1 - P_{C\chi i} \cdot F}, \quad (3.30)$$

де $P_{C\chi i}$ - значення тиску рідини в СЖ при i -му вимірі, МПа; F - коефіцієнт стисливості рідини, для води приймають рівним $4,91 \cdot 10^{-4}$ МПа⁻¹;

$Ctstp_i$ - коефіцієнт, що враховує вплив температури на місткість мірника при i -му вимірі, значення якого визначають за формулою:

$$Ctstp_i = 1 + 3 \cdot \alpha_m \cdot (t_{mi} - 20), \quad (3.31)$$

де α_m - коефіцієнт лінійного розширення матеріалу стінок мірників, 1/°C;
 t_{mi} - значення температури рідини в мірнику при i -му вимірі, °C;

$Ctdw_i$ - комбінований коефіцієнт, що враховує вплив різниці температур в СЖ і мірнику на обсяг рідини при i -му вимірі, значення якого визначають за формулою:

$$Ctdw_i = \frac{\rho_{Mi}}{\rho_{C\chi i}}, \quad (3.32)$$

де ρ_{Mi} , $\rho_{C\chi i}$ - значення щільності води, при температурі води в мірнику і СЖ відповідно:

$$\rho = 999,8395639 + 0,06798299989 \cdot t - 0,009106025564 \cdot t^2 + 0,0001005272999 \cdot t^3 - 0,000001126713526 \cdot t^4 + 0,000000006591795606 \cdot t^5$$

$$p = 999,8395639 + 0,06798299989 t - 0,009106025564 t^2 + 0,0001005272999 t^3 - 0,000001126713526 t^4 + 0,000000006591795606 t^5 \quad (3.33)$$

Вираховують СКО випадкової складової похибки СЖ для першої серії вимірювань, %, за формулою:

$$S_0^{CЧ} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_i} (K_i - K_1)^2}{n_1 - 1}} \cdot \frac{100}{K_1}, \quad (3.34)$$

Перевіряють виконання умови:

$$S_0^{CЧ} \leq 0.01\%, \quad (3.35)$$

Вираховують коефіцієнт перетворення СЖ за результатами сумарного по двом серіям кількості вимірювань, імп / м³, за формулою:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{n}, \quad (3.36)$$

де n – сумарна кількість вимірювань при визначенні МХ СЖ.

Вираховують СКО випадкової складової похибки СЖ для сумарної кількості вимірювань, %, за формулою:

$$S_0^{CЧ} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_i} (K_i - K_1)^2}{n - 1}} \cdot \frac{100}{K}. \quad (3.37)$$

Перевіряють виконання умови:

$$S_0^{CЧ} \leq 0.01\%, \quad (3.38)$$

Місткість вимірювальної ділянки ТПУ при стандартних умовах (температурі 20 °С і надмірному тиску, що дорівнює нулю), V_0 , м³, визначають за формулою:

$$V_0 = \frac{\sum_{j=1}^m V_{0j}}{m}, \quad (3.39)$$

де m – кількість вимірювань при визначенні МХ ТПУ; V_{0j} – місткість вимірювальної ділянки ТПУ при стандартних умовах при j -му вимірі, м³, значення якої визначають за формулою:

$$V_{0j} = \frac{N_j \cdot Ctdw_j \cdot Cplm_j}{K \cdot Ctsp_j \cdot Cpsp_j \cdot Cplp_j}, \quad (3.40)$$

де $Ctdw_j$ – комбінований коефіцієнт, що враховує вплив різниці температур в ТПУ і СЖ на обсяг рідини при j -му вимірі, значення якого визначають за формулою:

$$Ctdw_j = \frac{P_{C\psi_j}}{P_{ТПУj}}, \quad (3.41)$$

де $P_{C\psi_j}$, $P_{ТПУj}$ – значення щільності води, при температурі води в СЖ і ТПУ відповідно;

$Cplm_j$ – коефіцієнт, що враховує вплив тиску на об'єм рідини в СЖ при j -му вимірі, значення якого визначають за формулою:

$$Cplm_j = \frac{1}{1 - P_{C\psi_j} \cdot F}, \quad (3.42)$$

де $P_{C\psi_j}$ – значення тиску рідини в СЖ при j -му вимірі, МПа;

$Ctstp_j$ – коефіцієнт, що враховує вплив температури на місткість вимірювальної ділянки ТПУ при j -му вимірі, значення якого визначають за формулою:

$$Ctstp_j = 1 + 3 \cdot \alpha_T \cdot (t_{ТПУj} - 20), \quad (3.43)$$

де α_T – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу стінок ТПУ, 1/°C;
 $t_{ТПУj}$ – середнє арифметичне значення температури рідини на вході і виході ТПУ при j -му вимірі, °C;

$$C_{psp_j} = 1 + \frac{P_{ТПУj} \cdot D}{E \cdot S}, \quad (3.44)$$

де $P_{ТПУj}$ – середнє арифметичне значення тиску рідини на вході і виході ТПУ при j -му вимірі, МПа; D, S – внутрішній діаметр і товщина стінок вимірювальної ділянки ТПУ відповідно, мм; E – модуль пружності матеріалу стінок ТПУ, МПа;

C_{plp_j} – коефіцієнт, що враховує вплив тиску на об'єм рідини в ТПУ при j -му вимірі, значення якого визначають за формулою:

$$C_{psp_j} = \frac{1}{1 - P_{ТПУj} \cdot F}. \quad (3.45)$$

СКО випадкової складової похибки ТПУ $S_0^{ТПУ}, \%$, визначають за формулою:

$$S_0^{ТПУ} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (V_{0j} - V_0)^2}{m - 1}} \cdot \frac{100}{V_0}, \quad (3.46)$$

Перевіряють виконання умови:

$$S_0^{ТПУ} \leq 0.01\%. \quad (3.47)$$

Межі сумарною систематичної складової похибки ТПУ (невиключену систематичної похибки) $\theta_{\Sigma 0}, \%$, за формулою:

$$\theta_{\Sigma 0} = k \cdot \sqrt{\theta_M^2 + \theta_{t1}^2 + \theta_{t2}^2 + \theta_K^2 + \theta_{IBK}^2}, \quad (3.48)$$

де k – коефіцієнт залежності не виключених систематичних складових похибки від обраної довірчої ймовірності при їх рівномірному розподілі; приймають рівним 1.4 при числі сумових не виключених систематичних похибок більшому чотирьох; θ_M – межа допустимої основної відносної похибки мірника, %; θ_{t1}, θ_{t2} – межі складових невиключену систематичних похибок, обумовлених похибкою вимірювань температури, %, обчислюють за формулами:

$$\theta_{t1} = \beta \cdot 100 \cdot \sqrt{\Delta t_M^2 + \Delta t_{CЧ}^2}, \quad (3.49)$$

$$\theta_{t2} = \beta \cdot 100 \cdot \sqrt{\Delta t_{CЧ}^2 + \Delta t_{ТПУ}^2}, \quad (3.50)$$

де Δt_M , $\Delta t_{CЧ}$, $\Delta t_{ТПУ}$ – межі допустимих абсолютних похибок перетворювачів температури (термометрів) при вимірюванні температури в мірнику, СЖ і ТПУ відповідно, °С; β – коефіцієнт об'ємного розширення рідини, для води приймають рівним $2,6 \times 10^{-4} \text{ 1/}^\circ\text{C}$; θ_K – межа складової невиключену систематичної похибки визначення середнього значення коефіцієнта перетворення СЖ, %, значення якої визначають за формулою:

$$\theta_K = t_{0.99}^n \cdot \frac{S_0^{CЧ}}{\sqrt{n}}, \quad (3.51)$$

де $t_{0.99}^n$ – квантиль розподілу Стюдента при довірчій ймовірності 0,99 і числі вимірювань n ; θ_{IBK} – межі допустимої відносної похибки вимірювань кількості імпульсів УОИ, %.

Межі випадкової складової похибки визначення середнього значення місткості ТПУ, θ_{V0} , %, визначають за формулою:

$$\theta_{V0} = t_{0.99}^m \cdot \frac{S_0^{ТПУ}}{\sqrt{m}}, \quad (3.52)$$

де $t_{0.99}^m$ – квантиль розподілу Стюдента при довірчій ймовірності 0,99 і числі вимірювань m .

Відносну похибку ТПУ, %, визначають за формулою:

$$\delta_0 = \begin{cases} Z \cdot (\theta_{\Sigma 0} + \theta_{V0}) & \text{при } 0.8 \leq \theta_{\Sigma 0} / S_0^{ТПУ} \leq 8 \\ \theta_{\Sigma 0} & \text{при } \theta_{\Sigma 0} / S_0^{ТПУ} > 8 \end{cases}, \quad (3.53)$$

де Z - коефіцієнт, що залежить від співвідношення.

Перевіряють виконання умови:

$$\delta_0 \leq 0.03\%. \quad (3.54)$$

При перевірці відсутності протікання встановлюють вибране значення витрати. Виконують перші три з шести вимірювань ($n_{\text{прот}} = 6$) для визначення коефіцієнта перетворення СЖ.

Виконують чотири виміри для визначення місткості вимірювальної ділянки ТПУ при стандартних умовах.

