

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Кафедра «Технологія машинобудування, верстати та інструменти»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Віталій ІВАНОВ

« ____ » лютого 2022 р.

НОРМАТИВНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КАЛІБРУВАННЯ УСТАНОВКИ ТРУБОПОРШНЕВОЇ

Магістерська кваліфікаційна робота

Спеціальність 152 – Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка

Студент

Валентин СУШКО

Керівник

Юлія ДЕНИСЕНКО

Нормоконтроль

Олександр ІВЧЕНКО

Суми – 2022

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра включає в себе пояснювальну записку. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 77 сторінок, у тому числі, 8 рисунків, 4 таблиць, бібліографії із 32 джерел на п'яти сторінках, 10 додатків на 21 сторінці.

Комерційний облік нафти і нафтопродуктів – операція, яка проводиться на підприємстві під час технологічного процесу і яка полягає у визначенні об'єму і маси нафти або нафтопродуктів для подальших облікових операцій.

На сьогодні, найбільш розповсюдженими є трубопоршнева повірочна установки, які призначені для проведення контролю метрологічних характеристик і перевірки засобів вимірювань об'єму та маси на місці експлуатації без порушення процесу обліку робочого продукту.

Від її метрологічних характеристик залежить надійність системи обліку, тому актуальним завданням є підвищення достовірності та повторюваності вимірювання на основі вивчення і вдосконалення нормативного забезпечення. Для цього в роботі запропоновано проект нормативного документа: МК.РУ.ХХХ:2021 «Метрологія. Установки еталонні трубопоршневі. Методика калібрування».

Об'єкт дослідження. Процедура калібрування установки трубопоршневої.

Предмет дослідження. Нормативне забезпечення процедури калібрування установки трубопоршневої.

**ОБ'ЄМНІ ВИТРАТИ, ВИМІРЮВАННЯ, КАЛІБРУВАННЯ,
МЕТОДИКА, ТУРБОПОРШНЄВА УСТАНОВКА**

ANNOTATION

The master's qualification work includes an explanatory note. The full volume of the master's qualification work is 77 pages, including 8 figures, 4 tables, bibliographies from 32 sources on five pages, 10 appendices on 21 pages.

Commercial accounting of oil and oil products - an operation carried out at the enterprise during the technological process and which consists in determining the volume and mass of oil or oil products for further accounting operations.

Today, the most common are pipe-piston calibration units, which are designed to control the metrological characteristics and verification of measuring instruments of volume and mass at the place of operation without violating the process of accounting for the working product.

The reliability of the accounting system depends on its metrological characteristics, so the urgent task is to increase the reliability and repeatability of measurements based on the study and improvement of regulatory support. For this purpose, the draft normative document is proposed in the work: MK.RU.XXX: 2021 "Metrology. Installations are standard pipe-piston. Calibration technique".

Object of study. Piston piston installation calibration procedure.

Subject of study. Regulatory support of the procedure for calibration of the pipe-piston installation.

VOLUME COSTS, MEASUREMENTS, CALIBRATION, METHODS,
TURBO-PISTON INSTALLATION

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	2
Вступ.....	6
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИМІРЮВАННЯ ОБ'ЄМНОЇ ВИТРАТИ	9
1.1 Поняття об'ємної витрати та її вимірювання	9
1.2 Визначення установки трубопоршневої	9
1.3 Принцип роботи трубопоршневої установки	13
1.4 Висновок.....	18
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВИМОГ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ АБО ПІДТВЕРДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТПУ	19
2.1 Дослідження нормативних документів	19
2.2 Висновок	22
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ КАЛІБРУВАННЯ УСТАНОВОК ТРУБОПОРШНЕВИХ	23
3.1 Дослідження процедури повірки установки трубопоршневої	23
3.1.1 Основні розділи методики повірки ТПУ	27
3.2 Дослідження основних вимог до побудови та змісту методик калібрування	34
3.2.1 Титульний лист Методики калібрування	34
3.2.2 Вступ	34
3.2.3 Основні розділи методики калібрування	35
3.3 Розроблення методики калібрування трубопоршневої установки	36
3.4 Висновок	44
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕДУРИ КАЛІБРУВАННЯ ТПУ	45
4.1 Експериментальні дані при проведенні калібрування ТПУ	45
4.2 Висновок	48
ВИСНОВКИ	49

	5
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	50
Додаток А Акт впровадження результатів наукової роботи у навчальний процес	55
Додаток Б Публікація за тематикою досліджень.....	56
Додаток В Оцінювання придатності Методики калібрування ТПУ.....	58
Додаток Г Приклад оцінювання невизначеностей вимірювань при калібруванні еталонної двунаправленої установки типу ТПУ 550-64-40 за допомогою еталонного мірника із зупинкою поршня	59
Додаток Д Приклад встановлення простежуваності вимірювань при калібруванні установки	64
Додаток Е Форма протоколу калібрування установки ТПУ	65
Додаток Ж Форма Свідоцтва про калібрування	67
Додаток К Проект нормативного документу	69
Додаток Л Обробка експериментальних даних	70
Додаток М Акт впровадження результатів наукової роботи у виробництво	75

Вступ

Актуальність теми.

Економіка багатьох країн, в тому числі й України, базується переважно на запасах природних ресурсів. Наявні природні ресурси виступають запорукою конкурентоспроможності країни на світовому ринку. Тому надійна система обліку і контролю використання таких ресурсів є важливим фактором ефективного і водночас ощадливого природокористування.

Комерційний облік нафти і нафтопродуктів - операція, яка проводиться на підприємстві під час технологічного процесу і яка полягає у визначенні об'єму і маси нафти або нафтопродуктів для подальших облікових операцій [1].

На сьогодні в нашій області застосовується трубопоршнева повірочна установка типу ТПУ 550-64-40 виробництва «Енергоінвест. Вимірювальні системи», яка призначена для проведення контролю метрологічних характеристик і повірки [9] засобів вимірювань об'єму та маси на місці експлуатації без порушення процесу обліку робочого продукту.

Законодавство України в сфері метрологічної діяльності зазнало змін за останні роки. Згідно Постанови КМУ від. 04.06.2015 р. № 374 [2] установка трубопоршнева не потрапила до Переліку категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці, таким чином вона відноситься до еталонів. Згідно Порядком проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, та оформлення її результатів [5], еталони, які застосовуються під час проведення повірки, мають бути калібровані.

Таким чином, на цей час існує науково-практична проблема щодо забезпечення достовірного контролю показників витрати нафтопродуктів, вирішення якої дозволить підвищити достовірність результатів вимірювань.

Метою дослідження є підвищення ефективності використання установки трубопоршневої шляхом забезпечення достовірності результатів

вимірювань на основі розроблення методики калібрування установки трубопоршневої типу ТПУ 550-64-40 [13].

Для досягнення поставленої мети були встановлені наступні **завдання дослідження**:

1. Дослідити теоретичні аспекти вимірювання об'ємної витрати.
2. Дослідити нормативну базу щодо контролю метрологічних характеристик установки трубопоршневої.
3. Розробити методику калібрування установки трубопоршневої.
4. Експериментально дослідити процедуру калібрування установки трубопоршневої.

Об'єкт дослідження. Процедура калібрування установки трубопоршневої.

Предмет дослідження. Нормативне забезпечення процедури калібрування установки трубопоршневої.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження базуються на використанні принципів системного й процесного підходів. Для вирішення наукового завдання були використані фундаментальні положення статистичних методів, експериментальних методів; методів математичного моделювання оцінювання невизначеностей вимірювань.

Наукова новизна отриманих результатів. Отримав подальший розвиток підходу до контролю метрологічних характеристик установки трубопоршневої, який базується на оцінюванні невизначеності вимірювань при її калібруванні.

Практичне значення отриманих результатів. За результатами роботи запропоновано проект нормативного документа:

МК.РУ.ХХХ:2021 «Метрологія. Установки еталонні трубопоршневі. Методика калібрування».

Розроблена методика калібрування придатна для застосування в ДП «Сумистандартметрологія» у відповідності до його вимог.

Акт впровадження результатів роботи результатів наукової роботи у навчальний процес наведено в додатку А.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові результати дослідження, що виносяться на захист, одержані автором самостійно або за його активної участі.

Апробація теоретичної частини була проведена на XX Міжнародній науково-практичній конференції «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво», м. Суми, 2021 р., (див. додаток Б).

Публікації. Основні положення наукової роботи відображені в XX Міжнародній науково-практичній конференції «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво» (Суми, 26–29 квітня 2021 р.).

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Робота складається із вступу, чотирьох розділів, списку джерел посилань і додатків. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 75 сторінок, у тому числі, вісім рисунків, чотири таблиць, бібліографії із 36 джерел на 5 сторінках, 10 додатків на 21 сторінці.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИМІРЮВАННЯ ОБ'ЄМНОЇ ВИТРАТИ

1.1 Поняття об'ємної витрати та її вимірювання

Витрата – кількість переміщеної чи подаваної рідини, газу або сипкої речовини (масова, об'ємна чи вагова) за одиницю часу через поперечний переріз [3].

При вимірюванні об'єму рідини (газу), що протікає через переріз визначають витрату об'ємну ($F_{об}$), при вимірюванні маси – витрату масову (F_m).

Об'ємна витрата – об'єм рідини, яка проходить через задану площу за одиницю часу. Для усталеного потоку $F_{об}$ дорівнює добутку середньої по перерізу швидкості потоку на площу поперечного перерізу.

Об'ємна витрата вимірюється в системі SI в кубічних метрах за секунду ($\text{м}^3/\text{с}$). У нафтогазопромисловій справі витрати рідини (газу) вимірюють в $\text{м}^3/\text{доб}$, т/доб (тис. $\text{м}^3/\text{доб}$). Зазвичай позначається символом Q [12].

Зазвичай вимірювання витрат рідини (газу) проводять витратоміром, а для вимірювання кількості речовини – лічильником кількості (лічильником). Найбільш поширеними є витратоміри: турбінні, електромагнітні, тахометричні, постійного та змінного перепаду тиску (з пристроями звуження потоку), вихрові, ультразвукові та масові. Більшість сучасних витратомірів є мікропроцесорними приладами, які відрізняються більшими можливостями: мають незалежну пам'ять і можливість зберігання вимірянних значень довгий термін. Крім того вони мають можливість як безпосереднього виводу інформації на дисплей, так і підключення до персональних комп'ютерів, принтерів і мереж.

1.2 Визначення установки трубопоршневої

Установка трубопоршнева (далі ТПУ) – це еталона установка призначена для проведення повірки, калібрування і контролю метрологічних

характеристик засобів вимірювальної техніки об'єму і маси на місці експлуатації без порушення процесу обліку робочого продукту.

Найбільш широке застосування ТПУ знайшли в нафтовій, нафтопереробної та хімічної промисловості, а також в інших галузях, де необхідна висока точність вимірювання витрати.

До основної переваги двобічної ТПУ в порівнянні з односпрямованою ТПУ відноситься те, що у двобічної конструкції ТПУ обсяг вимірювальної ділянки приймається за прохід поршня в обох напрямках, внаслідок чого компенсується похибка спрацьовування детекторів, за рахунок чого досягається збільшення достовірності вимірювань і поліпшення повторюваності.

Важливо також, що ТПУ характеризуються:

- зменшеним падінням тиску на ТПУ;
- стабільністю швидкості потоку;
- високими показниками за повторюваністю та загалом за достовірністю вимірювань;
- довготривалим терміном служби епоксидного покриття труби;
- довготривалим терміном зносом шарового поршня;
- простою конструкцією установки.

Трубопоршневі повірочні установки ТПУ можуть виготовлятися, як в мобільному варіанті з продуктивністю до 1100 м³/год. та об'ємом до 1000 м³ (рис. 1, 2) так і в стаціонарному варіанті з продуктивністю до 4000 м³/год. та об'ємом більше 1000 м³ (рис. 3,4):



Рисунок 1 – ТПУ, 400 м³/год., АТ «Транснафта», РФ [33]



Рисунок 2 – ТПУ, 600 м³/год., АТ «Транснафта», РФ [34]



Рисунок 3 – ТПУ, 300 м³/год., АТ «Татнафта», ОАЕ [35]



Рисунок 4 – ТПУ, 2400 м³/год., «Comet Trading», ОАЕ [36]

1.3 Принцип роботи трубопоршневої установки

Наша дослідна установка – це двобічна стаціонарна трубопоршнева повірочна установка типу ТПУ - 550 – 64 – 40 з продуктивністю 550 м³/год., зав № 7089, яка належить Качанівському ГПЗ ПАТ «Укрнафта» (Рисунок 5).

