МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

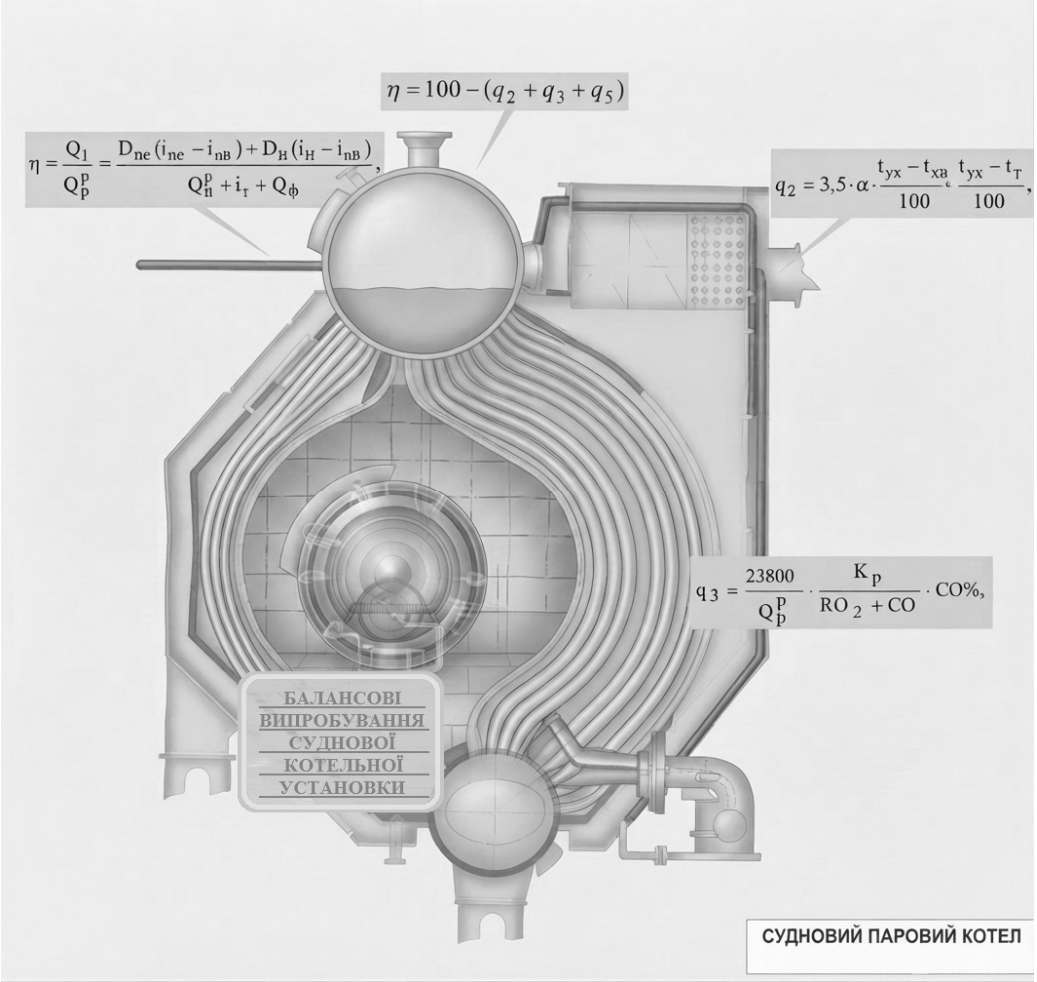
Кафедра «Суднові енергетичні системи і комплекси» (СЕСК)

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни
«Суднові котельні установки»

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

«БАЛАНСОВЕ ВИПРОБУВАННЯ ПАРОВОГО КОТЛА»



Одеса 2026

Методичні вказівки до лабораторних робіт підготували: к.т.н., професор Соломатін Сергій Якович, ст. викладач Сторчак Олександр Олександрович та ст. викладач Клінаєв Юрій Васильович кафедри «Суднові енергетичні системи і комплекси» Одеського національного морського університету для студентів денної (очної) та заочної форм навчання.

Методичні вказівки укладено відповідно до освітньо-професійної програми «Експлуатація суднових енергетичних установок» спеціальності J5 «Морський та внутрішній водний транспорт» (спеціалізація J5.02 «Управління судновими технічними системами і комплексами») та освітньо-професійної програми «Суднові енергетичні установки (проектування, виробництво, експлуатація і ремонт)» спеціальності G11 «Енергетичне машинобудування».