Якщо при обраному значенні витрати Q2 поршень не входить в вимірювальний ділянку ТПУ, то допускається збільшити витрату з доведенням його до Q2 до підходу поршня до першого детектору. Визначають відносне відхилення місткості ТПУ при різних значеннях витрати, %, т за формулою:

$$\delta_V = \frac{V_0^{\text{Прот}} - V_0}{V_0} \cdot 100. \quad (3.55)$$

Перевіряють виконання умови:

$$|\delta_0| \leq 0.35\% \cdot 0.03\%. \quad (3.56)$$

Якщо $\delta_0 > 0.35\% \cdot 0.03\%$, то це свідчить про наявність протікання робочої рідини в технологічній схемі механізації тваринницьких необхідності їх усунення.

Якщо $\delta_0 < -0.35\% \cdot 0.03\%$, то це свідчить про допущені помилки при виконанні вимірювань і необхідності повторення вимірювань після усунення причин, що викликали помилки.

Сумарна стандартна невизначеність:

$$u_c = \sqrt{S_{Kcч}^2 + S_{V0}^2 + \frac{\theta_M^2 + \theta_{t1}^2 + \theta_{t2}^2 + \theta_{IBK n}^2 + \theta_{IBK Kcч}^2}{3}}. \quad (3.57)$$

Розширена невизначеність для рівня довіри 0,95 для нормального закону розподілу результатів вимірювань (коефіцієнт охоплення дорівнює 2):

$$U(0.95) = 2u_c. \quad (3.58)$$

Розширена невизначеність для рівня довіри 0,99 для нормального закону розподілу результатів вимірювань (коефіцієнт охоплення дорівнює 3):

$$U(0.99) = 3u_c . \quad (3.59)$$

3.4 Методика повірки компакт-прувера

Методика повірки виконана на базі методики «Установки повірочні трубопоршневі. Методика повірки перевірочними установками на базі мірника і об'ємного лічильника » і визначає вимоги

Методика виконана на базі «Установки повірочні FMD. Методика повірки» і визначає вимоги до процедури калібрування установок повірочних високого класу точності типу КП.

Операції повірки:

- визначення МХ;
- перевірка відсутності підтікання.

У методиці розглянуті два методи перевірки: перший метод із застосуванням спеціального еталонного мірника 1-го розряду, другий метод із застосуванням еталонних ваг високого класу точності. Основні засоби калібрування і їх метрологічні характеристики наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Основні засоби повірки

Засоби повірки і допоміжне обладнання	Метрологічні характеристики
Перший метод	
Еталонний мірник 1-го розряду	Місткістю від 20 дм ³ , відповідний місткості вимірювальної ділянки ПУ, що повіряється. Межі відносної похибки $\pm 0,01\%$
Перетворювачі надлишкового тиску з уніфікованим вихідним сигналом	Діапазон вимірювань від 0 до 0,6 МПа, межі допустимої зведеної похибки $\pm 0,1\%$

Термоперетворювачі опору з уніфікованим вихідним сигналом	Діапазон вимірювань від 0 °С до 50 °С, межі абсолютної похибки $\pm 0,1$ °С
Другий метод	
Ваги електронні	Відносна похибка ваг $\pm 0,005\%$
Гирі	Клас точності гирь F2 по ГОСТ 7328-2001 «Гирі. Загальні технічні умови »
Перетворювачі надлишкового тиску з уніфікованим вихідним сигналом	Діапазон вимірювань від 0 до 0,6 МПа, межі допустимої зведеної похибки $\pm 0,1\%$
Термоперетворювачі опору з уніфікованим вихідним сигналом	Діапазон вимірювань від 0 °С до 50 °С, межі абсолютної похибки $\pm 0,1$ °С

Під час проведення перевірки дотримуються умови, наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Умови повірки

Температура оточуючого повітря:	
- при перевірці першим методом, °С	20 ± 5
- при перевірці другим методом, °С	20 ± 5
Відносна вологість навколишнього повітря, %	від 30 до 80
Повірочна рідина *:	вода питна
- при перевірці першим методом, °С	вода дистильована
- при перевірці другим методом, °С	неіонізована
Зміна температури повірочної рідини за час одного виміру, °С	0,1

Зміст вільного газу в перевірочній рідині	не допускається
Наявність зовнішніх вібрацій і тряски	не допускається

Значення піврічного витрати Q_1 , при якому визначають метрологічні характеристики ПУ, і значення витрати Q_2 , при якому виконують контроль відсутності протікання, встановлюють, виходячи з таких умов:

- значення витрати Q_1 має не менше, ніж в 1,5 – 2 рази перевищувати значення Q_2 ;
- значення витрати вибирають в межах діапазону, в якому нормуються метрологічні характеристики ПУ.

Визначають наступні метрологічні характеристики:

- місткість ПУ при стандартних умовах ($t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $P_{\text{ізб.}} = 0\text{ МПа}$);
- довірчу відносну похибку при відтворенні обсягу при довірчій ймовірності 0,99.

Перший метод

Визначення місткості ПУ при стандартних умовах засноване на вимірах обсягу повірочної рідини, витісненої поршнем ПУ, за допомогою еталонного мірника і приведення виміряного обсягу до стандартних умов. За допомогою регулятора витрати встановлюють необхідну витрату повірочної рідини. Контроль значення витрати повірочної рідини здійснюють за допомогою витратоміра, допускається відхилення від встановленого значення витрати повірочної рідини не більше ніж на $\pm 2,5\%$. Заповнюють еталонний мірник повірочною рідиною, витісненою поршнем ПУ. Витримують до заспокоєння повірочної рідини і визначають обсяг повірочної рідини в еталонному мірнику. Показання знімають по нижньому краю меніска повірочної рідини. Якщо рівень повірочної рідини в еталонному мірнику виявиться нижче або вище позначки номінальної місткості, то його встановлюють, доливаючи або зливаючи

перевірочну рідину, вимірюючи її обсяг мірними циліндрами. обсяг повірочної рідини в еталонному мірнику визначають відніманням або складанням з об'ємом долитій або зливої повірочної рідини. Якщо на горловині еталонного мірника є ділення, нульова оцінка не має особливого значення. Залити перевірку рідину можна до будь-якого рівня, за-писати рівень рідини, а потім обсяг повірочної рідини в еталонному мірнику обчислюють математично по негативним або позитивним показаннями шкали. Мінус означає, що рівень повірочної рідини знаходиться нижче нульової позначки, плюс означає, що рівень рідини вище нульової позначки на шкалі.

Другий метод

Визначення місткості ПУ при стандартних умовах засноване на вимірах маси повірочної рідини, витісненої поршнем ПУ в накопичувальну ємність, за допомогою еталонних ваг і обчислення обсягу повірочної рідини при стандартних умовах по відомої залежності між масою і щільністю повірочної рідини. За допомогою регулятора витрати встановлюють необхідну витрату повірочної рідини. контроль значення витрати повірочної рідини здійснюють за допомогою витратоміра, допускається відхилення від встановленого значення витрати повірочної рідини не більше ніж на $\pm 2,5\%$. Зливають перевірку рідину, витиснену поршнем ПУ, в накопичувальну ємність і зважують. Проводять не менше п'яти вимірювань. За один вимір приймають один прохід поршня ПУ.

Обробка результатів вимірювань

Перший метод

Місткість ПУ при стандартних умовах V_0 , м³, обчислюють за формулою:

$$V_0 = \frac{\sum_{i=1}^n V_{0i}}{n}, \quad (3.60)$$

де V_{0i} – значення місткості ПУ при стандартних умовах при i -му вимірі, м³;
 n – кількість вимірювань.

Місткість ПУ при стандартних умовах при і-му вимірі V_{0i} , м³, обчислюють за формулами:

$$V_{0i} = V_{Mi} \cdot CTDW_{Mi} \cdot \frac{CTS_{Mi}}{CTS_{ПУi}} \cdot \frac{1}{CPS_{ПУi} \cdot CPL_{ПУi}}, \quad (3.61)$$

$$V_{Mi} = V_{Мном}, \quad (3.62)$$

$$V_{Mi} = V_{Мном} + \Delta V_i, \quad (3.63)$$

$$CTDW_{Mi} = \frac{RHO_{Mi}}{RHO_{ПУi}}, \quad (3.64)$$

$$RHO_{Mi(ПУi)} = 999.97358 \cdot [1 - (a \cdot \Delta t_{Mi(ПУi)} + b \cdot \Delta t_{Mi(ПУi)}^2 + c \cdot \Delta t_{Mi(ПУi)}^3 + d \cdot \Delta t_{Mi(ПУi)}^4 + e \cdot \Delta t_{Mi(ПУi)}^5)], \quad (3.65)$$

$$\Delta t_{Mi(ПУi)} = t_{Mi(ПУi)} - 3.9818,$$

$$a = 7.0134 \cdot 10^{-8}, \quad b = 7.92504 \cdot 10^{-6}, \quad c = -7.575677 \cdot 10^{-8},$$

$$d = 7.314894 \cdot 10^{-10}, \quad e = -3.596458 \cdot 10^{-12}$$

$$CTS_{Mi} = 1 + 3\alpha_{tM} \cdot (t_{Mi} - 20), \quad (3.66)$$

$$CTS_{ПУi} = (1 + \alpha_{k1} \cdot (t_{ПУi} - 20)) \cdot (1 + \alpha_d \cdot (t_{di} - 20)), \quad (3.67)$$

$$CPS_{ПУi} = 1 + \frac{P_{ПУi} \cdot D}{E \cdot S}, \quad (3.68)$$

$$CPL_{ПУi} = \frac{1}{1 - F \cdot P_{ПУi}}, \quad (3.69)$$

де V_{Mi} – обсяг повірочної рідини в еталонному мірнику при і-му вимірі, м³;