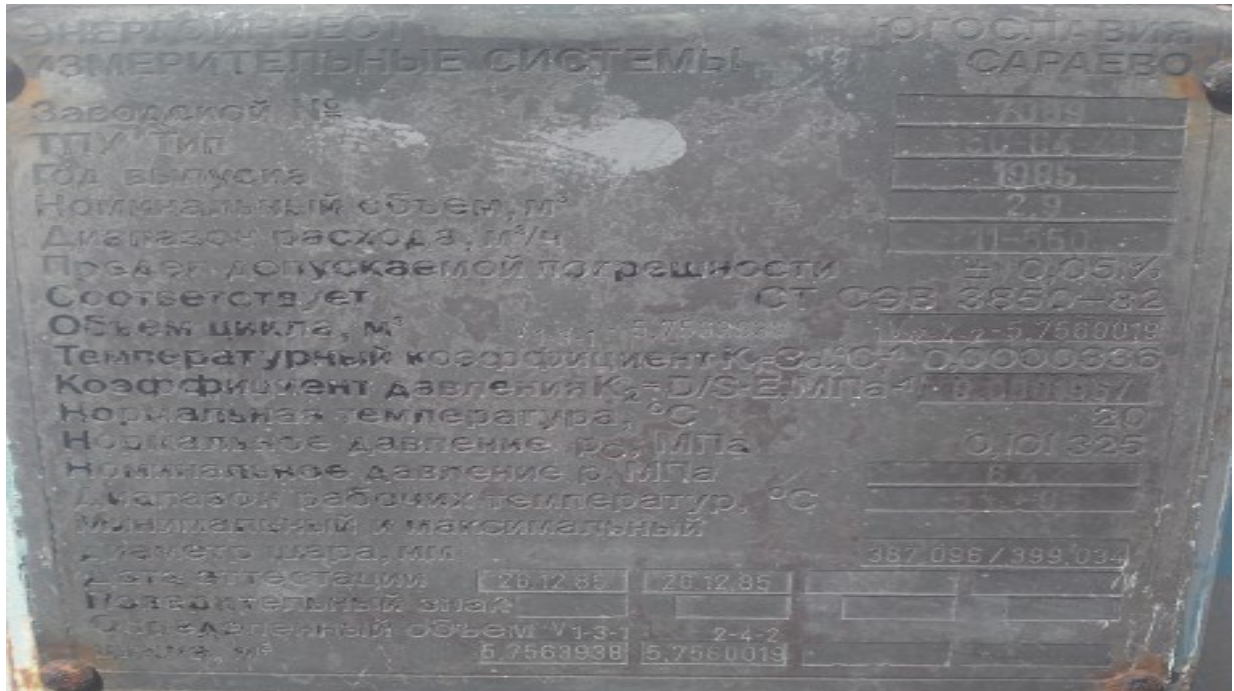
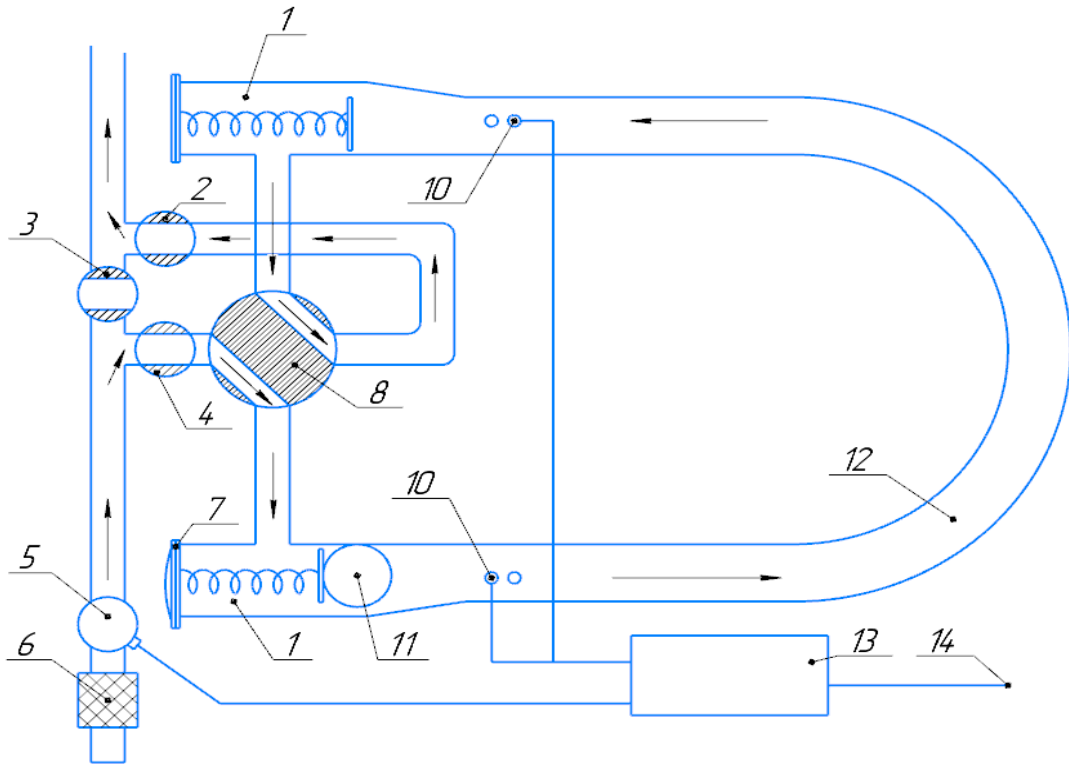


Рисунок 5 – ТПУ, 550 м³/год., СФРЮ

Умови експлуатації мають досить широкий діапазон, а саме:

- температура оточуючого середовища від мінус 50 до 65 °С
- середнє значення вологості становить 80% (можливо короткочасно до 100%);
- максимальний тиск в ТПУ до 4 МПа (40 кгс/см²).

Схема двобічної ТПУ з головними складовими частинами відображена на рисунку 6.



1. Амортизатор.
2. Запірний клапан.
3. Клапан на основному трубопроводі.
4. Запірний клапан.
5. Витратомір.
6. Фільтр.
7. Кришка.
8. Чотирьохходовий кран з приводом, який виконує функцію перемикача потоку рідини через петлю.
- 10 Детектори проходу кулі.
- 11 Поліуретанова куля.
- 12 Калібрована ділянка між детекторами.
- 13 Лічильник імпульсів.
- 14 Живлення.

Рисунок 6 – Схема двобічної ТПУ

На фотографіях дослідна установка має такий вигляд. (рис.7а,7б, 7в, 7г).



Рисунок 7а – Загальний вид (Калібрована дільниця між детекторами)



Рисунок 7б – Загальний вид (Камери прийому та запуску кулі)



Рисунок 7в – Загальний вид (Детектори проходу кулі)



Рисунок 7г – Загальний вид (Детектори проходу кулі)



Рисунок 7в – Загальний вид (Чотирьохходовий кран)

ТПУ є установкою з контролем протікання чотирьохходовим краном, кульовим поліуретановим поршнем, каліброваної ділянки з внутрішнім полімерним покриттям. Калібрована ділянка виготовлена з труб і відводів каліброваних по внутрішньому діаметру. Калібрована ділянка обмежена детекторами, які фіксують проходження кульового поршня.

Внутрішня поверхня установки ретельно очищається і покривається тонким шаром спеціальної синтетичної смоли для захисту від корозії і зменшення тертя при русі кулі.

В ході перевірки перетворювача витрати (далі ПР), кульовий поршень, що знаходиться всередині пускової камери, починає рух в напрямку протилежної камери запуску. Потрапляючи в розгінний ділянку ТПУ,

кульовий поршень повністю перекриває внутрішній перетин ТПУ і рухається разом з рідиною з однією і тією ж швидкістю.

Техніка безперервної повірки витратоміра здійснюється шляхом відводу рідини до допоміжної петлі трубопроводу певної довжини, в якій встановлено кулю з поліуретану, та який силою потоку рідини проходить повз чотирьох датчиків проходу кулі. За допомогою датчиків проходу кулі спрацьовують вимикачі, які запускають та зупиняють лічильник, який підключений до випробувального витратоміра. Об'єм каліброваної частини трубопроводу між датчиками проходу кулі має точне значення. Звірянням його зі значенням на лічильнику витратоміра можливо визначити калібрувальний коефіцієнт при нормальних робочих умовах.

Далі поршень потрапляє в протилежну камеру ТПУ і залишається там до тих пір, поки не зміниться становище чотирьохходового крана, що викликає зміну напрямку потоку рідини всередині ТПУ на протилежний. Кульовий поршень захоплюється потоком і процес вимірювань повторюється знову.

1.4 Висновок

Отже ТПУ має складність конструкції та експлуатації. Від її метрологічних характеристик залежить надійність системи обліку і контролю використання природних ресурсів, тому актуальним завданням є підвищення достовірності та повторюваності вимірювання на основі вивчення і вдосконалення нормативної бази.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИМОГ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ АБО ПІДТВЕРДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТПУ

2.1 Дослідження нормативних документів

Дослідження національних нормативних документів щодо застосування або підтвердження метрологічних характеристик ТПУ наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Національні нормативні документи

№ з/п	Позначення	Назва	Стан документа
1.	Закон України від 05.06.2014 р. № 1314 – VII [4]	Про метрологію та метрологічну діяльність	Чинний
2.	Постанова КМУ від 04.06.2015 р. № 374 [2]	Про затвердження переліку категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці	Чинний
3.	Наказ Мінекономрозвитку України від 08.02.2016 № 193 [5]	Про затвердження Порядку проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, та оформлення її результатів	Чинний
4.	Постанова КМУ від 24.02.2016 р. № 163 [6]	Про затвердження Технічного регламенту засобів вимірювальної техніки	Чинний
5.	Наказ Мінекономрозвитку України від 10.08.2020 № 1518 [7]	Про затвердження Порядку калібрування вторинних та робочих еталонів	Чинний
6.	ДСТУ 3537:2011 [8]	Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань об'єму рідини.	Чинний
7.	РД 39-5-1253-85 [9]	Правила обслуговування систем вимірювання кількості нафти і трубопоршневих установок.	Чинний
8.	Р 81/24.99 1999 [10]	Рекомендація. Метрологія. Установки трубопоршневі. Типова методика поверки установками на базі весов ОГВ или мерників.	Чинний
9.	МК 31570412-001:2018 [11]	Методика калібрування. Установки трубопоршневі. Методика калібрування за допомогою мірника. Метод прямих вимірювань	Чинний. Є власністю ДП «І.Франківськ-стандарт-метрологія»

Дослідження вимог нормативних документів РФ щодо застосування або підтвердження метрологічних характеристик ТПУ наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Нормативні документи РФ

№ з/п	Позначення	Назва	Стан документа
1	МИ 1972 - 95	Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Установки поверочные трубопоршневые. Методика поверки поверочными установками на базе весов ОГВ или мерников.	Чинний
2	МИ 3209-2009	Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Установки поверочные трубопоршневые. Методика поверки с помощью поверочной установки на базе эталонных мерников.	Чинний
3	МП 0481-1-2016	Инструкция. Государственная система обеспечения единства измерений Установка поверочная трубопоршневая ТПУ ИНКОМСИСТЕМ. Методика поверки.	Чинний
4	ГОСТ 8.510-2002.	Государственная поверочная схема для средств измерений объема и массы жидкости	Чинний, не діє на міждержавн ому рівні

Окрім наведених у таблиці 2.1 документів щодо застосування або підтвердження метрологічних характеристик ТПУ існує міждержавний стандарт ГОСТ 8.510-2002 «Государственная поверочная схема для средств измерений объема и массы жидкости», але він не чинний в Україні.

Дослідження вимог міжнародних нормативних документів щодо застосування або підтвердження метрологічних характеристик ТПУ не виявило таких.

Наведений у таблиці 2.1 Технічний регламент [6], засобів виміральної техніки, розроблений на основі Директиви 2014/32/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 26.02.2014 р. набрав чинності з

24.02.2016 р. [29]. Дія цього Технічного регламенту засобів вимірюваної техніки поширюється на такі категорії засобів вимірювальної техніки (далі – ЗВТ), що стосуються лише: лічильників води; лічильників газу та пристроїв перетворення об'єму; лічильників активної електричної енергії; теплотічильників; вимірювальних систем для безперервного і динамічного вимірювання кількості рідин, крім води; автоматичних зважувальних приладів; таксометрів; матеріальних мір; приладів для вимірювання розмірів; аналізаторів відпрацьованих газів.

Прийняття Закону України "Про метрологію та метрологічну діяльність" від 05.06.2014 р. № 1314-VII [4] у новій редакції спрямоване на імплементацію українського законодавства до європейських стандартів та гармонізацію основних понять у сфері метрології з міжнародним словником. Положення Закону викладено згідно з вимогами Директиви Міжнародної організації законодавчої метрології OIML D1 [30] "Розгляд закону про метрологію". Закон передбачає такі види метрологічної діяльності:

- перевірку законодавчо регульованих ЗВТ, які перебувають в експлуатації;
- оцінку відповідності ЗВТ вимогам технічних регламентів;
- калібрування ЗВТ.

Згідно Постанови КМУ від 04.06.2015 р. № 374 [2] законодавчо регульована сфера обмежується лише 80 категоріями ЗВТ, які застосовуються у найбільш соціально критичних сферах суспільного життя, та підлягають періодичній повірці.

Законом [4] не віднесено до сфери законодавчого регулювання такої важливої, але специфічної категорії ЗВТ, як еталони. Закон [4] регламентує визначення еталона у загальному сенсі: «еталон – реалізація визначення певної величини із встановленим значенням величини та пов'язаною з ним невизначеністю вимірювання, що використовується як основа для порівняння».

Законодавство не передбачає повірки еталонів. Це впливає із визначення повірки, її сенсу та форм представлення і застосування результатів. Еталони будь-якої точності повинні піддаватися калібруванню. Суть калібрування полягає у визначенні характеристик, з цією метою проводиться порівняння з відповідним еталоном, а не у встановленні придатності до використання ЗВТ.

Це знайшло відображення у нормативно правовому акті «Порядок проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, та оформлення її результатів», затвердженому наказом Міністерства економічного розвитку і торгівлі України № 193 від 08.02.2016 р. [5]: «Для еталонів, які застосовують під час проведення повірки, обов'язково наводяться граничні значення невизначеностей вимірювань, які повинні забезпечувати ці еталони. Співвідношення між невизначеністю вимірювань, що забезпечує еталон, та максимально допустимою похибкою ЗВТ, що підлягає повірці, становить не менше ніж один до трьох».

Згідно Порядку калібрування вторинних та робочих еталонів [7] п.4 р. II «Калібрування робочих еталонів проводиться згідно з методиками калібрування, які містяться в національних стандартах або розроблені виконавцями з урахуванням національних стандартів, гармонізованих з відповідними міжнародними та європейськими стандартами, та документів, прийнятих міжнародними та регіональними організаціями з метрології.»

2.2 Висновок

Таким чином, на разі є науково-практична проблема щодо забезпечення достовірного контролю за вимірюванням об'єму поза законодавчо-регульованої сфери, вирішення якої дозволить проводити контроль за вимірюванням об'єму засобами вимірювальної техніки, які знаходяться в експлуатації та в законодавчо-регульованій сфері та захистити права споживачів.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ КАЛІБРУВАННЯ УСТАНОВОК ТРУБОПОРШНЕВИХ

3.1 Дослідження процедури повірки установки трубопоршневої

Дослідження процедури повірки установки трубопоршневої проводилося для діючої установки, що перебуває в експлуатації.

При дослідженні процедури повірки було розглянуто вимоги згідно Р81/24.99 – 1999 «Рекомендація. Метрологія. Установки трубопоршневіе. Типовая методика поверки установками на базе весов ОГВ или мерников» [10].

При проведенні повірки ТПУ в залежності від методу визначення місткості, що використовується, застосовують різні набори засобів перевірки. Метод визначення місткості ТПУ заснований на тому, що воду, що витісняється з ТПУ при русі поршня каліброваною ділянкою від одного детектора до іншого, направляють в спеціальну накопичувальну ємність і вимірюють її обсяг. Воду з ТПУ направляють в ємність або за допомогою перемикача потоку, керованого сигналами детекторів або зупиняючи поршень шляхом перекриття потоку: зупинивши поршень на першому детекторі, вихід ТПУ з'єднують з ємністю, потім, витіснивши воду з ділянки, що вимірюється в ємність, зупиняють поршень на другому детекторі. Об'єм води вимірюють, зливаючи її з накопичувальної ємності, непрямым (за допомогою ваг та ареометрів) або прямим методом (мірником).

Об'єм води можна виміряти без накопичувальної ємності, безпосередньо спрямовуючи потік води в мірник, зупиняючи поршень в ділянці, що вимірюється після кожного заповнення мірника і без зупинки поршня.