Методичні вказівки до лабораторних занять з дисципліни «Суднові котельні установки» схвалено на засіданні кафедри суднових енергетичних систем і комплексів ОНМУ (протокол № 25 від 01.06.2026 р.).

Рецензент: кандидат технічних наук, доцент кафедри «Суднові енергетичні системи і комплекси» С.В. Козловський

©СЕСК, ОНМУ 2026 р.

ЗМІСТ

ВСТУП…… 3
1 МЕТА, ТЕХНІЧНІ ЗАВДАННЯ ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ БАЛАНСОВИХ ВИПРОБУВАНЬ..... 4
2 КОРОТКИЙ ОПИС ПАРОВИХ КОТЛІВ, ВСТАНОВЛЕНИХ У ЛАБОРАТОРІЇ КАФЕДРИ..... 5
3 МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ККД КОТЛА…….. 7
3.1 Метод прямого теплового балансу……. 7
3.2 Метод зворотного теплового балансу…… 8
4 ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗГОРЯННЯ ПАЛИВА, ВМІСТУ КИСНЮ ТА ОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ У ВИПУСКНИХ ГАЗАХ КОТЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИЛАДІВ ТИПУ РСО 961…….. 10
5 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ БАЛАНСОВИХ ВИПРОБУВАНЬ……. 11
6 ПОРЯДОК ОБРОБКИ ДАНИХ, ОТРИМАНИХ ПРИ ВИПРОБУВАННЯХ…….. 12
7 РЕЗУЛЬТАТИ БАЛАНСОВИХ ВИПРОБУВАНЬ ПАРОВОГО КОТЛА…. 13
8 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ..... 15
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ..... 16

ВСТУП

Теплотехнічні випробування парових котлів є ключовим інструментом для визначення їхньої реальної ефективності, надійності та відповідності проектним характеристикам. Під час експлуатації котельного устаткування надзвичайно важливо вміти правильно організувати вимірювальний процес, обробити первинні дані та розрахувати основні теплові баланси.

Сучасна інженерна практика вимагає від фахівців глибокого розуміння методології експериментальних досліджень енергетичних об'єктів. Виконання лабораторних і розрахункових завдань дозволяє закріпити теоретичні знання з курсу термодинаміки та тепломасообміну, отримати практичні навички роботи з експериментальними даними, опанувати методи виключення похибок і випадкових відхилень, а також навчитися чітко оформлювати результати технічних випробувань відповідно до чинних стандартів.

Окрему увагу в роботі приділено методам оцінки похибок вимірювань, аналізу втрат теплоти та визначенню основних складових теплового балансу, що є критично важливим для забезпечення безаварійної та економічної роботи суднової енергетичної установки.

Отримані під час випробувань навички є базовими для фахового інженерно-технічного супроводу експлуатації суднових котельних агрегатів та прийняття обґрунтованих рішень щодо підвищення його економічності.

1 МЕТА, ТЕХНІЧНІ ЗАВДАННЯ ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ БАЛАНСОВИХ ВИПРОБУВАНЬ

Метою проведення теплотехнічних випробувань головних і допоміжних котлів, які проводяться в процесі експлуатації, є встановлення відповідності або причини невідповідності показників роботи котла паспортним даним. В окремих випадках випробування котла проводяться для визначення доцільності його модернізації чи переобладнання, а також після цих заходів. Дані, отримані в результаті випробувань, дозволяють встановити оптимальні режими спалювання палива за різних навантажень котла, відкоригувати налаштування системи автоматичного регулювання горіння палива, отримати вихідні дані для системи діагностики та оцінки екологічних показників викидів.

Завдання, що вирішуються під час теплотехнічних випробувань:

а) визначення якості протікання топкового процесу;

б) оцінка економічності роботи парового котла на різних режимах роботи (номінальному, форсованому і часткових навантаженнях), а також визначення режиму роботи з максимальним ККД;

в) отримання вихідних даних для оцінювання техніко-економічних показників роботи котла від його паропродуктивності.

Результати випробувань оформлюються у вигляді графічних залежностей характеристик парового котла від паропродуктивності.