$CTDW_{Mi}$ – комбінований коефіцієнт, що враховує вплив різниці температури повірочної рідини в ПУ і в еталонному мірнику на обсяг повірочної рідини, визначений для температури повірочної рідини в ПУ і в еталонному мірнику за час і-го виміру;

CTS_{Mi} – коефіцієнт, що враховує вплив температури стінок еталонного мірнику на місткість еталонного мірнику при і-му вимірі;

$CTS_{ПУi}$ – коефіцієнт, що враховує вплив температури стінок ПУ на місткість ПУ при i -му вимірі;

$CPS_{ПУi}$ – коефіцієнт, що враховує вплив тиску повірочної рідини на місткість ПУ при i -му вимірі;

$CPL_{ПУi}$ – коефіцієнт, що враховує вплив тиску на обсяг повірочної рідини, визначений для тиску повірочної рідини в ПУ за час i -го вимірювання;

$V_{Мном}$ – номінальна місткість еталонного мірника, $м^3$;

ΔV_i – обсяг зливої в мірний циліндр (долитий з мірного циліндра, з протилежним знаком) повірочної рідини при i -му вимірі, $м^3$;

RHO_{Mi} – щільність повірочної рідини в еталонному мірнику при i -му вимірі, $кг / м^3$;

$RHO_{ПУi}$ – щільність повірочної рідини в ПУ при i -му вимірі при температурі $t_{ПУ i}$, $кг / м^3$;

RPU_i – значення тиску повірочної рідини в ПУ за час i -го вимірювання, МПа;

D – внутрішній діаметр вимірювальної ділянки ПУ (беруть з експлуатаційної документації ПУ), мм;

E – модуль пружності матеріалу стінок ПУ (беруть з експлуатаційної документації ПУ), МПа;

S – товщина стінок ПУ (беруть з експлуатаційної документації ПУ), мм;

α_{tM} – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу стінок еталонного мірника (беруть з експлуатаційної документації еталонного мірника), $1 / ^\circ C$;

α_d – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу планки кріплення детекторів ПУ (Беруть з експлуатаційної документації ПУ), $1 / ^\circ C$;

α_{k1} – квадратичний коефіцієнт розширення стали вимірювальної ділянки ПУ, (беруть з експлуатаційної документації ПУ), $1 / ^\circ C$;

$t_{ПУi}$ – значення температури повірочної рідини в ПУ за час i -го вимірювання, $^\circ C$;

t_{Mi} – значення температури повірочної рідини в еталонному мірнику при і-му вимірі, °С;

t_{di} – температура планки кріплення детекторів при і-му вимірі (при відсутності датчика температури беруть значення, рівне температурі навколишнього середовища), °С;

F - коефіцієнт стисливості води, рівний $4,64 \times 10^{-4}$ 1 / МПа.

Другий метод

Масу повірочної рідини, витісненої з вимірювальної ділянки ПУ при і-му вимірі, M_{Bi} , кг, обчислюють за формулою:

$$M_{Bi} = m_{Bi} \cdot \frac{\left(1 - \frac{p_{\text{воз.}i}}{p_{\Gamma}}\right)}{\left(1 - \frac{p_{\text{воз.}i}}{p_{\text{ПУ}i}}\right)}, \quad (3.70)$$

$$p_{\text{воз.}i} = 1.223068 \cdot \left(1 - \frac{0.1049869 \cdot h}{1000}\right) \cdot \left(\frac{519.67}{1.8 \cdot t_{\text{воз.}i} + 491.67}\right), \quad (3.71)$$

$$p_{\text{ПУ}i} = RHO_{\text{ПУ}i}. \quad (3.72)$$

де m_{Bi} – показання ваг при і- му вимірі, кг;

$p_{\text{воз.}i}$ – щільність повітря для і-го вимірювання, кг / м³;

p_{Γ} – щільність гирь, кг / м³;

$p_{\text{ПУ}i}$ – щільність повірочної рідини в ПУ при і-му вимірі або виміряна в випробувальній лабораторії з допустимою абсолютною похибкою не більше $\pm 0,1$ кг / м³, якщо в якості перевірочної рідини використовують питну воду, кг / м³;

h – висота над рівнем моря, м;

$t_{\text{воз.}i}$, - температура повітря при і-му вимірі, °С.

Обсяг повірочної рідини в ПУ, V_{Bi} , м³, при температурі повірочної рідини в ПУ при і-му вимірі маси повірочної рідини в накопичувальній ємності, яка дорівнює масі повірочної рідини в ПУ, обчислюють за формулою:

$$V_{Bi} = \frac{M_{Bi}}{P_{ПУi}}, \quad (3.73)$$

де M_{Bi} - маса повірочної рідини в накопичувальній ємності при і-му вимірі, кг;

Місткість ПУ при стандартних умовах, при і-му вимірі V_{0i} , м³, обчислюють за формулами:

$$V_{0i} = \frac{V_{Bi}}{CCF_{ПУi}}, \quad (3.74)$$

$$CCF_{ПУi} = CTS_{ПУi} \cdot CPS_{ПУi} \cdot CPL_{ПУi}, \quad (3.75)$$

$$CTS_{ПУi} = (1 + \alpha_{k1} \cdot (t_{ПУi} - 20)) \cdot (1 + \alpha_d \cdot (t_{di} - 20)), \quad (3.76)$$

$$CPS_{ПУi} = 1 + \frac{P_{ПУi} \cdot D}{E \cdot S}, \quad (3.77)$$

$$CPL_{ПУi} = \frac{P1}{1 - F \cdot P_{ПУi}}, \quad (3.78)$$

де $CCF_{ПУi}$ – комбінований коефіцієнт, що враховує вплив температури і тиску повірочної рідини в ПУ на місткість вимірювальної ділянки ПУ при і му вимірі;

$CTS_{ПУi}$ – коефіцієнт, що враховує вплив температури стінок ПУ на місткість ПУ при і-му вимірі;

$CPS_{ПУi}$ – коефіцієнт, що враховує вплив тиску повірочної рідини на місткість ПУ при і-му вимірі;

$CPL_{ПУi}$ – коефіцієнт, що враховує вплив тиску на обсяг повірочної рідини, визначений для тиску повірочної рідини в ПУ за час і-го вимірювання при тиску РПУ_i;

$t_{ПУi}$ – значення температури повірочної рідини в ПУ за час і-го вимірювання, °С .;

РПУ_i – значення тиску повірочної рідини в ПУ за час і-го вимірювання, МПа;

Місткість ПУ при стандартних умовах V_0 , м³, обчислюють за формулою:

$$V_0 = \frac{\sum_{i=1}^n V_{0i}}{n}, \quad (3.79)$$

де n - кількість вимірювань.

Оцінка середнього квадратичного відхилення (СКО) результатів визначення місткості.

СКО результатів визначення місткості ПУ при стандартних умовах, $SV_0, \%$, обчислюють за формулою:

$$S_{V_0} = \frac{1}{V_0} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_{0i} - V_0)^2}{n-1}} \cdot 100, \quad (3.80)$$

Перевіряють виконання наступної умови:

$$S_{V_0} \leq 0.01\%, \quad (3.81)$$

Якщо ця умова не виконана, аналізують причини і виявляють промахи. Допускається не більше одного промаху з п'яти вимірювань.

Після виключення промахів при необхідності кількість вимірювань доводять до значення, не менше п'яти.

Визначення довірчої відносної похибки визначення місткості при довірчій ймовірності 0,99.

Довірчу відносну похибку визначення місткості, $\delta_0, \%$, при довірчій ймовірності 0,99, обчислюють за формулами:

$$\delta_0 = t_{\Sigma} \cdot S_{\Sigma}, \quad (3.82)$$

$$t_{\Sigma} = \frac{\Theta + \Theta_{V_0}}{S_{\Theta} + S}, \quad (3.83)$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S^2 + S_{\Theta}^2}, \quad (3.84)$$

$$\Theta = \begin{cases} \pm 1.4 \cdot \sqrt{\Theta_M^2 + \Theta_{CTDW_M}^2 + \Theta_{CTS_M}^2 + \Theta_{CTS_{ПВ}}^2 + \Theta_{CPL_{ПВ}}^2} \\ \pm 1.4 \cdot \sqrt{\Theta_B^2 + \Theta_{P_{ПВ}}^2 + \Theta_{CTS_{ПВ}}^2 + \Theta_{CPS_{ПВ}}^2 + \Theta_{CPL_{ПВ}}^2} \end{cases}, \quad (3.85)$$

$$\Theta_{V0} = t_{0.99} \cdot S, \quad (3.86)$$

$$S_{\Theta} = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{3} \cdot (\Theta_M^2 + \Theta_{CTDW_M}^2 + \Theta_{CTS_M}^2 + \Theta_{CTS_{ПВ}}^2 + \Theta_{CPS_{ПВ}}^2 + \Theta_{CPL_{ПВ}}^2)} \\ \sqrt{\frac{1}{3} \cdot (\Theta_B^2 + \Theta_{P_{ПВ}}^2 + \Theta_{CTS_{ПВ}}^2 + \Theta_{CPS_{ПВ}}^2 + \Theta_{CPL_{ПВ}}^2)} \end{cases}, \quad (3.87)$$

$$S = \frac{S_{V0}}{\sqrt{n}}, \quad (3.88)$$

Де t_{Σ} – коефіцієнт для визначення довірчої кордону похибки ПУ;