Встановлено такі методи та засоби повірки ТПУ, як:

1. повірочною установкою на базі ваг ОГВ з накопичувальною ємністю та перемикачем потоку;
2. повірочною установкою на базі мірників з накопичувальною ємністю та перемикачем потоку;
3. повірочною установкою на базі ваг ОГВ або мірників з накопичувальною ємністю із зупинкою поршня;
4. повірочною установкою на базі мірників із зупинкою поршня (без накопичувальної ємності);
5. повірочною установкою на базі мірників без зупинки поршня та без накопичувальної ємності;
6. (компакт - прuvera) перевірочною установкою на базі мірників без зупинки поршня та без накопичувальної ємності

Заводом – виробником була передбачена необхідність таких повірочних установок, яка і була збудована на місці експлуатації ТПУ. (рис. 8а, 8 б, 8в, 8г, 8д. ТПУ. Загальний вид).

До її складу входять:

- мірник типу М1Р – 1000, ємністю 1000 л, шкала від 984 л до 1009 л, ціна поділки 0,2 л. Розширена невизначеність 0,2 л, 1 – й розряд;
- ваги типу Д400, діапазон вимірювання від 100 до 1500 кг. Розширена невизначеність 0,05 кг.



Рисунок 8а – ТПУ. Загальний вид



Рисунок 8б – ТПУ. Загальний вид.



Рисунок 8в – ТПУ. Загальний вид



Рисунок 8г – ТПУ. Загальний вид



Рисунок 8д – ТПУ. Загальний вид. Мірник еталонний

З урахуванням наявної комплектації ТПУ та забезпеченістю еталонним обладнанням вибираємо метод з повірочною установкою на базі мірників із зупинкою поршня (з накопичувальною ємністю).

Перед проведенням повірки повинні бути проведені такі підготовчі роботи: перевірка наявності свідоцтв про повірку засобів повірки або відбитків повірочних тавр на них; перевірка значення діаметра і стан поверхні (ступеня зносу) кульових поршнів ТПУ, що повіряється, відповідно до експлуатаційної документації; перевірка правильності монтажу та з'єднань ТПУ, засобів повірки та допоміжного обладнання відповідно до експлуатаційної документації на ТПУ та засоби повірки; перевірка герметичності ТПУ, з'єднувальних трубопроводів та засувок. Перевірку здійснюють зовнішнім оглядом при вибраному значенні повірочної витрати та тиску на виході ТПУ не менше 0,1 МПа.

При зовнішньому огляді має бути встановлена відповідність ТПУ, що повіряється, наступним вимогам:

- комплектність повинна відповідати зазначеній у паспорті;
- на ТПУ не повинно бути механічних пошкоджень та дефектів покриттів, що погіршують зовнішній вигляд;
- написи та позначення повинні бути чіткими та відповідати наведеним у паспорті.

3.1.1 Основні розділи методики повірки ТПУ

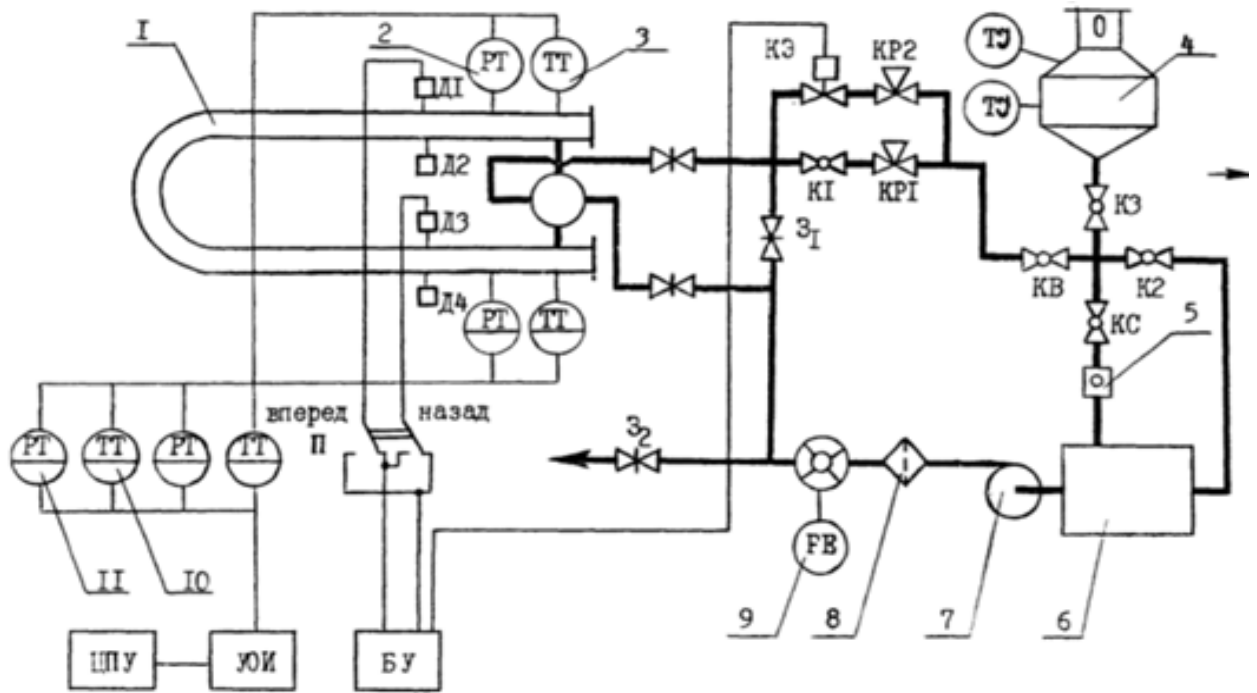
1) В Розділі «Опробування» при перевірці перевіроочними установками на базі мірників із зупинкою поршня проводять наступним чином.

Вода подається в мірник знизу. Місткість ємності-сховища перевищує не менше ніж у (1,2 - 1,5) рази максимальну місткість ТПУ, що повіряється.

Перевіряють вручну з блоку управління клапан КЕ, кілька разів закривши та відкривши його. Опробують крани К1, КВ, КС, К2. Відкривають крани К1, КР1, КВ, К2 та клапан КЕ, встановлюють витрату води та запускають поршень ТПУ. Функціональна схема установки ТПУ зображена на рисунку 9.

При підході поршня до першого детектора клапан КЕ повинен закритися та поршень повинен зупинитися. Відкривають клапан КЕ, кран К1 і проганяють поршень каліброваною ділянкою. Опробування вважається пройденим, якщо при підході поршня до другого детектор клапан КЕ знову повинен закритися.

Для так як наша установка двобічна, то описані вище операції виконують під час руху поршня в зворотному напрямку.



- 1 – ТПУ
 2,3 – датчики тиску та температури;
 4 – мірник;
 5 – оглядове скло;
 6 – ємність для зберігання рідини;
 7 – насос;
 8 – фільтр;
 9 – витратомір;
 10,11 – вторичні прилади тиску та температури;

- П – перемикач блоку управління;
 К1 – К3 – крани запірні;
 КС – кран зливний;
 КЭ – клапан електромагнітний;
 КР1, КР2 – крани регульовальні;
 УОИ – прилад обробки інформації;
 ЦПУ – принтер;
 БУ – блок управління.

Рисунок 9 – Функціональна схема при повірці установки ТПУ.

2) В Розділі «Визначення метрологічних характеристик» : визначають місткість ТПУ, приведену до нормальних умов (температурі 20 °С, абсолютний тиск 101,3 кПа).

Для двобічної ТПУ визначаємо сумарну місткість, що відповідає рухам поршня «ВПЕРЕД» та «НАЗАД». Для двобічної ТПУ визначаємо місткість окремо для кожного напрямку руху поршня «ВПЕРЕД» та «НАЗАД».

Для дослідної ТПУ з двома парами детекторів, місткість визначатимемо кожної пари детекторів.

Місткість ТПУ визначають у наступній послідовності.

Встановлюють перевірочну витрату води $Q_{н1}$ через повірочну ТПУ, при відкритих кранах К1, КВ, К2, регулюючи витрату за допомогою крана КР1. Значення витрати контролюємо за вказівником витрати. Після встановлення витрати кран КР1 залишають у цьому положенні до кінця повірки.

Закривають кран К1, відкривають КЕ і встановлюють значення витрати $Q_{мін}$, регулюючи витрату краном КР2, після чого залишають кран КР2 в даному положенні до кінця повірки.

Значення перевірочної витрати рідини при повірці ТПУ перевірочними установками на базі мірників із зупинкою поршня, наведено в таблиці 2.1.

У другій графі таблиці 2.1 наведено $Q_{мін}$ – найменше значення витрати, з яким поршень повинен підводитись до детектора перед його зупинкою.

У третій та четвертій графах наведено діапазони значень витрат $Q_{н1}$ та $Q_{н2}$.

Таблиця 2.1 – Значення повірочних витрат

Умовний діаметр труб каліброваної ділянки, мм	$Q_{мін}$, м ³ /год.	$Q_{н1}$, м ³ /год.	$Q_{н2}$, м ³ /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

При відкритих кранах К1, КВ і закритому КЕ запускають поршень ТПУ, при підході поршня до першого детектора (орієнтовно за 0,5 хв.) закривають кран К1, відкривають КЕ. Після спрацювання детектора та закриття клапана КЕ відразу закривають кран КВ. Зливають воду з накопичувальної ємності і, витримавши 2 хв., Закривають крани КС і К2. Зливають воду з мірника і закривають його зливальний кран після витримки протягом 1 хв.

Відкривають кран KB та K1 і направляють воду в накопичувальну ємність. При підході поршня до другого детектора закривають кран K1 та відкривають KE. Після закриття клапана KE одразу закривають кран KB.

Фіксують температуру рідини та тиску на вході та виході ТПУ. Температуру (тиск) на вході та виході приймають рівними середньому значенню двох вимірів - після відкриття крана KB та після його закриття. Різниця показань термометрів на вході та виході ТПУ не повинна перевищувати 0,2 °С. При використанні термометрів та манометрів з візуальним відліком допускається фіксувати температуру та тиск один раз у процесі проходження поршня.

Вибирають місткість мірника, виходячи з місткості ТПУ, що перевіряється, щоб при вимірюванні об'єму води отримати найменше ціле число заповнень мірника. Допускається застосовувати мірники різної місткості. Якщо мірник має шкалу на горловині, то попередньо визначають об'єм води, який потрібно наливати, щоб за всіх вимірювань рівень води знаходився в межах шкали.

Наливають у мірник з накопичувальної ємності певний обсяг води. Якщо мірник немає шкали, його заповнюють до позначки номінальної місткості.

При повірці двобічної ТПУ, описані вище операції проводять при обох напрямках руху поршня.

Після проходження поршня каліброваної ділянки в одному напрямку та проведення вимірювань відкривають крани K1, KB, K2 і просувають поршень далі до приймальної камери, після чого змінюють напрямок руху.

Визначають місткість ТПУ в умовах перевірки при використанні мірника за формулою 1, прийнявши $K_T = 1$.

Операції проводять десять разів, по п'ять вимірів кожної місткості.

$$V = K_T \times \sum_{j=1}^r V_{ij}; j = 1 \dots r \quad (2.1)$$

Для двобічної ТПУ:

$$V_i = V_{i(1-2)} + V_{i(2-1)} \text{ та } V_i = V_{i(1-3)} + V_{i(3-1)} \quad (2.2)$$

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} \quad (2.3)$$

Значення ємності ТПУ при стандартних умовах:

$$V_o = \bar{V} \cdot K_{\text{трм}} \quad (2.4)$$

де $K_{\text{трм}}$ – значення коефіцієнта з урахуванням температури та тиску води на ємність ТПУ та об'єм води в ТПУ:

$$K_{\text{трм}} = 1 + \beta(t_y - t_{\text{ом}}) - 3\alpha_T(t_y - 20) + 3\alpha_M(t_{\text{ом}} - 20) - FP_y - \frac{0,95}{E} \cdot \frac{D}{S} \cdot P_y \quad (2.5)$$

де β – коефіцієнт об'ємного розширення рідини, $1/^\circ\text{C}$ [17];

при 10°C $\beta = 0,00027, 1/^\circ\text{C}$,

при 20°C $\beta = 0,00177, 1/^\circ\text{C}$,

при 30°C $\beta = 0,00435, 1/^\circ\text{C}$.

α_T - коефіцієнт лінійного розширення матеріалу стінок ТПУ;

α_M - коефіцієнт лінійного розширення матеріалу мірнику.

F - коефіцієнт стисливості рідини, $1/\text{МПа}$;

P_y - середній тиск у ТПУ за один вимір, МПа;

D - внутрішній діаметр каліброваної ділянки ТПУ, мм;

E - модуль пружності матеріалу стін ТПУ, МПа;

S - товщина стінок ТПУ, мм.

Коефіцієнт Стюдента при довірчій вірогідності 0,99 при 10 вимірах становить 3,25.

З урахуванням того, що для ТПУ виробництва СФРЮ

- 1) $a_T = a_M = 11,2 \times 10^{-6}, \text{ } ^\circ\text{C};$
- 2) За час проведення одного вимірювання об'єму температура рідини в ТПУ та мірнику була однаковою.

$$K_{t_{p.m}} = 1 - FP_y - \frac{0,95}{E} \cdot \frac{D}{S} \cdot P_y \quad (2.6)$$

- 3) В Розділі «Визначення середнього квадратичного відхилення випадкової складової похибки» (надалі - СКО) випадкової складової похибки визначають за формулою:

$$S_o(\Delta) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_{oi} - V_o)^2}{n-1}} \cdot \frac{100}{V_o}, \quad (2.7)$$

де $V_o = \frac{\sum_{i=1}^n V_{oi}}{n}$, та повинна дотримуватися умова:

$S_o(\Delta) \leq 0,015\%$ - для ТПУ 1-го розряду;

$S_o(\Delta) \leq 0,03\%$ - для ТПУ 2-го розряду.

- 4) В Розділі «Визначення межі сумарної систематичної складової похибки» межу визначають за формулою:

$$\Theta_{\Sigma o} = K \sqrt{\Theta_M^2 + \Theta_t^2} \quad (2.8)$$

Приймають: $\Theta_{\Sigma o} = 0,024\%$ при значеннях $\Theta_M = 0,02\%; \Theta_t = 0,0073\%$.