Залежно від основного завдання випробувань складається програма, що встановлює режими випробувань, обсяг і порядок робіт, обсяг контрольованих параметрів, кількість, тип і клас точності додаткових вимірювальних приладів, вказівки щодо періодичності запису спостережень. До початку випробувань повинні бути проінструктовані (а за необхідності й навчені) спостерігачі, які записують показники попередньо тарированих приладів.

Умови проведення теплотехнічних випробувань залежать як від режиму роботи котельної установки, так і від впливу різних зовнішніх чинників, зокрема умов навколишнього середовища.

На кожному заданому сталому режимі (установлюваному режимі) котел працює протягом від 2,5 до 3 годин, показники приладів заносяться до журналу спостережень через кожні 15 – 20 хвилин. Необхідний режим встановлюється за кілька годин до початку випробувань з тим, щоб усі параметри й показники роботи котла відповідали даному режиму, а теплота, що виділяється під час спалювання палива, не акумулювалася робочим тілом і конструкціями котла.

2 КОРОТКИЙ ОПИС ПАРОВИХ КОТЛІВ, ВСТАНОВЛЕНИХ У ЛАБОРАТОРІЇ КАФЕДРИ

Об’єктами для проведення теплотехнічного випробування слугують судові водотрубні однопроточні (за ходом газів) парові котли, встановлені в лабораторії кафедри «Суднові енергетичні системи і комплекси» (СЕСК).

Таблиця 1 — Основні технічні характеристики парових котлів лабораторії

Показники	КВВ 1/5 А	КВВА 7,5/28
Тип парового котла	Судовий, однопроточний, вертикальний, водотрубний, двоколекторний, з бічним екраном	Судовий, однопроточний, вертикальний, водотрубний, двоколекторний, з розвиненою поверхнею нагріву
Поверхня нагріву: - випарна, $м^2$ - пароперегріваюча, $м^2$	 28,2 -	 110,9 29,6
Об’єм топки, $м^3$	0,7	2,24
Робочий тиск, $кгс/см^2$	5	28
Паропродуктивність, т/год	1	7,5
Температура перегрітої пари,°С	-	бл. 335
Розрахунковий ККД, %	70	78,5
Тип форсунки	паромеханічна	

Короткий опис парового котла КВВ 1/5 А

Корпус парового котла є трубною системою, замкнутою на паровий і водяний колектори. Випарна поверхня парового котла утворена конвективним пучком і екраном (підйомні труби). За екраном розташовані неопалювані (опускні) труби. Трубна частина парового (підйомні та опускні) котла складається з труб 29×2,5 мм.

Паровий колектор виконаний зварним. Обечайка колектора виготовлена з листа товщиною 12 мм з одним поздовжнім швом. Переднє днище штамповане, приварне, а заднє – штамповане, знімне, тарілчастої форми. Заднє днище своїм фланцем кріпиться на болтах до фланця обечайки. Матеріал колектора – сталь марки 20К за ДСТУ 8804:2018

Водяний колектор виконаний з гарячекатаної труби 377×12 мм. Днище водяного колектора знімне, тарілчастої форми і кріпиться своїми фланцями на болтах до фланців обечайки. Матеріал колектора – сталь 20 за

ДСТУ 7809:2015. Для встановлення на фундамент на водяному колекторі передбачено дві приварні опори:

а) Нерухома – розташована на передньому фронті котла

б) Рухома – розташована на задньому фронті котла

Нерухомі опори завжди розташовані із сторони поста керування котельної установки для запобіганню виходу з ладу котельної арматури при теплових деформаціях.

Внутрішні частини парового колектора складаються з парозбірної труби, живильної труби та системи верхнього продування. Дуттьове повітря подається вентилятором у міжобшивковий простір парового котла через приймальний патрубок, розташований на передньому фронті, омиває бічні стінки та потрапляє до повітронаправляючого пристрою.

Паровий котел проектувався для встановлення як допоміжний на суднах і пристосований для роботи з автоматичним керуванням.

Короткий опис парового котла КВВА 7,5/28

Опалення парового котла двостороннє, чотирма паромеханічними форсунками — по дві форсунки з кожного фронту. Регулювання паромеханічних форсунок здійснюється шляхом зміни тиску палива. Розпил при малих тисках палива виконується парою.

Підведення повітря від електровентилятора здійснюється безпосередньо в кожух парового котла, який виконано двошаровим.