S_{Σ} – СКО суми невиключену систематичної і випадкової похибок, %;

Θ – межа невиключену систематичної похибки ПУ, %;

Θ_{V0} – межа випадкової складової похибки визначення середнього значення місткості ПУ, %;

S_{Θ} – СКО суми невиключену систематичних похибок, %;

S – СКО середнього значення результатів визначення місткості ПУ, %;

Θ_M – межа складової невиключену систематичної похибки визначення місткості ПУ, обумовлена похибкою еталонного мірника ($\Theta_M = 0,01\%$), %;

Θ_{CTDW_M} – межа складової невиключену систематичної похибки визначення місткості ПУ, обумовлена похибкою визначення комбінованого коефіцієнта $CTDW_M$, що враховує вплив різниці температури повітряної рідини в ПУ і в еталонному мірнику ($\Theta_{CTDW_M} = 0,008\%$), %;

Θ_{CTS_M} – межа складової невиключену систематичної похибки визначення місткості ПУ, обумовлена похибкою визначення коефіцієнта CTS_M , враховує

вплив температури стінок еталонного мірника на місткість еталонного мірника ($\Theta_{CTS_M} = 0,001\%$), %;

$\Theta_{CTS_{ПУ}}$ – межа складової невиключену систематичної похибки визначення місткості ПУ, обумовлена похибкою визначення коефіцієнта $CTS_{ПУ}$, враховує вплив температури стінок ПУ на місткість ПУ ($\Theta_{CTS_{ПУ}} = 0,001\%$), %;

$\Theta_{CPS_{ПУ}}$ – межа складової невиключену систематичної похибки визначення місткості ПУ, обумовлена похибкою визначення коефіцієнта $CPS_{ПУ}$, враховує вплив тиску повірочної рідини на місткість ПУ ($\Theta_{CPS_{ПУ}} = 0,001\%$), %;

$\Theta_{CPL_{ПУ}}$ – межа складової невиключену систематичної похибки визначення місткості ПУ, обумовлена похибкою визначення коефіцієнта $CPL_{ПУ}$, враховує вплив тиску на обсяг повірочної рідини в ПУ ($\Theta_{CPL_{ПУ}} = 0,0001\%$), %;

Θ_B – межа складової невиключену систематичної похибки визначення місткості ПУ, обумовлена похибкою еталонних ваг ($\Theta_B = 0,005\%$), %;

$\Theta_{p_{ПУ}}$ – межа складової невиключену систематичної похибки визначення місткості ПУ, обумовлена похибкою визначення щільності води в ПУ ($\Theta_{p_{ПУ}} = 0,006\%$ – при обчисленні щільності води або $\Theta_{p_{ПУ}} = 0,01\%$ – при вимірюванні щільності води в випробувальній лабораторії), %;

$t_{0,99}$ – коефіцієнт Стюдента для ймовірності $P = 0,99$.

Визначення довірчої відносної похибки ПУ при відтворенні обсягу при довірчій ймовірності 0,99.

$$\delta_{ПУ} = \delta_0, \quad (3.89)$$

Перевіряють виконання умови:

$$\delta_0 \leq 0.03\%, \quad (3.90)$$

Перевірка відсутності протікання. Регулятором витрати встановлюють значення витрати Q_2 , вбрання для калібрування відсутності протікання.

Виконують три виміри в залежності від використовуваного методу калібрування. Визначають місткість вимірювальної ділянки ПУ при стандартних умовах $V_0^{Прот}$ м³, в залежності від використовуваного методу калібрування.

Визначають відносне відхилення місткості вимірювальної ділянки ПУ $V_0^{Прот}$ від значення, отриманого при визначенні метрологічних характеристик ПУ, δ_V , %, за формулою:

$$\delta_V = \frac{V_0^{Прот} - V_0}{V_0} \cdot 100, \quad (3.91)$$

Перевіряють виконання умови:

$$|\delta_0| \leq 0.35\% \cdot 0.03\%, \quad (3.92)$$

При невиконанні умови (3.92) проводять аналіз результатів вимірювань.

Якщо $\delta_0 > +0.35\% \cdot 0.03\%$, то це свідчить про наявність протікання повітряної рідини в технологічній схемі механізації тваринницьких необхідності їх усунення.

Якщо $\delta_0 < -0.35\% \cdot 0.03\%$, то це свідчить про допущені помилки при виконанні вимірювань і необхідності повторення вимірювань після усунення причин, викликали помилки.

Сумарна стандартна невизначеність:

$$u_c = \sqrt{S_{V0}^2 + \frac{\theta_M^2 + \theta_t^2}{3}}, \quad (3.93)$$

Розширена невизначеність для рівня довіри 0,95 для нормального закону розподілу результатів вимірювань (коефіцієнт охоплення дорівнює 2):

$$U(0.95) = 2 \cdot u_c, \quad (3.94)$$

Розширена невизначеність для рівня довіри 0,99 для нормального закону розподілу результатів вимірювань (коефіцієнт охоплення дорівнює 3)

$$U(0.9) = 3 \cdot u_c, \quad (3.95)$$

Висновки за розділом 3

1. Результати досліджень, відображені в методиках, розроблених із застосуванням правил показують:

- повірка повірочних установок з високого класу точності з похибкою не більше $\pm 0,03\%$, можлива тільки за умови застосування ваг ВСПМ з похибкою вимірювань маси не більше $\pm 0,005\%$ і вимірювань температури робочої рідини з похибкою не більше $\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$;

- результати вимірювань довели можливість отримання метрологічних характеристик еталонного мірника з похибкою $\pm 0,007\%$ і еталонних повірочних установок з похибкою $\pm 0,025 \dots 0,03\%$ за розробленими методиками;

- результати вимірювань довели можливість розробки вихідного еталона для вимірювань об'єму вуглеводневих рідин з похибкою $\pm 0,03\%$;

- результати вимірювань довели можливість розробки мобільного еталонної повірочної установки з точністю $\pm 0,025 \dots 0,03\%$ для виконання повірки стаціонарних повірочних установок на місці експлуатації з похибкою $\pm 0,05\%$;

РОЗДІЛ 4. МЕТОДИКА ПЕРЕДАЧІ ОДИНИЦЬ ВЕЛИЧИН ВІД ПЕРВИННОГО ЕТАЛОНУ РОБОЧИМ ЗАСОБАМ ВИМІРЮВАНЬ

4.1 Визначення метрологічних характеристик спеціальних ваг

Одиниця маси передається спеціальним ваг ВСПМ від робочого еталона одиниці маси 3-го розряду по ГОСТ 8.021-2005 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений массы» або робочого еталона сили по ГОСТ Р 8.663-2009 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений силы» з межею допустимої відносної похибки $\pm 0,002\%$. При використанні робочого еталона сили до ваги прикладається еквівалентну масі вплив сили з урахуванням прискорення вільного падіння на місці калібрування.

В результаті проведених досліджень при навантаженнях 320 і 1320 кг була отримана розширена невизначеність ваг ВСПМ 0,046 кг, що в відносних одиницях становить $\pm 0,003\%$. При навантаженнях 500 і 1000 кг, була отримана розширена невизначеність ваг 0,05 кг, що в відносних одиницях склало $\pm 0,004\%$.

В результаті проведеної оцінки, отримані межі похибок ваг при навантаженнях 320, 500, 1000 і 1320 кг не перевищили значення $\pm 0,005\%$.

4.2 Визначення метрологічних характеристик еталонного мірника

Розрахунок довірчої кордону сумарної похибки і сумарної стандартної і розширеної невизначеностей для мірників 1000 дм³:

Розширена невизначеність місткості мірника тисячі дм³ (при $k = 2$):

$$U(V_{20}) = 2 \cdot 0.037 = 0.074, \text{ дм}^3 \quad (4.1)$$

$$W(V_{20}) = 0.0074\% \quad (4.2)$$

Отримані значення $W(V_g) = 0.0002\%$ розширеної невизначеності місткості горловини мірника 1000 дм³ і $W(V_g) = 0.00015\%$ для мірника 20 дм³, в подальших розрахунках не враховуємо через малу величину, яка не впливає на отриманий результат.

Отримані межі похибок мірників не перевищили $\pm 0,0074\%$.

4.3 Визначення метрологічних характеристик повірочних установок

Розрахунок довірчої кордону сумарної похибки і

4.3.1 Трубопоршнева повірочна установка

Довірчі кордону сумарної похибки $\Delta(0,95) = 0,018\%$, $\Delta(0,99) = 0,024\%$.