Значення Θ_t обчислено для похибки термометрів $\pm 0,2 \text{ } ^\circ\text{C}$

- 5) В Розділі «Визначення відносної похибки» розрахунок відносної похибки ТПУ проводять за формулою:

$$\delta_o = 1,1 \left[\Theta_{\Sigma o} + t_{0,99} \cdot S_o(\bar{V}_o) \right] \quad (2.9)$$

Повинна дотримуватися умова:

$$\Delta_o \leq \Delta_p \quad (2.10)$$

Приймають: $\delta_p = 0,05\%$ - для ТПУ 1-го розряду (2.11)

$\delta_p = 0,10\%$ - для ТПУ 2-го розряду (2.12)

6) В Розділі «Перевірка відсутності протікання» встановлюють менше значення витрати $Q_{н2}$, вибране для перевірки відсутності протікання, і отримують три вимірювання місткості ТПУ. Визначають за формулами 1 - 3 середнє значення місткості ТПУ за отриманими вимірюваннями - $V_{оп}$ та відносне відхилення місткості при різних витратах.

$$\Delta_{np} = \frac{V_{оп} - V_o}{V_o} \cdot 100, \% \quad (2.13)$$

Повинна виконуватися умова $|\Delta_{np}| \leq 0,35\Delta_p$.

Якщо $\Delta_{np} > 0$ та $|\Delta_{np}| > 0,35\Delta_p$, це свідчить про наявність протікання та необхідність їх усунення.

Якщо $\Delta_{np} < 0$ и $|\Delta_{np}| > 0,35\Delta_p$, це свідчить про те, що у вимірах допущені помилки. Необхідно попередньо проаналізувати можливі причини помилок (неправильне вимірювання температури, об'єму рідини в мірниках тощо) та повторити вимірювання.

Якщо при вибраному значенні витрати води $Q_{н2}$ поршень не входить в калібровану ділянку, то допускається збільшити витрату перед запуском поршня з доведенням його до $Q_{н2}$ до підходу поршня до першого детектора.

7) В Розділі «Визначення відносного відхилення місткості ТПУ від значення результату за попередньої перевірки» визначають за формулою:

$$\Delta_{oo} = \frac{V_o - V_{onn}}{V_{onn}} \cdot 100, \% \quad (2.14)$$

Повинні дотримуватися умови:

$|\Delta_{oo}| \leq 0,6\Delta_p$ - для ТПУ, забезпечених взаємозамінними детекторами, тобто, заміна детекторів не впливає на місткість;

$|\Delta_{oo}| \leq \Delta_p$ - для всіх других ТПУ.

Результат обробки експериментальних даних по повірці ТПУ наведений в Додатку І.

Відносна похибка – є основною похибкою ТПУ, яка характеризує установку. Але згідно п.6 «Порядку проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, та оформлення її результатів» [5] для еталонів, які застосовують під час проведення повірки, обов'язково наводяться граничні значення невизначеностей вимірювань, які повинні забезпечувати ці еталони.

3.2 Дослідження основних вимог до побудови та змісту методик калібрування

Основні вимоги до побудови, викладу, оформлення та змісту методики калібрування встановлені в COOMET/R/GM/31:2016 [24] а саме:

3.2.1 Титульний лист Методики калібрування

Титульний лист може містити:

- розгорнуте позначення Національного метрологічного інститута, або наукового інституту;
- стверджуючий підпис відповідальної особи;
- найменування та умовне позначення типу каліброваного засобу вимірювань та найменування об'єкта регламентації «Методика калібрування»;
- ідентифікуюче позначення методики.

3.2.2 Вступ

У розділі «Вступ» вказується:

- сфера застосування;
- призначення методики калібрування;
- метод проведення калібрування;
- групи каліброваних ЗВТ;
- посилання на міжнародні та національні нормативні документи, які використані при розробці даної методики калібрування.

3.2.3 Основні розділи методики калібрування

1) Розділ «Операції калібрування» містить перелік найменувань операцій, що проводяться при його виконанні. Операції вказують у вигляді переліку.

2) Розділ «Засоби калібрування» містить перелік основних та допоміжних засобів калібрування, стандартних зразків, обладнання та матеріалів, для яких вказують позначення нормативних документів, що регламентують метрологічні та основні технічні характеристики цих засобів.

3) Розділ «Вимоги до кваліфікації виконавців» містить відомості про рівень кваліфікації (професії, освіти, практичного досвіду тощо) цих осіб.

4) Розділ «Вимоги безпеки» містить вимоги, що забезпечують при проведенні калібрування безпеку праці, виробничу санітарію, охорону навколишнього середовища.

5) Розділ «Умови калібрування» містить перелік величин, що впливають на метрологічні характеристики засобів вимірювань, що калібруються, із зазначенням номінальних та допустимих відхилень значень.

6) Розділ «Експлуатація об'єкта калібрування» містить опис процедур щодо нанесення ідентифікаційних знаків на об'єкт калібрування при отриманні його від замовника, вимоги щодо його транспортування та зберігання.

7) Розділ «Підготовка до калібрування» містить перелік робіт, які проводять передкалібруванням, та способи їх виконання.

8) Розділ «Проведення калібрування» містить підрозділи:

- зовнішній огляд: містить перелік вимог до каліброваних засобів вимірювань у частині комплектності та зовнішнього вигляду;
- опробування: містить перелік та опис операцій, які необхідно провести для перевірки працездатності каліброваного засобу вимірювань і дії та взаємодії його окремих частин і елементів.;
- визначення метрологічних характеристик: містить опис операцій, зазначених у розділі «Операції калібрування», та встановлює найбільш раціональні методи визначення метрологічних характеристик каліброваного засобу вимірювань.

9) Розділ «Обробка результатів вимірювань та обчислення невизначеності вимірювань при калібруванні» включає опис алгоритму визначення розширеної невизначеності результатів вимірювань при калібруванні.

10) Розділ «Оформлення результатів калібрування» містить вимоги до оформлення її результатів.

3.3 Розроблення методики калібрування трубопоршневої установки

У результаті досліджень запропоновано методику калібрування МК.РУ.ХХ.0ХХ:2021 «Метрологія. Установки еталонні трубопоршневі. Методика калібрування», яка поширюється на установки еталонні трубопоршневі (далі – установка) типу 550-64-40, що відповідають експлуатаційній документації на них та встановлює зміст і порядок їх калібрування. Методика призначена для проведення ДП «Сумистандартметрологія» калібрування ТПУ 550-64-40, що використовується для повірки витратомірів в складі комерційного вузла обліку нафти №75 Качанівського ГПЗ ПАТ «Укрнафта». У разі використання цієї методики для калібрування інших установок, за особливими вимогами замовника (в окремих точках діапазону, в спеціальних умовах експлуатації тощо), потрібно провести додаткове оцінювання її придатності.

Оскільки запропонована методика актом впроваджена на ДП «Сумистандартметрологія», у цьому розділі наводиться зміст методики та основні наукові результати.

Зміст методики містить розділи:

- 1 Сфера застосування
- 2 Скорочення та позначення
- 3 Нормативні посилання
- 4 Операції калібрування
- 5 Засоби калібрування
- 6 Вимоги безпеки
- 7 Умови проведення калібрування
- 8 Вимоги до персоналу
- 9 Підготовка до калібрування
- 10 Проведення калібрування
- 11 Оцінювання невизначеностей вимірювань
- 12 Встановлення простежуваності
- 13 Оформлення результатів калібрування
- 14 Періодичність калібрування

У разі використання цієї методики для калібрування інших установок, за особливими вимогами замовника (в окремих точках діапазону, в спеціальних умовах експлуатації тощо), потрібно провести додаткове оцінювання її придатності згідно Пр 20 [27] з реєстрацією результатів у Додатку В.

При використанні запропонованої методики є вимога застосовування наступних документів:

- настанова щодо експлуатування установки, що підлягає калібруванню;
- настанови щодо експлуатування еталонного та допоміжного обладнання, що використовуються при калібруванні установки;
- свідоцтва про калібрування еталонів;

- інструкція з охорони праці [19, 21].

Примітка. При проведенні калібрування установок використовуються інформаційні відомості, наведені в бібліографії [1-32].

Окрім зазначених у розділі 2 нормативних документів, у методиці є посилання на такі нормативні документи:

а) ДСТУ 2681-94 Метрологія. Терміни та визначення [9];

б) ГОСТ 2874-82 Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством [28];

в) ДСТУ ISO/IEC 17025:2017. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій[18].

г) Пр 20-2016 Оцінювання придатності методик калібрування[27].

д) Пр 22-2016 Калібрування засобів вимірювальної техніки[26].

При проведенні калібрування мають бути виконані наступні операції:

1 Зовнішній огляд

2 Перевірка функціонування

3 Визначення метрологічних характеристик

4 Оцінювання невизначеностей вимірювань

5 Встановлення простежуваності вимірювань

6 Оформлення результатів калібрування

Для проведення калібрування установки вимагаються засоби калібрування: ваги еталонні типу Д-400 (в складі ТПУ); мірник еталонний спеціальний (в складі ТПУ); мірник еталонний ДСТУ 7218; манометри А63 (в складі ТПУ); термометри (в складі ТПУ); секундомір СОПр-2а-2-010; гігрометр психрометричний ВИТ-1.

Допускається застосування інших засобів калібрування, метрологічні характеристики яких відповідають вимогам цієї методики.

Еталони та ЗВТ, що застосовуються для калібрування, повинні бути відкалібровані. Допускається використовувати ЗВТ, які пройшли повірку. У цьому випадку відповідну складову невизначеності калібрування потрібно оцінювати за

типом В згідно ЕА 4/02 [20] на основі встановленої похибки ЗВТ з посиланням на НД, що регламентує повірочну схему, для встановлення простежуваності.

При проведенні калібрування установки потрібно дотримуватися вимог безпеки, встановлених в ЕД на установки та в ЕД на еталонне обладнання та ЗВТ, а також в розділі 3 Р081/24.99, а також вимог безпеки, встановлених в інструкції з охорони праці на робочому місці. Додаткові вимоги може встановлювати замовник.

У розділі 7 методики визначені умови проведення калібрування, до яких відноситься температура повітря, відносна вологість повітря; рідина для калібрування – вода питна за ГОСТ 2874, з температурою $(293 \pm 5) \text{ K}$ ($(20 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$). Допускається використання води з підземних джерел з зазначеною мутністю.

Розділ 8 методики висуває вимоги до персоналу. До проведення калібрування допускаються атестовані працівники, що пройшли навчання щодо вимог ДСТУ ISO/IEC 17025, мають практичний досвід в розрахунку невизначеностей і забезпеченні простежуваності при калібруванні, ознайомлені з ЕД на установку, мають досвід роботи на ньому та ознайомлені з цією методикою.

Розділ 9 методики висуває вимоги до підготовки до калібрування. Однією з вимог є витримка ТПУ при незмінних зовнішніх умовах не менше 2 годин.

Розділ 10 методики регламентує вимоги до проведення калібрування.

Першим етапом є проведення зовнішнього огляду: встановлення відповідності вимогам, перевірка маркування, виявлення дефектів, пошкоджень тощо.

Наступний етап – перевірка функціонування. Результат перевірки функціонування вважається позитивним у разі, якщо установка відповідають вимогам п. 10.2.1 запропонованої методики з урахуванням вимог замовника.

Третій етап – визначення метрологічних характеристик

Визначення метрологічних характеристик установки здійснюється відповідно до вимог п. 6.3.4.1 Р081/24.99 (визначення місткості установки за допомогою мірників із зупинкою поршня без накопичувального резервуара) з урахуванням вимог замовника.

У розділі 11 наведено процедуру оцінювання невизначеностей вимірювань.

Оцінювання невизначеностей вимірювань при калібруванні установки здійснюється відповідно до вимог ЕА 4/02 (Приклад наведений в додатку Г).

Для побудови модельного рівняння необхідно ідентифікувати основні (істотні) джерела невизначеності вимірювання об'єму рідини установками V_i . З урахуванням цих джерел модельне рівняння набуде вигляду:

$$V_i = V_o + \Delta_e + \Delta_d + \Delta_o + \Delta_s + \Delta_v, \quad (3.1)$$

де V_o – покази еталону;

Δ_e – складова, обумовлена розширеною невизначеністю еталону;

Δ_d – складова, обумовлена дрейфом метрологічних характеристик еталону;

Δ_o – складові, обумовлені похибкою зчитування показів установки та еталону оператором;

Δ_s – складова, обумовлена впливом випадкових факторів;

Δ_v – складова, обумовлена перетоками рідини крізь ущільнення сфери.

Розширена невизначеність U_e еталона вказана у свідоцтві (сертифікаті) калібрування еталона разом із значення коефіцієнту охоплення k ($k = 2$). Складова невизначеності еталону, що враховується в бюджеті невизначеностей u_e , оцінюється за формулою:

$$u_e = \frac{U_e}{k} \quad (3.2)$$

Розширена невизначеність u_d , обумовлена дрейфом метрологічних характеристик еталону, оцінюється за формулою (за типом В, рівномірний закон розподілу):

$$u_d = \frac{\Delta V_m \cdot \Delta \tau}{T \cdot \sqrt{3}}, \quad (3.3)$$

де ΔV_m – зміна метрологічної характеристики еталону (мірника) за попередній міжкалібрувальний інтервал T ;

$\Delta\tau$ – інтервал часу, що пройшов з моменту останнього калібрування.

Оцінювання невизначеності, обумовленої похибкою зчитування показів оператором

Оператор може зчитати покази ЗВТ з точністю, що відповідає значенню одиниці найменшого розряду (значенню поділки шкали) d . Для цифрових індикаторів похибкою зчитування показів будемо вважати половину одиниці найменшого розряду. Для аналогових шкал похибка зчитування показів залежить від типу ЗВТ та кваліфікації оператора і може складати від половини до десятої частки поділки шкали. Складова невизначеності, обумовленої точністю зчитування показів u_o , дорівнює (за типом В, рівномірний закон розподілу):

$$u_o = \frac{d}{m \cdot \sqrt{3}}, \quad (3.4)$$

де m – частка поділки шкали, що розрізняє оператор ($m = 2$ для цифрових індикаторів).

Для оцінки невизначеності вимірювання u_s , обумовленої вкладом випадкових факторів, має бути проведено n повторних вимірювань величини одним і тим же повірником в одних і тих же умовах, за результатами яких отримаємо статистичну оцінку середнього квадратичного відхилення (СКВ) середнього арифметичного значення результату вимірювання \bar{V} , яка оцінюється за формулою (за типом А, нормальний закон розподілу):

$$СКВ = u_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2}{n \cdot (n-1)}} \quad (3.5)$$

Примітка. Кількість повторних вимірювань має бути не менше трьох.

Для оцінки невизначеності вимірювання, обумовленої перетоками рідини крізь ущільнення установки, проводимо операції, викладені у п 6.4 Р81/24.99 та визначаємо відносне відхилення місткості установки Δ_{np} .

Враховуючи нормальний закон розподілу невизначеність вимірювання, обумовлена перетоками рідини крізь ущільнення установки u_v , оцінюється за формулою:

$$u_v = \frac{\Delta_{np}}{2} \quad (3.6)$$

Примітка. Якщо значення похибок та невизначеностей надані у відносній (зведеної) формі δ (γ), у відсотках, або класу точності ($Kл$) для оцінювання відповідних складових їх потрібно привести в абсолютну форму Δ (у значеннях вимірюваної величини) за формулами:

$$\Delta = \frac{\delta(\gamma) \times V(V_g)}{100}, \quad (3.7)$$

де V – значення вимірюваної величини для відносної похибки;

V_g – нормоване значення величини (верхня границя вимірювання ЗВТ) для зведеної похибки або класу точності.