Корпус парового котла є трубною системою, замкнутою на паровий і водяний колектори. Випарна поверхня парового котла утворена конвективним пучком і екраном. За екраном розташовані неопалювані опускні труби. Таким чином, паровий котел має один контур циркуляції.

Конвективний пучок складається з 11 рядів труб. Розташування труб у пучку — коридорне. Екран виконано суцільним, однорядним. Уся трубна частина парового котла виконана з труб 29×2,5 мм і з’єднується з колекторами за допомогою вальцювання. Матеріал труб – сталь марки 10 за ДСТУ 7809:2015.

Паровий колектор внутрішнім діаметром 770 мм виконано зварним із приварними встик штампованими днищами. Внутрішні частини парового колектора складаються з наступних елементів:

а) дирчастий заспокійливий та стельовий сепараційні щити;

б) живильної труби;

в) системи верхнього продування.

Водяний колектор внутрішнім діаметром 500 мм виготовлено з суцільнокатаної труби з приварними встик штампованими днищами. Матеріал парового і водяного колекторів — середньомарганцевиста сталь (відповідно до ДСТУ 8804:2018).

Пароперегрівач розташований за конвективним пучком і виконаний горизонтальним, змійовикового типу, з прямими трубами.

3 МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ККД КОТЛА

3.1 Метод прямого теплового балансу

Метод прямого теплового балансу передбачає визначення коефіцієнта корисної дії (ККД) безпосередньо як відношення теплоти, отриманої водою і парою (Q_1), до теплоти, виділеної при спалюванні палива та внесеної в топку повітрям і парою ($Q_р^р$) (при паровому розпилі палива).

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_р^р} = \frac{D_{пе}(i_{пе} - i_{пв}) + D_н(i_н - i_{жв})}{Q_н^р + i_п + Q_ф},$$

де $D_{пе}$, $D_н$ – масова витрата перегрітої та насиченої пари відповідно;

$i_{пе}$, $i_н$, $i_{жв}$ – питома ентальпія пари, відповідно перегрітої, насиченої та живильної води;

$Q_н^р$ – нижча питома теплота сгоряння робочої маси палива;

$i_п$ – питома кількість теплоти, отримана в паливопідігрівачі та внесена в топку з паливом;

$Q_Ф$ – кількість теплоти, внесена парою при використанні парових або паромеханічних форсунок.

Кількість теплоти, яка внесена у топку з паливом визначається за формулою:

$$i_п = C_Т \cdot \Delta t_п$$

де $C_Т$ – питома теплоємність палива, кДж/(кг·К);

$\Delta t_п$ – різниця температур підігрітого і холодного палива, К;

Кількість теплоти, яка внесена парою при використанні парових або паромеханічних форсунок, визначається за формулою:

$$Q_Ф = G_ф\ (i_ф - 2510)$$

де $G_ф$ – масова витрата пари на розпилювання 1 кг палива. Складає від 0,05 кг/кг до 0,25 кг/кг;

$i_ф$ – питома ентальпія розпилювальної пари;

2510 – приблизне значення питомої ентальпії пари у складі вихідних газів, кДж/кг.

Цей метод вимагає визначення в процесі випробувань витрати перегрітої, насиченої пари, витрати пари через вторинний пароперегрівник, а також ентальпії пари різних станів. Судові паровиробники мають низьку оснащеність КВП, в результаті чого визначення низки показників є

утрудненим. Більш доступним є метод зворотного теплового балансу, який не вимагає вимірювати витрати і характеристики пари та витрату палива. Абсолютна похибка обох методів залежить в основному від точності вимірювань.

3.2 Метод зворотного теплового балансу

Коефіцієнт корисної дії котла визначається як залишковий член теплового балансу після обчислення окремих втрат теплоти. Для розрахунку коефіцієнта надлишку повітря та втрат q_2, q_3 необхідно визначити вміст RO_2, O_2 та CO у продуктах згоряння. Для цього в період випробувань застосовують прості хімічні газоаналізатори типу ГХТ або електронні газоаналізатори. Втрати теплоти q_2, q_3, q_5, при розрахунку ККД визначаються у відсотках.

Визначення ККД котла за методом зворотнього теплового балансу обчислюється з формули:

$$\eta = 100 - (q_2 + q_3 + q_5)$$

де q_2 – втрата теплоти з вихідними газами;
q_3 – відносна втрата теплоти від хімічної неповноти згоряння;
q_5 – відносна втрата теплоти у навколишнє середовище.