Бюджет невизначеності одиниці об'єму ТПУ представлений в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Бюджет невизначеності одиниці об'єму ТПУ

Джерела стандартної невизначеності	Значення, %
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом А, що виникає при визначенні середнього значення місткості ТПУ (СКО випадкової похибки визначення середнього значення місткості ТПУ S_{V0} при числі вимірювань 11)	0,003
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом А, що виникає при визначенні середнього значення коефіцієнта перетворення лічильника-компаратора (СКО випадкової похибки визначення середнього значення коефіцієнта перетворення лічильника - компаратора $S_{Kсч}$ при числі вимірювань 10)	0,003
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом В, що виникає через неточного визначення місткості мірника	$0,01/\sqrt{3}$
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом В, що виникає через неточного визначення темпера тури	$0,0037/\sqrt{3}$
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом В, що виникає через неточного визначення кількості імпульсів від лічильника-компаратора	$0,005/\sqrt{3}$
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом В, що виникає через неточного визначення коефіцієнта перетворення лічильника-компаратора в точці діапазону витрати, при якому визначають місткість ТПУ	$0,005/\sqrt{3}$

Сумарна стандартна невизначеність:

$$u_c = \sqrt{S_{Kcч}^2 + S_{V0}^2 + \frac{\theta_M^2 + \theta_{t1}^2 + \theta_{t2}^2 + \theta_{IBK n}^2 + \theta_{IBK Kcч}^2}{3}}. \quad (4.3)$$

Розширена невизначеність для рівня довіри 0,95 для нормального закону розподілу результатів вимірювань (коефіцієнт охоплення дорівнює 2)

$$U(0.95) = 2 \cdot u_c = 0.018\%, \quad (4.4)$$

Розширена невизначеність для рівня довіри 0,99 для нормального закону розподілу результатів вимірювань (коефіцієнт охоплення дорівнює 3):

$$U(0.99) = 3 \cdot u_c = 0.027\%, \quad (4.5)$$

Передача одиниці маси ТПУ

Довірчі кордони сумарної похибки:

$$\Delta(0,95) = 0,043\%, \Delta(0,99) = 0,056\%, \quad (4.6)$$

Таблиця 4.2

Бюджет невизначеності одиниці маси ТПУ

Джерела стандартної невизначеності	Значення, %
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом А, що виникає при визначенні середнього значення місткості ТПУ (СКО випадкової похибки визначення середнього значення місткості ТПУ S_{V0} при числі вимірювань 11)	0,003
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом А, що виникає при визначенні середнього значення коефіцієнта перетворення лічильника-компаратора (СКО випадкової похибки визначення середнього значення коефіцієнта перетворення лічильника - компаратора $S_{Kcч}$ при числі вимірювань 10)	0,003

Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом В, що виникає через неточного визначення місткості мірника	$0,01/\sqrt{3}$
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом В, що виникає через неточного визначення температури	$0,0037/\sqrt{3}$
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом В, що виникає через неточного визначення кількості імпульсів від лічильника-компаратора	$0,005/\sqrt{3}$
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом В, що виникає через неточного визначення коефіцієнта перетворення лічильника-компаратора в точці діапазону витрати, при якому визначають місткість ТПУ	$0,005/\sqrt{3}$
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом В, що виникає через неточного визначення щільності	$(0,996 \cdot 0,023)/\sqrt{3}$
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом В, що виникає через неточного визначення температура при вимірюванні щільності	$(0,996 \cdot 0,00119 \cdot 100 \cdot 0,1)/\sqrt{3}$
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом В, що виникає через неточний обчислення маси, здійснюваного ІВК	$0,02/\sqrt{3}$

Сумарна стандартна невизначеність:

$$u_c = \sqrt{S_{Kcч}^2 + S_{V0}^2 + \frac{\theta_M^2 + \theta_{t1}^2 + \theta_{t2}^2 + \theta_{IBK n}^2 + \theta_{IBK Kcч}^2}{3} + \sqrt{\frac{G^2 \cdot (\theta_p^2 + \beta^2 \cdot 10^4 \cdot \Delta T_p^2) + \beta^2 \cdot 10^4 \cdot \Delta T_V^2 + \theta_{IBK M}^2}{3}} = 0.022\% . \quad (4.7)$$

Розширена невизначеність для рівня довіри 0,95 для нормального закону розподілу результатів вимірювань (коефіцієнт охоплення дорівнює 2)

$$U(0.95) = 2 \cdot u_c = 0.044\% , \quad (4.8)$$

Розширена невизначеність для рівня довіри 0,99 для нормального закону розподілу результатів вимірювань (коефіцієнт охоплення дорівнює 3):

$$U(0.99) = 3 \cdot u_c = 0.066\% , \quad (4.9)$$

4.3.2 Компакт-прувер

Довірчі кордони сумарної похибки:

$$\Delta(0,95) = 0,017\%, \Delta(0,99) = 0,022\% , \quad (4.10)$$

Бюджет невизначеності одиниці об'єму КП, таблиця 4.3.

Таблиця 4.3

Бюджет невизначеності одиниці маси ТПУ

Джерела стандартної невизначеності	Значення, %
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом А, що виникає при визначенні середнього значення місткості компакт-прувера (СКО випадкової похибки визначення середнього значення місткості компакт-прувера S_{V0} при числі вимірювань 7)	0,006
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом В, що виникає через неточного визначення місткості мірника	$0,01/\sqrt{3}$
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом В, що виникає через неточного визначення температури	$0,0037/\sqrt{3}$

$$u_c = \sqrt{S_{V0}^2 + \frac{\theta_M^2 + \theta_t^2}{3}} = 0.008\%. \quad (4.11)$$

Розширена невизначеність для рівня довіри 0,95 для нормального закону розподілу результатів вимірювань (коефіцієнт охоплення дорівнює 2)

$$U(0.95) = 2 \cdot u_c = 0.017\%, \quad (4.12)$$

Розширена невизначеність для рівня довіри 0,99 для нормального закону розподілу результатів вимірювань (коефіцієнт охоплення дорівнює 3):

$$U(0.99) = 3 \cdot u_c = 0.025\%, \quad (4.13)$$

Передача одиниці об'єму КП

$$\Delta(0,95) = 0,044\%, \Delta(0,99) = 0,059\%, \quad (4.14)$$

Таблиця 4.4

Бюджет невизначеності одиниці об'єму КП

Джерела стандартної невизначеності	Значення, %
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом А, що виникає при визначенні середнього значення місткості компакт-прувера (СКО випадкової похибки визначення середнього значення місткості компакт-прувера S_{V0} при числі вимірювань 7)	0,006
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом В, що виникає через не-точного визначення місткості мірника	$0,01/\sqrt{3}$
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом В, що виникає через не-точного визначення температури	$0,0037/\sqrt{3}$
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом В, що виникає через не-точного визначення щільності	$(0,996 \cdot 0,023)/\sqrt{3}$

Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом В, що виникає через неточного визначення температури при вимірюванні щільності	$(0,996 \cdot 0,00119 \cdot 100 \cdot 0,1) / \sqrt{3}$
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом В, що виникає через неточного визначення температури при вимірюванні об'єму	$(0,00119 \cdot 100 \cdot 0,1) / \sqrt{3}$
Стандартна невизначеність вимірювань, що оцінюється за типом В, що виникає через неточний обчислення маси, здійснюваного ІВК	$0,02 / \sqrt{3}$

Сумарна стандартна невизначеність:

$$u_c = \sqrt{S_{V0}^2 + \frac{\theta_M^2 + \theta_t^2 + G^2 \cdot (\theta_p^2 + \beta^2 \cdot 10^4 \cdot \Delta T_p^2)}{3} + \sqrt{\frac{\beta^2 \cdot 10^4 \cdot \Delta T_V^2 + \theta_{IBK M}^2}{3}}} = 0.022\% \quad (4.15)$$

Розширена невизначеність для рівня довіри 0,95 для нормального закону розподілу результатів вимірювань (коефіцієнт охоплення дорівнює 2)

$$U(0.95) = 2 \cdot u_c = 0.043\%, \quad (4.16)$$

Розширена невизначеність для рівня довіри 0,99 для нормального закону розподілу результатів вимірювань (коефіцієнт охоплення дорівнює 3):

$$U(0.99) = 3 \cdot u_c = 0.065\%, \quad (4.17)$$

4.3.3 Фактичні МХ ваг, мірників і повірочних установок

Сумарна стандартна невизначеність результатів визначення маси вагами ВСПМ при рівні довіри 0,95 нормального закону розподілу результатів вимірювань (Коефіцієнт охоплення дорівнює 2) склала $\pm 0,003 \dots 0,004\%$.

Сумарна стандартна невизначеність результатів визначення місткості мірника при рівні довіри 0,95 нормального закону розподілу результатів вимірювань (Коефіцієнт охоплення дорівнює 2) склала $\pm 0,0005 \dots 0,0074\%$.

Розширена невизначеність обсягу для ТПУ при рівні довіри 0,95 нормального закону розподілу результатів вимірювань (коефіцієнт охоплення дорівнює 2) склала $U(0.95) = 2 \cdot u_c = 0.018\%$ і для рівня довіри 0,99 нормального закону розподілу результатів вимірювань (коефіцієнт охоплення дорівнює 3) склала $U(0.99) = 3 \cdot u_c = 0.027\%$.