Метод вимірювання при калібруванні передбачає проведення прямих вимірювань. Відповідно, значення всіх коефіцієнтів впливу C_i дорівнює одиниці.

Джерела невизначеностей є незалежними одне від одного, тому значення коефіцієнтів кореляції дорівнює нулю.

Складання бюджету невизначеностей відображено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Бюджет невизначеностей

Вхідна величина	Оцінка вхідної величини	Стандартна невизначеність	Розподіл ймовірностей	Коефіцієнт впливу	Внесок у невизначеність
V_o	X,XXX	u_s	Нормальний	C_s	$C_s \cdot u_s$
Δ_e	0	u_e	Нормальний	C_e	$C_e \cdot u_e$
Δ_d	0	u_d	Рівномірний	C_d	$C_d \cdot u_d$
Δ_o	0	u_o	Рівномірний	C_o	$C_o \cdot u_o$
Δ_v	0	u_v	Нормальний	C_v	$C_v \cdot u_v$
Вихідна	Оцінка вихідної	Стандартна сумарна	Довірча ймовірність	Коефіцієнт охоплення	Розширена

величина	величини,	невизначеність			невизначеність	
V_i	Y,YYU	$u(V) =$	$p =$	$k =$	$U(V) =$	
			Відхилення показів установки			
			$\Delta V =$			

Сумарна стандартна невизначеність вимірювання при калібруванні установка розраховується за формулою:

$$u(V) = \sqrt{(C_e \cdot u_e)^2 + (C_d \cdot u_d)^2 + (C_o \cdot u_o)^2 + (C_s \cdot u_s)^2 + (C_v \cdot u_v)^2} \quad (3.8)$$

Розширену невизначеність для довірчої ймовірності $p = 0,95$ оцінимо за формулою:

$$U(V) = k \cdot u(V), \quad (3.9)$$

де k – коефіцієнт охоплення при $p=0,95$.

Вид закону розподілу сумарної стандартної невизначеності визначається наступним чином:

- якщо серед складових невизначеностей немає визначальної за розміром, то закон розподілу сумарної невизначеності приймається нормальним ($k = 2$);

- якщо серед складових невизначеностей значення однієї суттєво перевищує значення решти, то закон розподілу сумарної невизначеності визначається законом розподілу суттєвої невизначеності.

Відносну розширену невизначеність оцінимо за формулою:

$$U(v) = \frac{U(V)}{V_i} \cdot 100 \quad (3.10)$$

Відхилення значення місткості установки від значення, отриманого при попередньому калібруванні оцінимо за формулою:

$$\Delta V = V_{np} - V_0 \quad (3.11)$$

Простежуваність вимірювань при калібруванні установки встановлюється згідно вимог Пр 22 в порядку, наведеному у Додатку Д.

Результати калібрування установка оформляються протоколом за формою Додатку Е.

При позитивних результатах калібрування оформляється свідоцтво про калібрування за формою Додатку Ж у відповідності з СООМЕТ/R/GM/15:2007 [32].

Міжповірочні інтервали законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації затверджені Наказом № 1747 [14].

Рекомендований міжкалібрувальний інтервал повинен відповідати інтервалу встановленому згідно Порядку калібрування вторинних та робочих еталонів [7].

Установка ТПУ є робочим еталоном, але не наведена в додатку до цього Порядку. Тому, згідно р. II, п. 6 «Робочі еталони необхідно калібрувати щорічно, крім робочих еталонів міжкалібрувальні інтервали яких наведено в додатку до цього Порядку. Таким чином, міжкалібрувальний інтервал установки становить один рік.

Примітка: Власник еталону за вимогами [18] несе особисту відповідальність за своєчасне надання еталону на калібрування, враховуючи результати попередніх калібрувань, інтенсивність і умови експлуатації еталону, стабільність його показів та ступінь ризику від використання недостовірних результатів вимірювань.

3.4 Висновок

В цьому розділі приведено результати розробки нормативного забезпечення калібрування ТПУ методом з повірочною установкою на базі мірників із зупинкою поршня. Проект нормативного документу МК.РУ.ХХ.0ХХ:2021 «Метрологія. Установки еталонні трубопоршневі. Методика калібрування», що розроблений для ДП «Сумистандартметрологія» у відповідності до його вимог, наведено в Додатку 3.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕДУРИ КАЛІБРУВАННЯ ТПУ

4.1 Експериментальні дані при проведенні калібрування ТПУ

Під час проходження переддипломної практики на ДП «Сумистандартметрологія» в 2021 р. було проведено експериментальне дослідження процедури калібрування двобічної стаціонарної трубопоршневої повірочної установки типу ТПУ – 550 – 64 – 40, зав № 7089, яка належить Качанівському ГПЗ ПАТ «Укрнафта».

При калібруванні застосовувалися еталони зазначені в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Еталони для калібрування

Назва рабочого еталону та ЗВТ, їх умовне позначення	Завод. №	Вид та числове значення метрологічних характеристик (діапазон, відхилення, невизначеність, клас точності, розряд)	Відомості про калібрування, номер та дата свідоцтва
Мірник еталоний	7216	1000 л, $U = 0,1013$ л	Відкалібрований ДП «Сумистандартметрологія», св. № 133 від 06.07.2021 р.
Мірник еталоний	1971	20 л, $U = 0,004$ л	Відкалібрований ДП «Сумистандартметрологія», св. № 134 від 06.07.2021 р.
Термометр лабораторний цифровий типу LT-300	898027	Мінус 30 – 300°C, $U = 0,08$ °C	Відкалібрований ДП «Сумистандартметрологія», св. № 2686 від 18.05.2021 р.
Гігрометр психрометрич ний типу ВИТ-2	С307	$W = (2 - 90) \%$, $U = 6,0 \%$; $T = (20-40) ^\circ\text{C}$, $U = 0,07$ °C	Відкалібрований ДП «Сумистандартметрологія», св. № 1765, від 25.07.2021 р.
Секудомір типу СОПр- 2а-3-000	5467	0 – 30 хв., $U = 0,2$ с	Відкалібрований ДП «Сумистандартметрологія», св. № 1094 від 11.09.2021 р.

Дані складання Бюджету невизначеності при вимірюванні місткості установки між детекторами ТПУ були використані експериментальні дані з

Протоколу повірки №1 та розрахунки з п.2.2.3. З урахуванням модельного рівняння (1) п.3.1 Бюджет невизначеностей мають вид відображений в таблицях 4.2 та 4.3 відповідно.

Таблиця 4.2 – Бюджет невизначеності при вимірюванні місткості установки між детекторами 1 – 3 – 1 ТПУ.

Вхідна величина	Значення вхідної величини, м ³	Стандартна невизначеність, л	Закон розподілу	Коефіцієнт впливу	Внесок в невизначеність, л	
V_0	5,75905	0,116034	Рівномірний	1	0,116034	
Δe		0,0515	Рівномірний	1	0,0515	
Δd		0,087757	Рівномірний	1	0,087757	
Δo		0,028868	Рівномірний	1	0,028868	
Δv		0,26167	Рівномірний	1	0,26167	
Вихідна величина	Оцінка вихідної величини, м ³	Стандартна сумарна невизначеність, $u(V)$, л	Довірча ймовірність	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність, $U(V)$, л	
V_{1-3-1}	5,75905	0,3052	0,95	2	0,61	
			Відхилення показників установки, м ³			
			$\Delta V = - 0,00304$			

де, $V_0(n)_{1-3-1} = 5,75905 \text{ м}^3$ – місткість ТПУ, приведена до нормальних умов;

0,116034 л – середнє квадратичне відхилення отримане для п'яти вимірювань об'єму;

0,0515 л – невизначеність вимірювання еталона згідно п. 11.2;

0,087757 л – невизначеність вимірювання, обумовлена дрейфом метрологічних характеристик еталону згідно п. 11.3;

0,028868 л – невизначеність вимірювання, обумовлена похибкою зчитування показів оператором згідно п. 11.4;

0,26167 л – невизначеність вимірювання, обумовлена перетоками рідини крізь ущільнення установки згідно п. 11.5

0,3052 л – стандартна сумарна невизначеність згідно п. 11.6;

0,61 л – розширена невизначеність згідно п. 11.7;

0,011% - відносна розширена невизначеність згідно п. 11.7;

мінус 0,00304 м³ - відхилення показників установки.

Результат калібрування місткості установки між детекторами 1 – 3 – 1 ТПУ маємо можливість записати в такому вигляді:

$$V_0(n)_{1-3-1} = (5,75905 \pm 0,00061), \text{ м}^3,$$

для довірчої ймовірності $p = 0,95$ та коефіцієнту охоплення $k = 2$.

Таблиця 4.3 – Бюджет невизначеності при вимірюванні місткості установки між детекторами 2 – 4 – 2 ТПУ.

Вхідна величина	Значення вхідної величини, м ³	Стандартна невизначеність, л	Закон розподілу	Коефіцієнт впливу	Внесок в невизначеність, л	
V_0	5,75859	0,21083	Рівномірний	1	0,21083	
Δe		0,0515	Рівномірний	1	0,0515	
Δd		0,038682	Рівномірний	1	0,038682	
Δo		0,028868	Рівномірний	1	0,028868	
Δv		0,261667	Рівномірний	1	0,261667	
Вихідна величина	Оцінка вихідної величини, м ³	Стандартна сумарна невизначеність, $u(V)$, л	Довірча ймовірність	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність, $U(V)$, л	
V_{1-3-1}	5,75859	0,3434	0,95	2	0,69	
			Відхилення показників установки, м ³			
			$\Delta V = - 0,00134$			

де, $V_i(n)_{2-4-2} = 5,75859 \text{ м}^3$ – місткість ТПУ, приведена до нормальних умов;

0,21083 л – середнє квадратичне відхилення отримане для п'яти вимірювань об'єму;

0,0515 л – невизначеність вимірювання еталона згідно п. 11.2;

0,038682 л – невизначеність вимірювання, обумовлена дрейфом метрологічних характеристик еталону згідно п. 11.3;

0,028868 л – невизначеність вимірювання, обумовлена похибкою зчитування показів оператором згідно п. 11.4;

0,26167 л – невизначеність вимірювання, обумовлена перетоками рідини крізь ущільнення установки згідно п. 11.5

0,3434 л – стандартна сумарна невизначеність згідно п. 11.6;

0,69 л – розширена невизначеність згідно п. 11.7;

0,012% – відносна розширена невизначеність згідно п. 11.7;

мінус 0,00134 м³ – відхилення показників установки.

Результат калібрування місткості установки між детекторами 2 – 4 – 2 ТПУ маємо можливість записати в такому вигляді:

$$V_0(n)_{2-4-2} = (5,75859 \pm 0,00069), \text{ м}^3,$$

для довірчої ймовірності $p = 0,95$ та коефіцієнту охоплення $k = 2$. м³.

4.2 Висновок

Відповідно до експлуатаційної документації для ТПУ 1-го розряду відносна похибка не перевищує 0,05 % та придатна для повірки витратомірів з відносною похибкою від 0,15 %. При цьому невизначеність вимірювання не повинна перевищувати значення розраховане по формулі:

$$U_{\text{роз}} = \frac{\delta}{\sqrt{3}} = \frac{0,05}{\sqrt{3}} = 0,03 \quad \% \quad (4.1)$$

де δ - відносна похибка ТПУ, %.

Під час експериментального дослідження процедури калібрування ТПУ були отримані граничні значення відносних розширених невизначеностей вимірювання місткостей установки, а саме:

$$U_{1-3-1} = 0,011 \quad \% \quad \text{та} \quad U_{2-4-2} = 0,012 \quad \%$$

При цьому виконується вимога нормативно правового акту затвердженому Наказом Мінекономічного розвитку і торгівлі України № 193 від 08.02.2016 р. [5] «Для еталонів, які застосовують під час проведення повірки, обов'язково наводяться граничні значення невизначеностей вимірювань, які повинні забезпечувати ці еталони. Співвідношення між невизначеністю вимірювань, що забезпечує еталон, та максимально допустимою похибкою ЗВТ, що підлягає повірці, становить не менше ніж один до трьох».

ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень для проведення контролю визначення показників витрати та метрологічних характеристик і повірки засобів вимірювань об'єму та маси на місці експлуатації без порушення процесу обліку робочого продукту, що в більшості вимірювань використовується установка трубопоршнева в якості робочого еталону.

Встановлено, що на цей час відсутні методичні документи, які регламентують процедуру калібрування цих робочих еталонів.

Результатом роботи є запропонована методика калібрування МК.РУ.ХХ.0ХХ:2021 «Метрологія. Установки еталонні трубопоршневі. Методика калібрування». Методика відповідає експлуатаційній документації на установки еталонні трубопоршневі типу 550-64-40, встановлює зміст і порядок їх калібрування.

Впровадження цієї методики дозволяє проводити контроль метрологічних характеристик безпосередньо на місці експлуатації без порушення процесу обліку робочого продукту і підвищити ефективність використання ТПУ за рахунок збільшення достовірності вимірювань і забезпечення повторюваності

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. **Україна. Накази.** Про затвердження Інструкції про порядок приймання, транспортування, зберігання, відпуску та обліку нафти і нафтопродуктів на підприємствах і організаціях України [Текст] : Наказ № 281/171/578/155 [прийнятий Мінпаливноенерго України 20 травня 2008 р.] / Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0805-08#Text> .
2. **Україна. Постанови.** Про затвердження переліку категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці [Текст] : Постанова [прийнята КМУ від. 04 червня 2015 р. № 374] – Київ: Урядовий кур'єр [2015]. - № 103. / Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/374-2015-%D0%BF#Text> .
3. Витрата [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Витрата> .
4. **Україна. Закони.** Про метрологію та метрологічну діяльність [Текст] : Закон України [прийнятий Верховною Радою України 05 червня 2014 р. № 374] – Київ: Відомості Верховної Ради України [2014 р.]. – № 30, с. 2350, стаття 1008. / Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18#Text> .
5. **Україна. Накази.** Порядок проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, та оформлення її результатів [Текст] : Наказ [прийнятий Мінекономрозвитку України 08 лютого 2016 р. № 193] – Київ: Офіційний вісник України [2016 р.]. – № 21, с. 218, стаття 837. / Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0278-16#Text> .
6. **Україна. Постанови.** Про затвердження Технічного регламенту засобів вимірювальної техніки [Текст] : Постанова [прийнята КМУ 24.02.2016 р. № 163] – Київ: Офіційний вісник України [2016 р.]. – № 21, с. 89, стаття 830. / Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/94-2016-%D0%BF#Text> .
7. **Україна. Накази.** Про затвердження Порядку калібрування вторинних та робочих еталонів [Текст] : Наказ [прийнятий Мінекономрозвитку України 10.08.2020 № 1518. – Київ: Офіційний вісник України [2020 р.]. – № 84, с. 180, стаття 2728. / Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1000-20#Text> .