Для визначення втрати теплоти з вихідними газами q_2 при проведенні теплотехнічних випробувань котла може бути використана наближена емпірична формула:

$$q_2 = 3{,}5 \cdot \alpha \cdot \frac{t_{вих} - t_{хп}}{100} + 0{,}5\frac{t_{вих} - t_{п}}{100}, \%$$

де α – коефіцієнт надлишку повітря;
$t_{вих}$, $t_{хп}$ і $t_п$ – відповідно температура вихідних газів, холодного повітря та палива.

Відносна втрата від хімічної неповноти згоряння q_3 у відсотках визначається за формулою:

$$q_3 = \frac{23800}{Q_p^p} \cdot \frac{K_p}{RO_2 + CO} \cdot CO, \%$$

де Q_p^p – наявна кількість теплоти за робочою масою палива, кДж/кг;
RO_2 и CO – відсотковий вмістр триатомних газів та оксиду вуглецю в сухому газі, що визначається за допомогою газоаналізаторів.
K_p – приведений вуглець палива, %

Приведений вуглець палива визначається як:

$$K_р = C^р + 0{,}375 \cdot S^р_л$$

де $C^р$ – вміст вуглецю в робочій масі палива, %;
$S^р_л$ – вміст леткої сірки в робочій масі палива, %;

Також можливе визначення втрати q_3 за наближеною залежністю:

$$q_3 = M \cdot \alpha \cdot CO$$

де M – емпіричний коефіцієнт, M = від 3,1 до 3,3 (менші значення коефіцієнта відповідають нижчим значенням коефіцієнта надлишку повітря α).

Визначення відносної втрати теплоти в навколишнє середовище q_5 становить певні труднощі, проте орієнтовні значення можна визначити з графіка (Рис. 1).