Розширена невизначеність маси для ТПУ при рівні довіри 0,95 нормального закону розподілу результатів вимірювань (коефіцієнт охоплення дорівнює 2) склала $U(0.95) = 2 \cdot u_c = 0.044\%$ і для рівня довіри 0,99 нормального закону розподілу результатів вимірювань (коефіцієнт охоплення дорівнює 3) склала $U(0.99) = 3 \cdot u_c = 0.066\%$

Розширена невизначеність обсягу для КП при рівні довіри 0,95 нормального закону розподілу результатів вимірювань (коефіцієнт охоплення дорівнює 2) склала $U(0.95) = 2 \cdot u_c = 0.017\%$ і для рівня довіри 0,99 нормального закону розподілу результатів вимірювань (коефіцієнт охоплення дорівнює 3) склала $U(0.99) = 3 \cdot u_c = 0.025\%$

Розширена невизначеність маси для КП при рівні довіри 0,95 нормального закону розподілу результатів вимірювань (коефіцієнт охоплення дорівнює 2) $U(0.95) = 2 \cdot u_c = 0.043\%$ і для рівня довіри 0,99 нормального закону розподілу результатів вимірювань (Коефіцієнт охоплення дорівнює 3) склала $U(0.99) = 3 \cdot u_c = 0.065\%$

Результати експериментальних досліджень на практиці довели можливість отримання високих метрологічних характеристик, що дозволило розробити локальну перевірочну схему передачі одиниці вимірювань від робочих еталонів маси і сили до стандартів і робочим кошти вимірів

Еталонні засоби вимірювань в складі піврічного комплексу

1. Ваги спеціальні ВСПМ, НПВ 1500 кг, діапазон вимірювань маси нетто від 200 до 1000 кг, що допускаються довірчі кордону сумарної похибки при вимірюванні маси нетто, при номінальному значенні маси нетто 1000 кг не перевищує $\pm 0,005\%$, при довірчій ймовірності $P = 0,95$, дискретність 10 г;

2. Еталонні мірники, номінальною місткістю 1000 дм³ і 20 дм³, що допускаються довірчі кордону сумарної похибки $\pm 0,01\%$, при довірчій ймовірності $P = 0,95$;

3. ТПУ з робочим діапазоном витрат від 20 до 800 м³ / год, з довірчими межами сумарної похибки при передачі від ТПУ одиниці об'єму (при довірчій ймовірності 0,95 / 0,99) $\pm 0,02\%$ / $\pm 0,03\%$, довірчими межами сумарної похибки при передачі від ТПУ одиниці маси з застосуванням СІ вимірювань щільності (при довірчій ймовірності 0,95 / 0,99) $\pm 0,05\%$ / $\pm 0,07\%$;

4. ТПУ з робочим діапазоном витрат від 100 до 2200 м³ / год, з довірчими межами сумарної похибки при передачі від ТПУ одиниці об'єму (при довірчій ймовірності 0,95 / 0,99) $\pm 0,02\%$ / $\pm 0,03\%$, довірчими межами сумарної похибки при передачі від ТПУ одиниці маси з застосуванням СІ вимірювань щільності (при довірчій ймовірності 0,95 / 0,99) $\pm 0,05\%$ / $\pm 0,07\%$.

5. ПУ КП з робочим діапазоном витрат від 0,057 до 57 м³ / год, довірчими межами сумарної похибки при передачі від КП одиниці об'єму (при довірчій ймовірності 0,095 / 0,99) $\pm 0,02\%$ / $\pm 0,03\%$ і довірчими межами сумарної похибки при передачі від КП одиниці маси з застосуванням СІ вимірювань щільності (при довірчій ймовірності 0,095 / 0,99) $\pm 0,05\%$ / $\pm 0,07\%$.

Принципи передачі розмірів одиниць локальної повірочної схеми повністю відповідають Державним повірочним схемами:

- ГОСТ 8.021- 2005 «Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань маси »;

- ГОСТ Р 8.663-2009 «Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань сили » (еквівалентну масі гирь вплив сили з урахуванням прискорення вільного падіння на місці експлуатації);

- ГОСТ 8.024-2002 «Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань щільності»;

- ГОСТ 8.510-2002 «Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань обсягу і маси рідини»;

- ГОСТ 8.142-2013 «Метрологія. Державний первинний еталон і державна повірочна схема для засобів вимірювань масового та об'ємної витрати (маси і об'єму)

Висновки за розділом 4

1. Результати досліджень довели простежуваність метрологічних характеристик від ГПЕ маси і сили до СІ піврічного комплексу, що дозволило побудувати перевірочну схему передачі одиниць величин маси і об'єму на базі вихідного еталона.

2. Розроблена локальна повірочна схема забезпечує виконання повірки еталонних мірників 1-го розряду, робочих еталонів маси і об'єму 1-го і 2-го розрядів, робочих засобів вимірювань маси та об'єму.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Вступ

Паливно-енергетичний комплекс (ПЕК) забезпечує в даний час десяту частину внутрішнього валового продукту, а експорту - більше половини. Одне з основних напрямків діяльності ПЕК - видобуток і переробка нафти, транспортування і зберігання нафти і рідких нафтопродуктів. Отримання достовірних даних про кількість нафти і нафтопродуктів - пріоритетне завдання, вирішення якої потребує вдосконалення і випереджаючого розвитку метрологічного забезпечення.

Метрологічні дослідження, спрямовані на створення обладнання для перевірки засобів вимірювань маси, об'єму, витрати, щільності, вмісту вологи і в'язкості, що входять в автоматизовані системи обліку нафти і нафтопродуктів, ведуться широким фронтом більше 40 років. Постановка даної роботи була обумовлена сформувався в середині минулого десятиліття потребою великих підприємств ПЕК в повірочних комплексах, орієнтованих на локально зосереджені сукупності засобів вимірювальної техніки (в тому числі імпортних), що мають високі метрологічні характеристики. Необхідно було досягти високої точності передачі розміру одиниць маси і об'єму від піврічного комплексу робочим засобам вимірювань. При цьому повинна забезпечуватися простежуваності до первинних еталонів одиниць основних величин, задана продуктивність перевірки та можливість її проведення в робочих умовах експлуатації повіряються вимірювальних перетворювачів об'ємної та масової витрати, лічильників рідини, компакт-пруверів, трубопоршневих повірочних установок (ТПУ) 1-го і 2 го розрядів.

Під визначенням "Охорона праці" розуміється система правових соціально-економічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних дій та засобів, що спрямовані на підвищення безпеки праці, застереження травматизму та професійних захворювань і отруєнь, пожеж і вибухів на виробництві.

Охорона праці включає в себе виробничу санітарію, техніку безпеки, а також законодавство з охорони праці. Недотримання норм і вимог з охорони праці, а також специфіка деяких виробництв призводить до виникнення шкідливих та небезпечних виробничих факторів.

Небезпечним виробничим фактором називається такий вплив на працюючого, який в визначених умовах призводить до травми та іншого раптового погіршення здоров'я.

Результат впливу небезпечного виробничого фактору називається нещасним випадком. До таких належать: ураження електричним струмом, механічна травма внаслідок несправного обладнання тощо. Вплив шкідливого виробничого фактору призводить до професійних захворювань або зниженню працездатності. До шкідливих факторів належать шуми, вібрації, шкідливі випромінювання, гази, пил і тощо.

В залежності від можливих видів небезпечних або шкідливих впливів на людину, обладнання, що проектується, забезпечується захисними пристроями і пристосуваннями, які забезпечують безпечну трудову діяльність людини. При проектуванні будь-якого обладнання або судна необхідно провести аналіз небезпечних та шкідливих факторів, що характерні для них і розробити заходи для їх усунення.

5.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Для машинного відділення характерна наявність таких шкідливих виробничих факторів, як шуми та вібрації внаслідок руху деталей механізмів, вихлопу газів і тощо, загазованість та запилення повітря через наявність парів палива, масел, внаслідок замкнутості приміщення, погане освітлення, так як машинне відділення знаходиться всередині корпусу судна.

Небезпеку в машинному відділенні можуть представляти балони пускового повітря, що знаходяться під надлишковим тиском, неприкриті рухомі частини механізмів, струмопровідні поверхні, що контактують з корпусами генераторів, паливні системи і резервуари і тощо.

Крім цього, для ЦПУ характерні шуми що створюються струмопровідними частинами ГРЩ, кабелями. Небезпеку становить висока напруга на шинах, можливість вибуху обладнання ГРЩ при впливі ударних навантажень струму.

Приміщення машинного відділення, як суднове, піддане впливу кренів, диферентів. Повітря машинного відділення насичено вологою, частками солі.

Машинне відділення на судні, де розташовані синхронні генератори, відноситься до категорії приміщень підвищеної небезпеки, тому збереження здоров'я обслуговуючого персоналу здобуває особливо важливе значення, оскільки зниження працездатності членів екіпажу може призвести до аварійних ситуацій з тяжкими наслідками.

Під час роботи синхронних генераторів до небезпечних та шкідливих факторів відносяться:

а) Ураження електричним струмом (в даному проекті напруга генераторів 400 В, а номінальний струм статора (МСК 940-1500) 1360 А). Проходячи через організм, електричний струм робить термічну, електролітичну і біологічну дію.

Термічна дія струму: опіки шкіри і тіла, нагрівання і пошкодження кровоносних судин і органів – може призвести до серйозних функціональних розладів.

Електролітична дія струму: розпад крові та інших органічних рідин – може спричинити значні порушення їх складу.

Біологічна дія струму: порушення функцій нервової системи – призводить до судом, а також припинення дихання і кровообігу.

Розрізняють два основних види ураження струмом: електричну травму і електричний удар.

Електрична травма – місцеве ураження організму. Характерні види електричних травм – електричні опіки, металізація шкіри, механічні пошкодження (переломи, вивихи), отримані падінням з висоти при ударі струмом. електроофтальмія (пошкодження зовнішніх оболонок ока в результаті дії потужного потоку ультрафіолетових променів.

Електричний удар – дія на тканини людини протікаючим через нього електричним струмом, супроводжуючись судорожним скороченням мускулів, що може визвати порушення і навіть припинення діяльності серця і легень.