8. **ДСТУ 3537:2011** Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань об'єму рідини [Текст]. – Увед. 01-07-2011. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2011. / Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=92013 .

9. **ДСТУ 2681-94** Метрологія. Терміни та визначення. [Текст]. – Увед. 01-01-1995. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 1995. / Режим доступу: <https://metrology.com.ua/ntd/skachat-dstu-gost-gost-r/dstu/dstu-2681-94/> .

10. **Р 081/24.99-99** Рекомендація. Метрологія. Установки трубопоршневые. Типовая методика поверки установками на базе весов ОГВ или мерников. [Текст]. Увед. 01-01-2000. – Київ: ДП «Укрметртестстандарт», 2000.

11. **РД 39-5-1253-85** Правила обслуговування систем вимірювання кількості нафти і трубопоршневих установок [Текст]. – Увед. 01-01-1985. – Москва: Всесоюзний науково-дослідний інститут організації, управління та економіки нафтогазової промисловості, 1985.

12. **Україна. Накази.** Про затвердження визначень основних одиниць SI, назв та визначень похідних одиниць SI, десяткових кратних і частинних від одиниць SI, дозволених позасистемних одиниць, а також їх позначень та Правил застосування одиниць вимірювання і написання назв та позначень одиниць вимірювання і символів величин. [Текст] : Наказ № 914 [прийнятий Міністерством економічного розвитку України від 04 серпня 2015 року] / Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1022-15#Text> .

13. **Україна. Накази.** Критерії, яким повинні відповідати наукові метрологічні центри, державні підприємства, які належать до сфери управління Міністерства економічного розвитку і торгівлі України та провадять метрологічну діяльність, та повірочні лабораторії, які уповноважуються або уповноважені на проведення перевірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації. [Текст] : Наказ № 1192 [прийнятий Міністерством економічного розвитку України від 23 вересня 2015 року] / Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1213-15#Text> .

14. **Україна. Накази.** Міжпівірочні інтервали законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, за категоріями. [Текст] : Наказ № 1747 [прийнятий Мінекономрозвитку України від 13 жовтня 2016 року] / Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1417-16#Text> .

15. **Україна. Накази.** Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском [Текст] : Наказ № 333 [прийнятий Мінсоцполітики України від 05 березня 2018 року] / Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0433-18#Text> .

16. **ДСТУ ISO 80000-4:2016** Величини та одиниці. Частина 4. Механіка (ISO 80000-4: 2006, IDT) / Режим доступу: <https://metrology.com.ua/ntd/skachat-dstu-gost-gost-r/dstu/dstu-iso-80000-4-2016/> .

17. **ДСТУ ISO 80000-4:2016** Величини та одиниці. Частина 5. Термодинаміка (ISO 80000-5: 2006, IDT) / Режим доступу: <https://metrology.com.ua/ntd/skachat-dstu-gost-gost-r/dstu/dstu-iso-80000-5-2016/> .

18. **ДСТУ ISO/IEC 17025:2017** Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2005, IDT). / Режим доступу: http://www.certatom.kiev.ua/images/files/16.06.15_17025.pdf .

19. **НПАОП 40.1-1.01-97** Правила безпечної експлуатації електроустановок. / Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0011-98#Text> .

20. **EA-4/02** Expression of the uncertainty of measurement in Calibration (Вираження невизначеності вимірювань при калібруванні). / Режим доступу: <https://www.isobudgets.com/pdf/uncertainty-guides/european-co-operation-for-accreditation-ea-4-02-m-1999-expression-of-the-uncertainty-of-measurement-in-calibration.pdf> .

21. **ГОСТ 12.1.018-93** Система стандартів безпеки праці. Пожаровзривобезопасность статического электричества. Общие требования. / Режим доступу: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=48681 .

22. **РМУ 13-064-2008** Метрологія. Методика расчета неопределенности измерений при проведении калибровки средств измерительной техники

23. **ДСТУ OIML D 8:2008** Метрологія. Еталони. Вибір, визнання, застосування, зберігання та документація (OIML D 8:2004, IDT). <https://metrology.com.ua/ntd/skachat-dstu-gost-gost-r/dstu/dstu-oiml-d-8-2008/>.

24. **COOMET/R/GM/31:2016** Рекомендация KOOMET. Методики калибровки средств измерений. Общие требования. / Режим доступу: <https://docplayer.com/35763457-Metodiki-kalibrovki-sredstv-izmereniy-obshchie-trebovaniya.html>.

25. **РМГ 51-2002** ГСИ. Документы на методики поверки средств измерений. Основные положения. / Режим доступу: <https://files.stroyinf.ru/Data1/11/11503/index.htm>.

26. **Пр22-2016** Калібрування засобів вимірювальної техніки. Процедура системи управління якістю калібрувальної лабораторії ДП «Сумистандартметрологія» [прийнятий ДП «Сумистандартметрологія» від 02.06.2016 року].

27. **Пр20-2016** Оцінювання придатності методик. Процедура системи управління якістю калібрувальної лабораторії ДП «Сумистандартметрологія» : [прийнятий ДП «Сумистандартметрологія» від 22.05.2016 року].

28. **ДСТУ 7525:2014** Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. [Текст]. – Увед. Наказ Мінекономрозвитку України від 23 жовтня 2014 р. № 125. / Режим доступу: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/1-10672-dstu_voda_pytna.pdf.

29. **Директива 2014/32/ЄС** Про гармонізацію законодавства держав-членів стосовно забезпечення наявності на ринку вимірювальних приладів (Directive 2014/32/EU) [Текст]. – Увед 26 лютого 2014 р. Європейський Парламент та Рада Європейського Союзу/ Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=76972.

30. **Директива OIML D1** Національні метрологічні системи. Розвиток інституційної та законодавчої бази. (National metrology systems. Developing the institutional and legislative framework.) – Режим доступу: https://www.oiml.org/en/files/pdf_d/d001-e20.pdf

31. ДСТУ **OIML D 23:2008** Метрология. Принципы метрологического контроля оборудования для поверки (OIML D 23:1993, IDT) 29.07.2008. Увед. 28 липня 2008 р. – Київ: ДП «Укрметртестстандарт», 2008. / Режим доступу: https://budstandart.com/normativ-document.html?id_doc=84533 .

32. **COOMET/R/GM/15:2007** Рекомендация КООМЕТ. Порядок оформления сертификатов калибровки, выдаваемых национальными метрологическими институтами в рамках CIPM MRA. / Режим доступу: http://www.coomet.org/RU/doc/r15_2007.pdf/.

33. Рисунок 1 – ТПУ, 400 м³/год., АТ «Транснафта», РФ / Режим доступу: <https://www.ogsb.ru/about/reference-list.php> .

34. Рисунок 2 – ТПУ, 600 м³/год., АТ «Транснафта», РФ / Режим доступу: <http://www.prizma.systems/catalog/poverochno-izmeritelnoe-oborudovanie/truboporshnevaya-ustanovka-tpu/>.

35. Рисунок 3 – ТПУ, 300 м³/год., АТ «Татнафта», ОАЕ / Режим доступу: <https://www.ogsb.ru/about/reference-list.php>.

36. Рисунок 4 – ТПУ, 2400 м³/год., «Comet Trading», ОАЕ http://www.ogsb.ru/production/pipeline_projects/Provers.php .

Додаток А

Акт впровадження результатів наукової роботи у навчальний процес

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор

Сергій ЛЕОНОВ

20 22

АКТ

про впровадження результатів наукової роботи студентів
«Методика калібрування установки трубопоршневої еталонної»
у навчальний процес

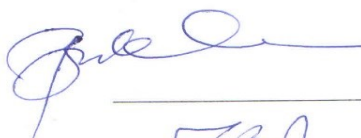
Акт складено комісією у складі :

Голова комісії	завідувач кафедри «Технології машинобудування, верстати та інструменти», д.т.н, проф. Іванов В. О.
Члени комісії	доцент кафедри «Технології машинобудування, верстати та інструменти» к.т.н., доц. Івченко О. В. ст. викладач кафедри «Технології машинобудування, верстати та інструменти» к.т.н. Дегтярьов І.М.

Даний акт засвідчує, що результати наукової роботи студентів Сушко Валентина Вікторовича та Корнієнко Андрія Олександровича «Методика калібрування установки трубопоршневої еталонної» були впроваджені у навчальний процес підготовки бакалаврів за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» та 133 «Галузеве машинобудування». Зокрема, було відредаговано та доповнено розділ «Метрологія та метрологічна діяльність» дисципліни «Основи метрології, стандартизації та управління якістю».


Робота виконувалась на кафедрі «Технологія машинобудування, верстати та інструменти». Використання зазначених результатів представляє високу науково-практичну цінність в актуальній проблемі підтвердження метрологічних характеристик.

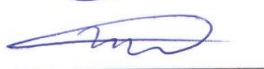
Голова комісії



Зав. кафедри ТМВІ
д.т.н, проф. Віталій ІВАНОВ

Члени комісії





доцент кафедри ТМВІ
к.т.н., доц. Олександр ІВЧЕНКО

ст. викладач кафедри ТМВІ
к.т.н. Іван ДЕГТЯРЬОВ

Додаток Б

Публікація за тематикою досліджень

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет



XX МІЖНАРОДНА
НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

«МАШИНОБУДУВАННЯ ОЧИМА МОЛОДИХ: прогресивні ідеї – наука – виробництво»

26 – 29 жовтня 2021 р.
м. Суми

1. Ржебаева Н. К. Расчет и конструирование центробежных насосов : учеб. пособие / Н. К. Ржебаева, Э. Е. Ржебаев. – Сумы : СумГУ, 2009. – 220 с.
2. Молодык Н. В. Восстановление деталей машин : справочник / Н. В. Молодык, А. С. Зенкин. – Москва : Машиностроение, 1989. – 480 с.
3. Монтаж, експлуатація та ремонт гідромашин і гідропневмоприводів : навч. посіб. / В. О. Панченко, О. Г. Гусак,

МЕТОДИКА КАЛІБРУВАННЯ УСТАНОВКИ ТРУБОПОРШНЕВОЇ

*Корнієнко А. О., студент; Сушко В. В., студент; Денисенко Ю. О.,
старший викладач
Сумський державний університет*

Комерційний облік енергоресурсів завжди ведеться засобами вимірювальної техніки з визначеними нормованими метрологічними характеристиками. Безперервність роботи таких приладів забезпечить найбільшу довіру до достовірності при розрахунках. Для забезпечення можливості проведення метрологічної перевірки, повірки або калібрування турбінних витратомірів рідини (нафти) в діапазоні від 11 до 550 м³/год на місці їх експлуатації забезпечує установка трубопоршнева типу ТПУ 550-64-40 виробництва «Енергоінвест. Вимірювальні системи». За її допомоги процес відпуску нафти на вузлі обліку стає стабільним, без значних зупинок.

Законодавство України в сфері метрологічної діяльності зазнало змін за останні роки. Згідно Постанови КМУ від. 04.06.2015 р. № 374 установка трубопоршнева не потрапила до Переліку категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці, таким чином вона відноситься до еталонів. Згідно Порядком проведення повірки законодавчо регульованих засобів

Додаток Г

Приклад оцінювання невизначеностей вимірювань при калібруванні еталонної двунаправленої установки типу ТПУ 550-64-40 за допомогою еталонного мірника із зупинкою поршня

Г.1 Побудова модельного рівняння вимірювання об'єму рідини установкою.

Модельне рівняння має вигляд відповідно формулі 1.

Г.2 Оцінювання стандартних невизначеностей вхідних величин

Г.2.1 Для оцінки невизначеності вимірювання по типу А, проводимо по п'ять вимірювань місткості установки в обох напрямках руху поршня з п'ятьма зупинками, результати вимірювань заносимо до таблиці Г.1:

Таблиця Г.1

Рух поршня	Зупинки поршня	Мірник			Установка		K_T	$V_i(n)$, л	$V_i(1-3)$, л	$V_i(n)(1-3)$, л
		V_{ij} , л	t_{ijm} , °C	t_{om} , °C	t_y , °C	P_y , МПа				
1-2	перша	19,6	25,2	25,2	25,2	0,24	1	19,60	2878,40	2877,93
2-3	друга	995,8	25,2	25,2	25,2	0,24	1	995,64		
	четверта	871,6	25,2	25,2	25,2	0,24	1	871,46		
3-4	п'ята	19,9	25,2	25,2	25,2	0,24	1	19,90		
4-3	перша	20,1	25,3	25,3	25,3	0,25	1	19,60	2878,20	2877,71
3-2	друга	996,2	25,3	25,3	25,3	0,25	1	995,64		
	четверта	868,0	25,3	25,3	25,3	0,25	1	871,46		
2-1	п'ята	19,9	25,3	25,3	25,3	0,25	1	19,90		
1-2	перша	19,6	24,8	24,8	24,8	0,25	1	19,60	2877,90	2877,41
2-3	друга	988,7	24,8	24,8	24,8	0,25	1	995,64		
	четверта	875,5	24,8	24,8	24,8	0,25	1	871,46		
3-4	п'ята	19,9	24,8	24,8	24,8	0,25	1	19,90		
4-3	перша	20,0	26,4	26,4	26,4	0,30	1	19,60	2878,20	2877,61
3-2	друга	995,0	26,4	26,4	26,4	0,30	1	995,64		
	четверта	871,5	26,4	26,4	26,4	0,30	1	871,46		
2-1	п'ята	19,6	26,4	26,4	26,4	0,30	1	19,90		
1-2	перша	19,5	24,6	24,6	24,6	0,30	1	19,60	2878,00	2877,41
2-3	друга	990,0	24,6	24,6	24,6	0,30	1	995,64		

	третя	993,6	24,6	24,6	24,6	0,30	1	991,24		
	четверта	874,9	24,6	24,6	24,6	0,30	1	871,46	2878,60	2878,01
3-4	п'ята	19,9	24,6	24,6	24,6	0,30	1	19,90		
4-3	перша	20,0	24,7	24,7	24,7	0,30	1	19,60		
3-2	друга	992,1	24,7	24,7	24,7	0,30	1	995,64	2878,10	2877,51
	третя	991,9	24,7	24,7	24,7	0,30	1	991,24		
	четверта	874,5	24,7	24,7	24,7	0,30	1	871,46	2878,50	2877,91
2-1	п'ята	19,9	24,7	24,7	24,7	0,30	1	19,90		
1-2	перша	19,4	21,9	21,9	21,9	0,30	1	19,60		
2-3	друга	995,3	21,9	21,9	21,9	0,30	1	995,64	2877,80	2877,21
	третя	995,7	21,9	21,9	21,9	0,30	1	991,24		
	четверта	867,4	21,9	21,9	21,9	0,30	1	871,46	2878,50	2877,91
3-4	п'ята	20,1	21,9	21,9	21,9	0,30	1	19,90		
4-3	перша	19,9	21,0	21,0	21,0	0,30	1	19,60		
3-2	друга	995,6	21,0	21,0	21,0	0,30	1	995,64	2878,10	2877,51
	третя	995,6	21,0	21,0	21,0	0,30	1	991,24		
	четверта	867,4	21,0	21,0	21,0	0,30	1	871,46	2878,50	2877,91
2-1	п'ята	19,5	21,0	21,0	21,0	0,30	1	19,90		
1-2	перша	19,6	21,7	21,7	21,7	0,24	1	19,60		
2-3	друга	994,8	21,7	21,7	21,7	0,24	1	995,64	2878,50	2878,03
	третя	995,1	21,7	21,7	21,7	0,24	1	991,24		
	четверта	869,0	21,7	21,7	21,7	0,24	1	871,46	2878,90	2878,43
3-4	п'ята	20,0	21,7	21,7	21,7	0,24	1	19,90		
4-3	перша	19,9	22,2	22,2	22,2	0,25	1	19,60		
3-2	друга	994,6	22,2	22,2	22,2	0,25	1	995,64	2878,20	2877,71
	третя	994,9	22,2	22,2	22,2	0,25	1	991,24		
	четверта	869,1	22,2	22,2	22,2	0,25	1	871,46	2878,50	2878,01
2-1	п'ята	19,6	22,2	22,2	22,2	0,25	1	19,90		

Примітка. Умовні позначення величин - згідно додатку 1 P081/24.99, 1,2,3,4 - номери детекторів положення поршня згідно рис.3 додатку 2 P081/24.99.