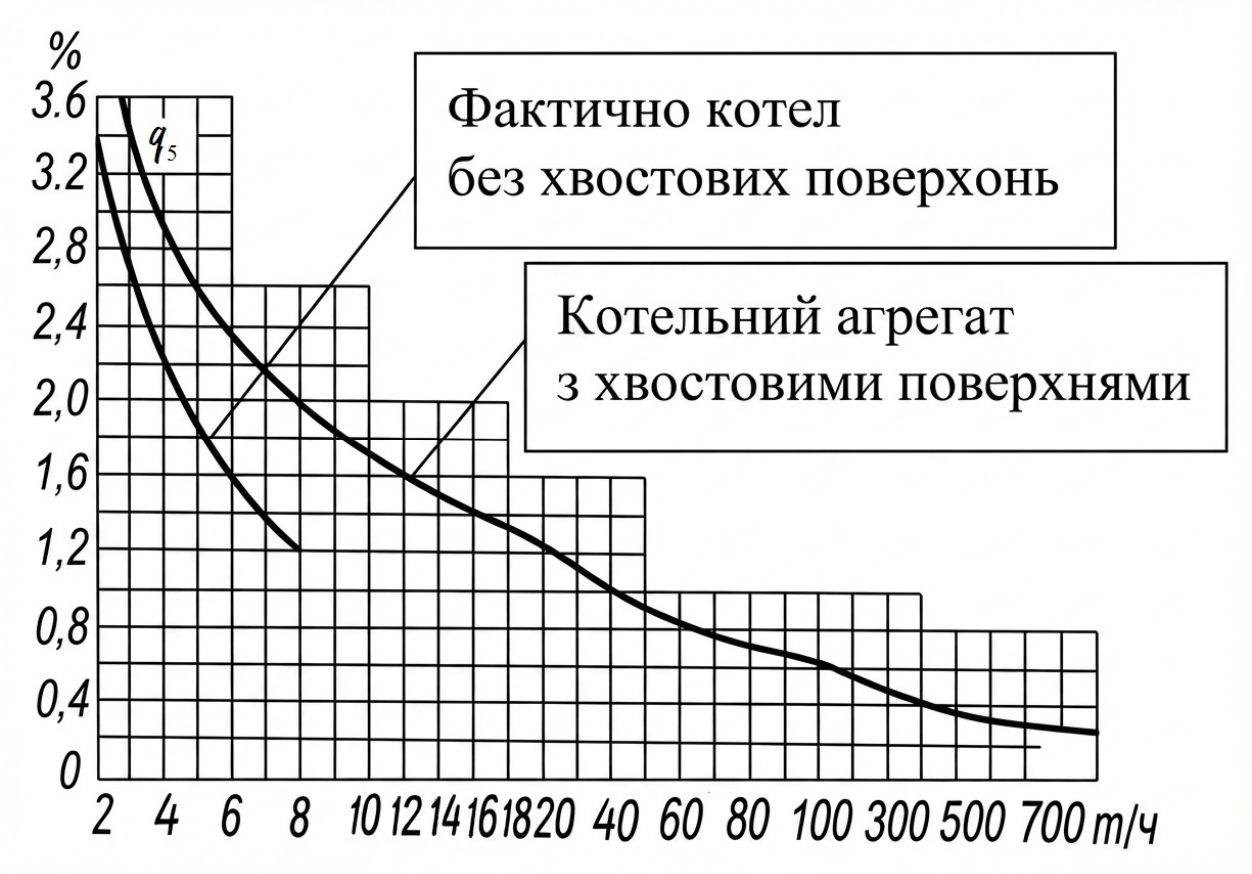


Рисунок 1 – Втрата теплоти у навколишнє середовище q_5

4 ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗГОРЯННЯ ПАЛИВА, ВМІСТУ КИСНЮ ТА ОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ У ВИПУСКНИХ ГАЗАХ КОТЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИЛАДІВ ТИПУ РСО 961

Для оперативного аналізу продуктів згоряння використовуються прилади FEM, РСО 960 та РСО 961 фірми Neotronics (Англія), які слугують для оптимізації процесу горіння і визначення забрудненості поверхні нагріву, а також можуть застосовуватися для визначення коефіцієнта надлишку повітря в дизелях.

Прилад FEM містить електрохімічний датчик кисню, термопару та мікропроцесор; у приладах РСО 960 та РСО 961 є додатковий електрохімічний датчик оксиду вуглецю, а прилад РСО 961 має друкувальний пристрій.

Відбір проби газів здійснюється за допомогою зонда та мініатюрного діафрагмового насоса. Проба охолоджується в зонді, очищується і просушується в змінному фільтрі, після чого потрапляє до датчиків кисню та оксиду вуглецю.

Вимірювання виконуються в перерізі газоходу котла. Зонд призначений для вимірювання температур у діапазоні від 25 до 999 °С, сам прилад може експлуатуватися при температурі від 0 до 50 °С (протягом 2 хв при температурі до 100 °С). Після ввімкнення приладу відбувається автоматичне налаштування протягом 20 с на температуру та вміст кисню в навколишньому середовищі. Після самоналагодження приладу, натискається кнопка використовуваного виду палива (мазут, газ, тверде паливо). Зонд приладу вводиться в газохід через отвір діаметром від 10 до 15 мм. Обмежувач зонда регулюється таким чином, щоб датчик знаходився приблизно в центрі перерізу газоходу.

Пробу відбирають протягом приблизно 1 хв. Увімкнення лампочки та поява звукового сигналу сповіщають про закінчення вимірювань.

Температуру газу, вміст кисню та ефективність згоряння палива відображаються на дисплеї при натисканні кнопки «вибір показників». Показники зберігаються в пам'яті прибору до тих пір, поки прилад не буде вимкнено або не розпочнуть новий замір.

Ефективність згоряння обчислюється в приладі для вищої теплотворної здатності палива за формулою:

$$\eta_{сг} = 100 - [RL + \frac{K_1 t}{21 - O_2} + K_2 (1121{,}4 + t)],$$

де RL – втрати теплоти в навколишнє середовище, що приймаються рівними 3 %;

$K_1 = 0{,}712$ (для рідкого палива);

t – різниця між температурою та температурою навколишнього середовища;

K_2 = 0,00512 (для рідкого палива);
O_2 – вміст кисню в продуктах згоряння, %.

Стан поверхні нагріву котла (забруднення) оцінюється за різницею між двома значеннями ефективності згоряння палива, одне з яких відповідає чистим поверхням нагріву котла. Зниження значення ефективності згоряння палива більш ніж на 5 % (за оптимального співвідношення паливо-повітря) свідчить про забрудненість поверхні нагріву. Як приклад у таблиці 2 наведено результати вимірювань ефективності згоряння палива (практично це значення відповідає значенню ККД котла), вмісту O_2 та CO у випускних газах котла КВВА 1/5, виконаних за допомогою приладу РСО 961.