Випадки ураження людини струмом можливі лише у разі замикання електричного кола через тіло людини або, інакше кажучи, при дотику людини не менш ніж до двох точок кола, між якими існує деяка напруга. небезпека такого дотику, що оцінюється величиною струму, який проходить через тіло людини, або напругою дотику. Помилково вважають безпечним низьку напругу. Практика показує, що більшість нещасних випадків відбувається при напрузі 380, 220, 110 В і нижче. В ряді смертельних випадків струм не перевищував 5-10 мА. Були смертельні випадки не тільки при напрузі 65-36 В, але навіть при безпечній напрузі 12 В. Описано випадок смертельної електротравми при гальванізації струмом 1-2 мА і напрузі 2 В.

Великий вплив здійснює частота струму. Цей вплив помітно, тому що роздражнення нервової системи відбувається внаслідок зміщення іонів. При збільшені частоти кількість іонів, що зміщуються за проміжок одного півперіоду. Зменшується і цього недостатньо для подразнення. При збільшені частоти небезпека смертельного ураження струмом зменшується. Якщо при частоті 100 Гц смертельний струм складає 0,1 А, то при частоті 104 Гц, він складає 1 А. Однак досвід показує, що ця загальна закономірність має аномалію в області технічних частот. Так, наприклад, при дії постійного струму на організм тварини смертельним є струм 1,2 А, в той час як при змінному струмі з частотою 60 Гц, той же ефект отримується при струмі 0,2 А. Далі досвід показує, що і змінний струм 25 Гц менш небезпечний, ніж змінний струм 60 Гц. На основі проведених дослідів можна враховувати, що найбільш небезпечним є струм частотою 150 Гц.

б) Підвищений рівень шуму. Шум, навіть якщо він невеликий (при рівні 50-60 дБ), спричиняє значне навантаження на нервову систему людини, піддаючи його психологічному впливу. Відсутність необхідної тиші призводить до передчасної втоми, а й нерідко до захворювань. Слуховий аналізатор через центральну нервову систему пов'язаний з різними органами життєдіяльності

людини, тому шум впливає на весь організм. Під впливом сильного шуму (90-100 дБ) притупляється гострота зору, з'являються головний біль і запаморочення, змінюються ритм дихання та серцевої діяльності, підвищується кров'яний внутрішньочерепний тиск, порушується процес травлення. Впливаючи на кору головного мозку, шум оказує дратівливу дію, прискорює процес стомлення, послаблює увагу та сповільнює психічні реакції. З цих причин сильний шум в умовах виробництва може сприяти виникненню травматизму. Рівень шуму суднового високо обертового дизель-генератора складає 110дБ. Шум є найбільш важко усуним шкідливим виробничим фактором.

в) Підвищений рівень вібрації. Причиною виникнення вібрації є виникаючі під час роботи машин та агрегатів неврівноважені силові впливи. Ступінь шкідливості вібрації визначається інтенсивністю впливу на людину; даний фактор може стати причиною розладу серцево-судинної та нервової систем, ушкодження слуху, виникнення вібраційної хвороби; крім цього, вібрація може призвести до ушкодження елементів системи, що може послужити причиною аварійної ситуації.

г) Електромагнітні випромінювання. Вплив електромагнітних полів на людину залежить від напруженості електричного та магнітного полів, інтенсивності потоку енергії, частоти коливань, локалізації випромінювань на поверхні тіла та індивідуальних особливостей організму. Механізм такого впливу полягає в то-му, що в електричному полі атоми та молекули, з яких складається тіло людини, поляризуються, а полярні молекули (наприклад, води), крім цього, орієнтуються за напрямком розповсюдження електромагнітного поля. Перемінне електричне поле викликає нагрів тканин тіла людини, як за рахунок перемінної поляризації діелектриків, так і за рахунок виникнення струмів провідності. Електромагнітні поля також впливають на тканини як на біологічні об'єкти. Вони впливають на нервову систему, змінюють орієнтацію клітин, біохімічну активність білкових молекул і склад крові. Спостерігається зміна вуглеводного, білкового та мінерального обміну речовин.

д) Забруднення повітряного середовища в виробничих умовах. На виробництві повітря рідко має природний склад, так як багато технологічних процесів супроводжуються виділенням в повітря виробничих приміщень шкідливих речовин – пару, газів, пилу. Шкідливі речовини потрапляють до організму людини через дихальні шляхи, а також через шкіру та з їжею. За дією на людину вони поділяються на дві групи: неотрутні та отрутні (токсичні). Для неотрутного пилу характерне подразнення і навіть поранення порошинами слизових оболонок дихальних шляхів, що призводить до їх запалення, а при проникненні до легень – до виникнення специфічних захворювань. До такого пилу відносяться металевий (чавунний, залізний, мідний, алюмінієвий), пластмасовий, наждаковий, карборундовий, деревний, пил скляного та мінерального волокна. Отрутними є свинцевий, цинковий пил та тощо. В результаті впливу шкідливих речовин можуть виникати професійні захворювання.

5.3 Розрахунок загального освітлення

Основна задача освітлення у виробничих приміщеннях полягає в забезпеченні оптимальних умов для бачення. Ця задача вирішується вибором найбільш раціональної системи освітлення та джерел світла.

Постановка задачі:

Розрахувати освітлювальну установку в пульті керування судна розміром: довжина $A = 4$ м, ширина $B = 3$ м, висота $H = 2,5$ м.

Розв'язання:

1. Визначимо площу приміщення:

$$S = A \times B = 12 \text{ м}^2. \quad (5.1)$$

2. Вибираємо систему загального рівномірного освітлення з люмінесцентними лампами.

3. Вибираємо світильник типу СС-755 з чотирма лампами ЛБ15 по 15 Вт.

4. Знаходимо індекс приміщення за формулою:

$$i = \frac{A \times B}{h \times (A + B)} = \frac{3 \times 4}{2,5 \times (3 + 4)} = 0,7. \quad (5.2)$$

Для люмінесцентних ламп приймаємо $h = H$.

5. Визначаємо коефіцієнт використання світлового потоку за наступними параметрами $\rho_p = 70\%$, $\rho_{\text{пер}} = 50\%$, $\rho_r = 30\%$, $i = 0,7$; $\eta = 0,27$.

6. Вибираємо $K_z = 1,3$.

7. Мінімальна освітленість для пультів керування $E_{\min} = 100$ лк.

8. Визначаємо світловий потік лампи ЛБ15. Номінальний світловий потік Φ_l люмінесцентної лампи ЛБ15 дорівнює 780 лк.

9. Коефіцієнт нерівномірності для люмінесцентних ламп приймаємо рівним $Z = 1,1$.

10. Визначаємо необхідне число світильників за формулою:

$$N = \frac{E_{\min} \times S \times K_z \times Z}{n \times \Phi_l \times \eta} = \frac{100 \times 12 \times 1,3 \times 1,1}{4 \times 780 \times 0,27} = 2. \quad (5.3)$$

Приймаємо для установки 2 світильники типу СС-755.

Необхідно зазначити що якими б точними не були розрахунки, світлотехнічні характеристики реальної освітлюваної установки можуть відрізнятися від розрахункових через відхилення характеристик ламп і світильників від середніх каталожних даних, через кольори обладнання приміщення та його розташування, неточно вибраного коефіцієнту відображення барвників та декоративно-обробочних матеріалів і інших факторів.

5.4 Заходи щодо запобігання небезпечних та шкідливих факторів, що виникають при роботі пристрою

Для забезпечення безпечної, безаварійної і високоефективної роботи електроустановок необхідно так організувати їхню роботу, щоб виключити всяку можливість помилок з боку обслуговуючого персоналу.

При експлуатації системи, судновий фахівець повинен керуватися офіційними документами "Правила техніки безпеки на судах морського флоту"

(1975 р. РД 31.81. 10-75) і "Правила технічної експлуатації судновий електрорадіонавігаційної апаратури" (1983 р. РД 31.65. 05-83).

Основою організації безпечної роботи електроустановок є свідома дисципліна обслуговуючого персоналу, що повинен строго дотримуватися організаційних і технічних заходів.

Кожен керівник перед призначенням його на самостійну роботу з обслуговування електроустановок або при переведенні на іншу ділянку, зобов'язаний пройти навчання безпечним методам роботи на робочому місці, і перевірку знань.

Перевірка знань правил техніки безпеки проводиться кваліфікаційною комісією після навчання на робочому місці. При цьому працівник, що перевіряється, привласнюється відповідним його знанням і досвіду роботи кваліфікаційна група по техніці безпеки.

З метою зниження небезпеки після включення установки забороняється:

- Робити повторні включення після мимовільного вимикання електроустаткування без з'ясування причин їхнього вимикання і їхніх усунень.
- Робити будь-які ремонтні роботи.
- Перебувати біля установки стороннім особам.

Якщо буде потреба проведення ремонтних робіт установка повинна бути відключена від мережі й на комутаційних апаратах повинні бути вивішені плакати - " НЕ ВМИКАТИ - ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ ! ".

Небезпека ураження електричним струмом серед інших небезпек відрізняється тим, що людина не може без спеціальних приладів визначити наявність напруги дистанційно, як, наприклад, рухливі об'єкти, розігріті об'єкти, відкриті люки, не відгороджені краї площадок і т.п..

Електричний струм проходячи через живі тканини, приводить термічний, електричний і біологічний вплив. Це призводить до різних порушень в організмі, викликаючи як місцеві ушкодження тканини й органів, так і загальну поразку організму.

Електробезпека - це система організаційних технічних заходів і засобів, які забезпечують захист людей від шкідливого й небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля й статичної електрики.

Небезпека поразки електричним струмом залежить від навколишнього середовища й обстановки (вогкість, пара, їдкі пари й газу, струмопровідний пил, які руйнують ізоляцію електроустановок, значно знижують її опір).