Значення місткості установки, зведене до нормальних умов, визначається за формулами таблиці 6 P081/24.99.

Вираховуємо значення сумарної місткості установки при проходженні поршня між детекторами його положення №№ 1-3-1 та 2-4-2.

Місткість установки між детекторами 1-3-1, м ³		
"1-3"	"3-1"	"1-3-1"
2,87793	2,87771	5,75564
2,87741	2,87761	5,75502
2,87741	2,87751	5,75492

2,87721	2,87751	5,75472
2,87803	2,87771	5,75574
Місткість установки між детекторами 2-4-2, м ³		
"2-4"	"4-2"	2-4-2
2,87823	2,87821	5,75644
2,87771	2,87801	5,75572
2,87801	2,87791	5,75592
2,87791	2,87791	5,75582
2,87843	2,87801	5,75644

Розрахуємо середньоарифметичне значення результату вимірювань:

$$\bar{V}_{1-3-1} = \frac{1}{5} \sum V_{i1} = 5,75521 \text{ м}^3 \quad \bar{V}_{2-3-2} = \frac{1}{5} \sum V_{i2} = 5,75607 \text{ м}^3$$

та

Г.2.2 Оцінимо складові сумарної невизначеності.

Г.2.2.1 Невизначеність мірника розраховується із значення його розширеної невизначеності, що вказана у свідоцтві про калібрування і дорівнює 0,2 л. Враховуючи нормальний закон розподілу, відповідна складова невизначеності оцінюється за формулою (2):

$$u_e = \frac{0,2}{2} = 0,1 \text{ л}$$

Г.2.2.2 Невизначеність, обумовлена дрейфом метрологічних характеристик еталону u_d , враховуючи рівномірний закон розподілу, оцінюється за формулою (3):

$$u_d = \frac{\Delta V_M \cdot \Delta \tau}{T \cdot \sqrt{3}} = \frac{0,05 \times 1}{2 \times \sqrt{3}} = 0,014 \text{ л}$$

Г.2.2.3 Похибкою зчитування показів будемо вважати половину величини, визначеної оператором. При ціні поділки шкали мірника 0,2 л оператор може зняти відлік з похибкою $\pm 0,05$ л. Тоді невизначеність, обумовлена точністю зчитування показів установка u_o , враховуючи рівномірний закон розподілу, оцінюється за формулою (4):

$$u_o = \frac{0,05}{\sqrt{3}} = 0,03 \text{ л}$$

Похибка зчитування показів термометру та манометру становить, відповідно половину найменшого розряду індикатора, що становить 0,1 °С та 0,01 МПа відповідно. Згідно формули таблиці 6 P081/24.99, зміна температури та тиску рідини несуттєво впливає на значення місткості установки (у третьому знаку, після коми). З цієї причини вважаємо відповідні складові невизначеності вимірювань несуттєвими.

Г.2.2.4 Для оцінки невизначеності вимірювання u_s , обумовленої вкладом випадкових факторів, було проведено 5 повторних вимірювань величини одним і тим же повірником в одних і тих же умовах, за результатами яких отримані статистична оцінка середнього квадратичного відхилення (СКВ) середнього арифметичного значення результату вимірювання V_i , яка оцінюється за формулою (5):

$$u_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2}{n \cdot (n-1)}} = \sqrt{\frac{(5,75564 - 5,75521)^2 + (5,75502 - 5,75521)^2 + (5,75492 - 5,75521)^2 + (5,75472 - 5,75521)^2 + (5,75574 - 5,75521)^2}{5 \cdot (5-1)}} = 0,23 \text{ л}$$

Примітка. Вище наведена оцінка невизначеності вимірювання u_s для середньоарифметичне значення результату вимірювань \bar{V}_{1-3-1} .

Г.2.2.5 Для оцінки невизначеності вимірювання, обумовленої перетоками рідини крізь ущільнення сфери установки проводимо трикратне вимірювання місткості установки при меншій витраті та визначаємо відхилення згідно вимог п. 6.4 P081/24.99:

$$\Delta_{np} = \bar{V}_{onp} - \bar{V}_o = 5,75521 - 5,75509 = 0,00012 \text{ м}^3 = 0,12 \text{ л}$$

Відповідна складова невизначеності вимірювань u_v , враховуючи нормальний закон розподілу, оцінюється за формулою (6):

$$u_v = \frac{0,12}{2} = 0,06 \text{ л}$$

Г.2.2.5.3 Складові невизначеності вимірювання, обумовлені точністю визначення стандартних довідкових даних (коефіцієнти теплового розширення, стиснення, модуль пружності) вважаємо несуттєвими з причини врахування їх впливу на місткість установки в формулах таблиці 6 P081/24.99 у вигляді незначних додатків.

Г.3 Бюджет невизначеностей вимірювання місткості установки

Таблиця Г.2

Вхідна величина	Оцінка вхідної величини	Стандартна невизначеність	Розподіл ймовірностей	Коефіцієнт впливу	Внесок в невизначеність,	
V_o	5,75521 м ³	0,23 л	Нормальний	1,0	0,23 л	
Δ_e	0	0,10 л	Нормальний	1,0	0,10 л	
Δ_d	0	0,014 л	Рівномірний	1,0	0,014 л	
Δ_o	0	0,03 л	Рівномірний	1,0	0,03 л	
Δ_v	0	0,06 л	Нормальний	1,0	0,06 л	
Вихідна величина	Оцінка вихідної величини	Стандартна сумарна невизначеність	Довірча ймовірність	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність	
V_{1-3-1}	5,75521 м ³	$u(V) = 0,26 \text{ л}$	$p = 0,95$	$k = 2,0$	$U(V) = 0,52 \text{ л}$	
			Відхилення показів установки			
			$\Delta V = 0,05 \text{ л}$			

Так як серед складових невизначеностей немає визначальної за розміром, то закон розподілу сумарної невизначеності приймається нормальним ($k=2$);

Г.4 Оцінювання сумарної стандартної невизначеності

Сумарну стандартну невизначеність вимірювання при калібруванні оцінимо, для некорельованих вхідних величин і прямих методів вимірювання, за формулою (8):

$$u(V) = \sqrt{u_s^2 + u_e^2 + u_o^2 + u_d^2 + u_v^2} = \sqrt{0,23^2 + 0,1^2 + 0,014^2 + 0,03^2 + 0,06^2} = 0,26 \text{ л}$$

Г.5 Оцінювання розширеної невизначеності

Розширену невизначеність для довірчої ймовірності $p = 0,95$ оцінимо за формулою:

$$U(V) = k \times u(V) = 2 \times 0,26 = 0,52 \text{ л}$$

де $k = 2$ – коефіцієнт охоплення при $p = 0,95$.

Відносну розширену невизначеність оцінимо за формулою:

$$U(v)_{1-3-1} = \frac{U(V)}{V_i} \cdot 100 = \frac{0,52}{5755,21} \times 100 = 0,009 \% \quad \text{та} \quad U(v)_{2-4-2} = \frac{U(V)}{V_i} \cdot 100 = \frac{0,52}{5756,07} \times 100 = 0,009 \%$$

Г.6 Оцінювання відхилення

Відхилення значення місткості установки від значення, отриманого при попередньому калібруванні установки :

$$\Delta V = 5,75521 \text{ м}^3 - 5,75516 \text{ м}^3 = 0,00005 \text{ м}^3 = 0,05 \text{ л}$$

Аналогічне оцінювання проводиться і для місткості установки V_{2-4-2} .

Г.7 Результат калібрування установки 550-64-40

Місткість установки:

$$V_{1-3-1} = (5,75521 \pm 0,00052) \text{ м}^3 \text{ при } p = 0,95 \text{ та } k=2$$

$$V_{2-4-2} = (5,75607 \pm 0,00052) \text{ м}^3 \text{ при } p = 0,95 \text{ та } k=2$$

Розширена невизначеність:

$$U(V) = 0,00052 \text{ м}^3$$

Відносна розширена невизначеність:

$$U(v)_{1-3-1} = 0,009 \% \quad \text{та} \quad U(v)_{2-4-2} = 0,009 \%$$

Додаток Д

Приклад встановлення простежуваності вимірювань при калібруванні установки

Калібрування установки типу 550-64-40 № 7089 проводилось ДП «Сумистандартметрологія» мірником спеціальним 1 розряду М1Р-1000 №7216 свідоцтво № 133 видане ДП «Сумистандартметрологія» від 05.09.18 р.

Мірник спеціальний 1 розряду М1Р-1000 №7216 калібрувався ДП «Сумистандартметрологія» масовим методом на еталонних вагах Д400 № 163730, свідоцтво № 108 видане ДП «Сумистандартметрологія» від 06.08.21 р. Густина води визначалася згідно ГСССД 2-77 Вода. Плотность при атмосферном давлении и температурах от 0 до 100 °С.

Ваги Д400 № 163730 калібровані ДП «Сумистандартметрологія» за допомогою набору гир класу М₁ КГО-20. Свідоцтво № 943 від 30.07.21 р. видане ДП «Сумистандартметрологія»

Калібрування еталонного набору гир КГО-20 класу М₁ проводилось в ДП «Сумистандартметрологія» методом прямого порівняння з еталонним набором гир класу F₂, на вагах Е1М-210 № 1121191299, що калібровані ДП «Сумистандартметрологія» за допомогою набору гир класу F₁ КГО-10 № 162 сертифікат калібрування № 08/1476К від 29.09.2020, видане ДП «Харківстандартметрологія».

Еталонний набір гир класу F₂, КГО-10 №162 калібрований ДП «Харківстандартметрологія» за допомогою еталонних ваг ВЛО-1 №79, ВЛО-5 № 29 та ВЛО-20 №9, калібровані ДП «Харківстандартметрологія», свідоцтва №№ 08/1100К, 08/1092К та 08/1093К від 02.02.2019 року та вторинного еталону маси КГЕ-1 №3 ДП «Харківстандартметрологія», каліброваного ННЦ №Інститут метрології» свідоцтво №UA01-2071 від 01.07./2018 року, якій простежуються до Державного еталону одиниці маси ДЕТУ 01-01-96 згідно ДСТУ 3381:2009 "Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювання маси".

Бюджет невизначеностей вимірювання місткості установки

Вхідна величина	Оцінка вхідної величини	Стандартна невизначеність	Розподіл ймовірностей	Коефіцієнт впливу	Внесок в невизначеність,	
V_o	X,XXXX		Нормальний	1,0		
Δ_e	0		Нормальний	1,0		
Δ_d	0		Рівномірний	1,0		
Δ_o	0		Рівномірний	1,0		
Δ_v	0		Нормальний	1,0		
Вихідна величина	Оцінка вихідної величини,	Сумарна стандартна невизначеність	Довірча ймовірність	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність	
V_i	Y,YYYY	$u(V) =$	$p = 0,95$	$k = 2,0$	$U(V) =$	
			<i>Відхилення показів установки</i>			
			$\Delta V =$			

3 Результати калібрування установки:

№ п/п	Значення місткості установки, м ³		Відхилення	Розширена невизначеність
	попередні	наявні		
V_{1-3-1}				
V_{2-4-2}				

Калібрування виконав _____

посада

підпис

П.І.Б.

Додаток Ж
Форма Свідоцтва про калібрування

ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
“СУМСЬКИЙ РЕГІОНАЛЬНИЙ НАУКОВО-ВИРОБНИЧИЙ ЦЕНТР
МЕТОДИКИЗАЦІЇ, МЕТРОЛОГІЇ ТА СЕРТИФІКАЦІЇ”

(ДП «Сумистандартметрологія»)

СВІДОЦТВО

ПРО КАЛІБРУВАННЯ

Номер свідоцтва _____ Дата реєстрації _____ Сторінка _____ з _____
Дата калібрування _____

Найменування, тип та
заводський номер об'єкту
калібрування

Замовник

Метод калібрування

Всі вимірювання простежуються до одиниць Міжнародної системи SI, які відтворюються національними еталонами наукового метрологічного центру. Це свідоцтво може бути відтворене тільки повністю. Будь-яка публікація чи часткове відтворення змісту свідоцтва можливі з письмового дозволу ДП «Сумистандартметрологія».

**Особа, що затвердила
свідоцтво**

_____ (посада)

_____ (підпис)

_____ (П.І.Б)

М.П. _____

ДП «Сумистандартметрологія»

Адреса: вул. Харківська, 101, м. Суми, 40007, Україна

тел./факс (0542)67-76-02

E-mail: recept@gcsms.com.ua

Свідоцтво про уповноваження

№П-52 219 від 20.12.2019 р.,

дійсне до 20.12.2024 р.

Свідоцтво про калібрування

Номер свідоцтва _____ Дата реєстрації _____ Сторінка _____ з _____

Калібрування

виконане за _____

Назва еталонів (додаткового обладнання), їх умовне позначення, серійний номер,

допомогою _____

відомості про калібрування (номер, дата свідоцтва та назва органу, що його видав)

простежуваність до національного еталону ДЕТУ

Результати калібрування

Місткість установки	Отримані значення	Відхилення	Розширена невизначеність ¹⁾
V_{1-3-1}			
V_{2-4-2}			

¹⁾Розширена невизначеність отримана шляхом множення сумарної стандартної невизначеності на коефіцієнт охоплення $k =$ _____, що визначає інтервал, з рівнем довіри, який приблизно дорівнює 95 % при допущенні _____ розподілу. Оцінювання невизначеності проведено у відповідності до ЕА-4/02 М:2013 «Вираз невизначеності вимірювання при калібруванні»

Особа, що проводила

калібрування

_____ (посада)

_____ (підпис)

_____ (П.І.Б)

Додаткова інформація:

Результати, що наведені в цьому свідоцтві, відображають стан ЗВТ на момент калібрування та можуть змінюватися протягом часу.

Рекомендований між калібрувальний інтервал _____ р.

Користувач несе особисту відповідальність за своєчасне надання ЗВТ на калібрування, враховуючи результати попередніх калібрувань, інтенсивність і умови його експлуатації, стабільність його показів та ступінь ризику від використання недостовірних результатів вимірювань.

ДП «Сумистандартметрологія»

Адреса: вул. Харківська, 101, м. Суми, 40007, Україна

тел./факс (0542)67-76-02

E-mail: recept@gcsms.com.ua

Свідоцтво про уповноваження

№ ПК-52-219 від 20.12.2019 р.,

дійсне до 20.12.2024 р.

Додаток К
Проект нормативного документу

ЗАТВЕРДЖУЮ

Б.о. генерального директора
ДП «Сумистандартметрологія»

_____ **О.М. Шовкун**
« ____ » _____ 2021 р.

Метрологія

УСТАНОВКИ ЕТАЛОННІ ТРУБОПОРШНЕВІ

Методика калібрування

МК.РУ.ХХХ:2021

ПОГОДЖЕНО

Заступник генерального директора з
метрології, стандартизації та наукової
діяльності
ДП «Сумистандартметрологія»

_____ **Б.М. Одноралов**
« ____ » _____ 2021 р.

РОЗРОБЛЕНО

Начальник відділу науково-технічного
забезпечення з питань метрології,
стандартизації та оцінки відповідності
ДП «Сумистандартметрологія»

_____ **О.М. Мірошніченко**
« ____ » _____ 2021 р.

Начальник відділу повірки та калібрування
теплогенічних та фізико – хімічних ЗБТ
ДП «Сумистандартметрологія»

_____ **В.В. Сущко**
« ____ » _____ 2021 р.

Суми 2021

Додаток Л

Обробка експериментальних даних

Вхідні дані.

Процедура повірки була проведена на діючій установці типу ТПУ – 550 – 64 – 40, зав № 7089.

Були враховані такі вхідні дані згідно експлуатаційної документації:

- $D = 387,36$ мм, внутрішній діаметр каліброваної ділянки ТПУ;

- $S = 9,52$ мм, товщина стінок ТПУ;

- $E = 206800$ МПа, модуль пружності матеріалу стін ТПУ;

- $F = 4,91 \times 10^{-4}$ 1/МПа, коефіцієнт стисливості рідини;

- $\alpha_T = \alpha_m = 11,2 \times 10^{-6}$ °С, коефіцієнт лінійного розширення матеріалу стінок ТПУ та коефіцієнт лінійного розширення матеріалу мірника відповідно;

- $\beta = 0,00026$ 1/°С коефіцієнт об'ємного розширення рідини.

$V_{1-3-1} = 5,75601$ м³, $V_{2-4-2} = 5,75725$ м³ – значення місткості ТПУ.

Результати вимірювань та їх обробка занесені до протоколу №1 повірки ТПУ.

Протокол повірки №1

Т повітря = 17°С		Т води = 21,4°С		Д, мм	S, мм	t 0,99	E, МПа
βж, 1/°С	αт, 1/°С	αм, 1/°С	F, 1/МПа				
0,00026	0,0000112	0,0000112	0,000491	387,36	9,52	3,25	206858

Напрямок руху поршня	Номера вимірюв. (і) і заголн. Мірника(ф)	Мірник			ТПУ		Кт	Voi(н)	Ктрм	Vi (1-3) Vi (3-1)	Voi(н) (1-3) Voi (н)(3-1)	Vo
		Покази шкали мірника, л	Vij, л	tijм, °С	tom, °С	Ty, °С						
							%	л	%	л	л	л

1-3	1	892,8	892,816	20,5	20,5	20,6	0,26	1	892,682	0,99985	2880,75	2880,32	5759,34	
	2	993,3	993,316	20,5		20,6	0,26	1	993,17	0,99985				
	3	994,6	994,616	20,5		20,6	0,26	1	994,47	0,99985				
3-1	1	892,6	892,616	20,4	20,4	20,5	0,26	1	892,482	0,99985	2879,45	2879,02		
	2	992,4	992,416	20,4		20,5	0,26	1	992,267	0,99985				
	3	994,4	994,416	20,4		20,5	0,26	1	994,267	0,99985				
Протокол 2														
1-3	1	893,2	893,216	20,8	20,7	20,8	0,26	1	893,073	0,99984	2880,65	2880,19		5758,68
	2	993,5	993,516	20,7		20,8	0,26	1	993,36	0,99984				
	3	993,9	993,916	20,7		20,8	0,26	1	993,76	0,99984				
3-1	1	893,0	893,016	20,7	20,6	20,7	0,26	1	892,873	0,99984	2878,95	2878,49		
	2	993,6	993,616	20,6		20,7	0,26	1	993,457	0,99984				
	3	992,3	992,316	20,6		20,7	0,26	1	992,157	0,99984				
Протокол 3														
1-3	1	892,3	892,316	19,7	19,8	20	0,26	1	892,209	0,99988	2880,55	2880,20	5759,04	
	2	993,1	993,116	19,9		20,1	0,26	1	993,00	0,99988				
	3	995,1	995,116	19,9		20,1	0,26	1	995,00	0,99988				
3-1	1	893,7	893,716	19,9	19,9	20,2	0,26	1	893,591	0,99986	2879,25	2878,84		
	2	992,9	992,916	20		20,1	0,26	1	992,777	0,99986				
	3	992,6	992,616	19,9		20	0,26	1	992,477	0,99986				
Протокол 4														
1-3	1	892,9	892,916	20	20,0	20,1	0,26	1	892,782	0,99985	2880,95	2880,52		5759,24
	2	993,5	993,516	20		20,1	0,26	1	993,37	0,99985				
	3	994,5	994,516	19,9		20	0,26	1	994,37	0,99985				
3-1	1	891,9	891,916	19,9	20,0	20,1	0,26	1	891,782	0,99985	2879,15	2878,72		
	2	993,4	993,416	20,1		20,2	0,26	1	993,267	0,99985				
	3	993,8	993,816	20,1		20,1	0,26	1	993,667	0,99985				
Протокол 5														
1-3	1	893,3	893,316	20,2	20,2	20,3	0,26	1	893,182	0,99985	2880,85	2880,42	5758,94	
	2	992,6	992,616	20,2		20,3	0,26	1	992,47	0,99985				
	3	994,9	994,916	20,2		20,3	0,26	1	994,77	0,99985				
3-1	1	894,4	894,416	20,2	20,2	20,3	0,26	1	894,282	0,99985	2878,95	2878,52		
	2	992,2	992,216	20,2		20,3	0,26	1	992,067	0,99985				
	3	992,3	992,316	20,2		20,3	0,26	1	992,167	0,99985				
Протокол 6														
2-4	1	892,4	892,416	22	22,1	22,4	0,26	1	892,327	0,99990	2879,65	2879,36		5758,39
	2	993,6	993,616	22,1		22,4	0,26	1	993,52	0,99990				
	3	993,6	993,616	22,1		22,4	0,26	1	993,52	0,99990				
4-2	1	894,7	894,716	22,6	22,7	22,6	0,26	1	894,555	0,99982	2879,55	2879,03		

	2	994,2	994,216	22,7		22,6	0,26	1	994,037	0,99982				
	3	990,6	990,616	22,7		22,8	0,26	1	990,438	0,99982				
Протокол 7														
2-4	1	893,9	893,916	23,7	23,6	23,6	0,26	1	893,755	0,99982	2879,15	2878,63	5757,86	
	2	993,2	993,216	23,6		23,6	0,26	1	993,04	0,99982				
	3	992	992,016	23,6		23,7	0,26	1	991,84	0,99982				
4-2	1	894,2	894,216	23,4	23,4	23,3	0,26	1	894,055	0,99982	2879,75	2879,23		5757,86
	2	993,3	993,316	23,4		23,4	0,26	1	993,137	0,99982				
	3	992,2	992,216	23,4		23,4	0,26	1	992,037	0,99982				
Протокол 8														
2-4	1	892,9	892,916	20,8	20,9	21,1	0,26	1	892,809	0,99988	2879,95	2879,60	5758,77	
	2	992	992,016	20,9		21,1	0,26	1	991,90	0,99988				
	3	995	995,016	20,9		21,1	0,26	1	994,90	0,99988				
4-2	1	893,7	893,716	20,8	20,8	21	0,26	1	893,600	0,99987	2879,55	2879,17		5758,77
	2	994,6	994,616	20,8		21	0,26	1	994,487	0,99987				
	3	991,2	991,216	20,8		21	0,26	1	991,087	0,99987				
Протокол 9														
2-4	1	893,4	893,416	21	21,0	21	0,26	1	893,255	0,99982	2880,15	2879,63	5758,93	
	2	993,7	993,716	21		21	0,26	1	993,54	0,99982				
	3	993	993,016	21		21	0,26	1	992,84	0,99982				
4-2	1	893,6	893,616	21,2	21,1	21	0,26	1	893,446	0,99981	2879,85	2879,30		5758,93
	2	994,2	994,216	21		21	0,26	1	994,027	0,99981				
	3	992	992,016	21,1		21,1	0,26	1	991,828	0,99981				
Протокол 10														
2-4	1	892,9	892,916	21,3	21,2	21,1	0,26	1	892,746	0,99981	2879,95	2879,40	5759,00	
	2	993,3	993,316	21,1		21,1	0,26	1	993,13	0,99981				
	3	993,7	993,716	21,1		21,1	0,26	1	993,53	0,99981				
4-2	1	893,9	893,916	21,3	21,2	21,2	0,26	1	893,746	0,99981	2880,15	2879,60		5759,00
	2	993,2	993,216	21,2		21,1	0,26	1	993,027	0,99981				
	3	993	993,016	21,1		21,1	0,26	1	992,827	0,99981				

Визначення місткості ТПУ.

Місткість ТПУ, приведена до нормальних умов становить:

$$Vi(n)_{1-3-1} = 5,75905 \text{ м}^3 \text{ та } Vi(n)_{2-4-2} = 5,75859 \text{ м}^3.$$

Визначення середнього квадратичного відхилення випадкової складової похибки

Середнє квадратичне відхилення випадкової складової похибки:

$$S_o(\Delta)_{1-3-1} = 0,002\% \text{ та } S_o(\Delta)_{2-4-2} = 0,004\%$$

Визначення межі сумарної систематичної складової похибки

Межа сумарної систематичної складової похибки:

$$\Theta_{\Sigma o 1-3-1} = 0,023\% \text{ та } \Theta_{\Sigma o 2-4-2} = 0,023\%$$

Визначення відносної похибка ТПУ

Відносна похибка ТПУ:

$$\delta_o 1-3-1 = 0,036\% \text{ та } \delta_o 2-4-2 = 0,044\%$$

при цьому виконана умова:

$$\delta_o = 0,05\% \text{ - для ТПУ 1-го розряду та}$$

$$\delta_o = 0,10\% \text{ - для ТПУ 2-го розряду.}$$

Перевірка відсутності протікання

Результати при перевірці відсутності протікання отримані при вимірювання місткості . V_{2-4-2} тазанесені до таблиці 2.2

Таблиця 2.2 - Результати при перевірці відсутності протікання

	$V_{onp 2-4, m^3}$	$V_{onp 4-2, m^3}$	$V_{onp i 2-4-2, m^3}$	$V_{onp 2-4-2, m^3}$
1	2,87953	2,87972	5,75925	5,75911
2	2,87932	2,87946	5,75878	
3	2,87959	2,87972	5,75931	

$$V_{onp 2-4-2} = 5,75911 \text{ м}^3 \text{ та } V_{i(n) 2-4-2} = 5,75859 \text{ м}^3.$$

$$\Delta_{np} = 0,009\%$$

при цьому виконана умова:

$$|\Delta_{np}| \leq 0,35 \times \Delta p = 0,35 \times 0,2 = 0,07\%$$

Визначення відносного відхилення місткості ТПУ від значення результату за попередньої повірки.

Результат при обчисленні відносного відхилення місткості ТПУ від значення за попередньої повірки враховував дані місткості за 2018 р., а саме $V_{опп 1-3-1(2018)} =$

$$5,75601 \text{ м}^3 \text{ та } V_{опп 2-4-2(2018)} = 5,75725 \text{ м}^3:$$

$$\Delta_{oo1-3-1} = 0,053\% \text{ та } \Delta_{oo2-4-2} = 0,023\%$$

при цьому виконана умова:

$$|\Delta_{oo}| \leq 0,6 \times \Delta_p = 0,6 \times 0,2 = 0,12\%$$

Висновок: результат роботи з повірки ТПУ підтвердив придатність даного засобу вимірювальної техніки до застосування на підставі результатів контролю її метрологічних характеристик.

Додаток М

Акт впровадження результатів наукової роботи у виробництво

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник генерального директора
ДП «Сумистандартметрологія»

В. М. Одноралов
2022 р.



АКТ
впровадження (використання) результатів
наукової роботи у виробництво

за темою:

**«МЕТОДИКА КАЛІБРУВАННЯ УСТАНОВКИ ТУРБОПОРШНЕВОЇ
ЕТАЛОННОЇ»**

Цей акт констатує, що на базі ДП «Сумистандартметрологія» було проведено дослідження теоретичних аспектів вимірювання об'ємної витрати, а також вимог нормативних документів щодо застосування та підтвердження метрологічних характеристик установки трубопоршневої. В результаті досліджень розроблена та впроваджена методика калібрування, яка поширюється на установки еталонні трубопоршневі типу 550-64-40, що використовуються для перевірки витратомірів в складі комерційних вузлів обліку нафти.

Методика відповідає вимогам ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 «Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій», НД на установки еталонні трубопоршневі типу 550-64-40, встановлює зміст і порядок їх калібрування. Впровадження цієї методики дозволяє проводити контроль метрологічних характеристик безпосередньо на місці експлуатації без порушення процесу обліку робочого продукту і, крім того, підвищити достовірність результатів вимірювань і підтвердити надійність установок.