При забезпеченні безпеки при роботах з електроустановкою використані найпоширеніші методи захисту людей від поразки електричним струмом: захисне заземлення, захисне відключення.

З метою виключень небезпеки поразки електричним струмом у приміщенні, де експлуатується установка необхідно передбачити наступні заходи:

- Повний комплект робочого інструменту з ізольованими рукоятками;
- Наявність захисних діелектричних ковриків або інших ізолюючих покриттів;
- Наявність захисних діелектричних ковриків або інших ізолюючих покриттів;
- Покриття струмопровідних частин і відокремлення їх один від одного шаром діелектрика, що забезпечує протікання струму по необхідному напрямку;
- Застосування захисного вимкнення.

Джерелами високотемпературних опіків можуть бути поверхневі елементи, які піддаються прогріву. Тому кип'ятильники для робочої рідини парострумінних насосів й агрегатів повинні бути закриті теплоізоляційними кожухами, а електронагрівники - надійно ізольовані від корпусів і недоступні для випадкового доторкання.

Штучне й природне освітлення може бути ефективним тільки при ретельному обслуговуванні, що входить до складу системи вузлів і пристроїв. Ретельний і регулярний догляд за установками має важливе значення для створення раціональних умов освітлення. Чищення скла світлових отворів повинне робитися не рідше двох разів у рік для приміщень із незначними виділеннями пилу й не рідше чотирьох разів у рік при значних виділеннях пилу.

При роботі з бортовим комп'ютером на людину діє рентгенівське випромінювання екрана. При тривалій роботі може порушуватися діяльність нервової системи, через підвищену напруженість очей порушується зір. На людину негативний вплив надає підвищена контрастність й яскравість екрану. Для людей працюючих тривалий час рекомендується щогодини робити перерви в роботі на 5 - 10 хв.

Всі установки, які можуть зашкодити своїми механічними частинами, повинні бути надійно закріплені й мати огорожі, які обмежують доступ до небезпечних ділянок. Хімічні речовини, які вживаються при роботі повинні мати надійні впакування.

Висновки за розділом 5

Слід зазначити, що ефективним заходом по усуненню небезпечних та шкідливих виробничих факторів є наглядна агітація, а також велике значення має галузевий стандарт, що встановлює сигнально-попереджаючи кольори та знаки безпеки.

ВИСНОВКИ

1. Проведені дослідження показали, що технічні і методичні рішення дозволили поліпшити в 2 рази метрологічні характеристики еталонних мірників і в 1,7 рази поліпшити метрологічні характеристики повірочних установок, в 4 рази знизити тимчасові витрати на їх перевірку. У 7 разів знизити витрати на закупівлю еталонного обладнання, в 2 рази зменшити витрати на технічне обслуговування та експлуатацію.

2. Результати досліджень і розрахунки, розроблені методики повірки на основі спеціальних трикомпонентних ваг ВСПМ дозволили впровадити в метрологічну практику:

- еталонні мірники 1-го розряду довірчої сумарною відносною похибкою $\pm 0,01\%$;

- мобільні еталонні перевірочні установки 1-го розряду з довірчою сумарною відносною похибкою вимірювань об'єму $\pm 0,03\%$, призначені для повірки на місці експлуатації стаціонарних повірочних установок з довірчою сумарною похибкою $\pm 0,05\%$;

- стаціонарні еталонні перевірочні установки 1-го розряду з довірчою сумарною похибкою вимірювань об'єму $\pm 0,03\%$, призначені для повірки на місці експлуатації перетворювачів витрати з довірчою сумарною похибкою $\pm 0,07\%$, $\pm 0,10\%$, $\pm 0,15\%$.

3. Методики повірки на базі ваг ВСПМ рекомендується застосовувати для метрологічного забезпечення вимірювань витрати рідини з перемикачами потоку на базі ваг з НПВ до 25 тон по ГОСТ 8.142-2013, для повірки еталонних мірників 1-го і 2-го розрядів відповідно до вимог ГОСТ Р 8.682-2009 «Метрологія. Мірники металеві еталонні. Методика повірки».

4. Результати досліджень і розроблені методики вимірювань на базі спеціальних ваг ВСПМ дозволили вдосконалити метрологічне забезпечення обліку нафти і нафтопродуктів при комерційних операціях відповідно РМГ 100-2010 «Метрологія. Рекомендації щодо визначення маси нафти при

облікових операціях із застосуванням систем вимірювань кількості та показників якості нафти » і РМГ 106-2010« Метрологія. Рекомендації за визначенням маси нафти при облікових операціях із застосуванням систем вимірювань кількості і показників якості нафти», крім цього дозволяють вирішити задачу імпортозаміщення засобів вимірювань в сфері паливно-енергетичного комплексу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bucher J. L. (Ed.). The Metrology Handbook, 2nd Edition. Milwaukee: ASQ Quality Press, 2015.
2. Mekid S. Metrology and Instrumentation: Practical Applications for Engineering and Manufacturing. Wiley-ASME Press, 2021.
3. Fridman A. E. The Quality of Measurements: A Metrological Reference. New York: Springer, 2012.
4. Gao W. (Ed.). Metrology. Singapore: Springer Nature, 2019.
5. Bhatnagar A., Yadav S., Achanta V., Harmes-Liedtke U., Rab S. (Eds.). Handbook of Quality System, Accreditation and Conformity Assessment. Singapore: Springer, 2024.
6. ДСТУ 7218:2011 «Метрологія. Мірники металеві еталонні. Методика повірки (калібрування)». – Київ, 2011.
7. ДСТУ 7219:2011 «Метрологія. Мірники металеві технічні. Методика повірки (калібрування)». – Київ, 2011.
8. ДСТУ 7269:2012 «Метрологія. Прилади зважувальні еталонні. Методика повірки». – Київ, 2012.
9. ДСТУ 7691:2015 «Метрологія. Ваги дискретної дії для сумарного обліку автоматичні бункерні. Методика повірки». – Київ, 2015.
10. ДСТУ 9204:2022 «Метрологія. Рівнеміри. Методика повірки на місці експлуатації». – Київ, 2022
11. ГОСТ 8.510–2002 «Державна система забезпечення єдності вимірювань. Державна повірочна схема для засобів вимірювання об'єму та маси рідини».
12. МІ 1971–95 «Установки повірочні на базі ваг ОГВ»
13. ГОСТ 8.400–80 «Зразкові металеві мірники. Методи та засоби перевірки».
14. ГОСТ Р 8.682–2009 «Зразкові металеві мірники. Методи та засоби перевірки».
15. ГОСТ 53228–2008 «Ваги неавтоматичного дії. Частина 1. Метрологічні та технічні вимоги. Випробування».

16. ГОСТ 24104–2001 «Лабораторні ваги. Загальні технічні вимоги».
17. ГОСТ 7328–2001 «Гирі. Загальні технічні умови».
18. МІ 3209–2009 «Інструкція. ГСІ. Установки повірочні трубопоршневі. Методика повірки за допомогою повірочної установки на базі еталонних мірників».
19. МІ 3155–2008 «Інструкція. ГСІ. Установки повірочні трубопоршневі. Методика повірки на базі мірника та об'ємного лічильника».
20. Бакка М.Т., Тарасова В.В. Метрологія, стандартизація, сертифікація і акредитація. Метрологія: навчальний посібник / з грифом МОН України. – Житомир: ЖІТІ, 2012. – 337 с.
21. Величко О.М. та ін. Основи метрології та метрологічна діяльність: навч. посібник. – Київ, 2016. – 228 с.
22. Захаров І.П. Теоретическая метрология: учеб. пособие. – Харків, 2000. – 172 с.
23. Коваленко І.О., Коваль А.М. Метрологія та вимірювальна техніка: навчальний посібник. – Житомир: ЖІТІ, 2021. – 602 с.
24. Саранча Г.А. Метрологія, стандартизація, відповідність, акредитація та управління якістю: підручник. – Київ: Центр навчальної літератури, 2016. – 672 с.
25. Цюцюра В.Д., Цюцюра С.В. Метрологія та основи вимірювань: навчальний посібник. – Київ: Знання-Прес, 2013. – 180 с.
26. Дорожовець М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: у 2 т. Т. 2. Вимірювальна техніка / за ред. Б. Стадника. – Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2015. – 656 с.
27. Коваленко І.О. Метрологія та вимірювальна техніка. Вимірювання неелектричних величин: навч. посібник. – Житомир: ЖДТУ, 2016. – 550 с.
28. Топольник В.Г., Котляр М.А. Метрологія, стандартизація, сертифікація і управління якістю: навчальний посібник. – Львів: Магнолія, 2016. – 212 с.

29. Бичківський Р.В., Столярчук П.Г., Гамула П.Р. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація: підручник. – Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2014. – 500 с.
30. Метрологія. Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки: ДСТУ 3215-95. – Київ, 2018. – 26 с.
31. Метрологія. Еталони державні та вторинні одиниці вимірювань: ДСТУ 3231-95. – Київ, 2012. – 56 с.
32. Шаповал М.І. Основи стандартизації, управління якістю і сертифікації: підручник, 3-є вид., перероб. і доп. – Київ: Європ. ун-т фінансів, інформсистем, менеджменту і бізнесу, 2015. – 174 с.
33. Бутковський Л.Г. Характеристики систем с распределенными параметрами. – М.: Наука, 1979. – 224 с.