Таблиця 2 – Результати вимірювань ефективності згоряння палива

Режим	Параметри, виміряні приладом РСО–961				Розрахункові параметри				
	$T_{вих}$– $t_{хп}$ °С	O_2 %	CO %	$\eta_{еф}$ %	α	RO_2 %	q_2 %	q_3 %	q_5 %
№ 1	370	12,7	0,059	64,9	2,42	6,02	33,2	0,42	3
№ 2	400	13,7	0,25	56,3	2,71	5,15	39,94	2,22	3
№ 3	403	14,7	0,125	49,6	3,14	4,51	46,3	1,29	3

5 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ БАЛАНСОВИХ ВИПРОБУВАНЬ

Балансове випробування повинно проводитися за усталеного теплового стану парового котла, тобто мають бути дотримані такі умови:

а) постійність витрати та температури живильної води, а також продуктивності й параметрів пари, що виробляється;
б) незмінність у часі температурного режиму обмурування та металу парового котла.

Сталий режим роботи може бути досягнутий у результаті достатньо тривалої роботи котельної установки до випробування.

Тривалість випробування під час спалювання рідкого палива становить не менше 2 годин. Вимірювання проводяться з 10-хвилинним інтервалом.

Під час проведення випробувань вимагається суворе дотримання правил техніки безпеки, передбачених під час експлуатації парового котла.

НЕ ДОЗВОЛЯЄТЬСЯ:

– відкривати або закривати вентилі;
– заходити за огородження двигунів і механізмів;
– вмикати або вимикати механізми без дозволу керівника;
– необхідно бути уважним під час пересування трапами та решітками;

– не розглядати незахищеними очима палаючий факел, не ставати перед фронтом котла під час запалювання.

Під час першого етапу (підготовки до випробування) необхідно ознайомитися з приладами, що використовуються, та порядком роботи з ними.

Початком випробування при роботі на рідкому паливі вважається перший відлік вимірювання витрати палива та живильної води. У цей момент керівник дає сигнали, а спостерігач фіксує у бланках спостережень відліки за приладами. У разі обслуговування одним спостерігачем кількох приладів показники знімаються в одній і тій самій послідовності.

До проведення першого заміру рівень води повинен бути приведений у середнє положення, і в момент першого відліку він зазначається міткою на водопокажному приладі.

У процесі випробування бажано підтримувати рівень води на цій мітці, а до кінця випробування рівень має бути приведений до початкового положення.

6 ПОРЯДОК ОБРОБКИ ДАНИХ, ОТРИМАНИХ ПРИ ВИПРОБУВАННЯХ

Обробка даних випробування починається з підрахунку середньоарифметичних значень кожної величини. Явно хибні заміри (промахи) з подальших підрахунків виключаються.

Отримане середньоарифметичне значення порівнюють з величиною кожного відліку. Якщо значення окремого відліку перевищує допустиме розходження зі середньоарифметичним, його виключають як нехарактерне для даного режиму. Для решти замірів підраховують нове середньоарифметичне.

Кількість виключених відліків не повинна перевищувати 25 % від загальної кількості замірів даної величини за дослід.

Допустиме розходження між окремими замірами та середньоарифметичним значенням за режим наводиться в таблиці 3.

Таблиця 3 – Допустимі відхилення вимірюваних величин за режимом

Найменування вимірюваної величини	Допустиме розходження у %
Витрата палива за мірними баками за час між відліками	±2
Витрата живильної води за мірними баками	±2
Витрата пари за дросельним приладом (кг/с, кг/год)	±4
Показники термометрів, °С	±2
Показники манометрів, кг/см^2 (МПа)	±2
Температура димових газів, °С	±4
Різниця рівнів робочих рідин у диференційному манометрі або тягомірі, мм вод. ст.	±3

Середні значення основних величин за режим підраховують з точністю вказаною у таблиці 4.

Таблиця 4 – Точність визначення середніх значень основних величин за режим

Найменування величини	Точність обчислення
Витрата палива	до 1 кг/год
Витрата живильної води	до 10 кг/ год
Витрата пари	до 10 кг/ год
Тиск пари та води	до 0,1 кг/см^2
Температура води та пари (за термометром)	до 0,5 °С
Вміст RO2 и O2	до 0,05 %
Тиск або розрідження за тягоміром	до 0,5 мм вод. ст.

За отриманими величинами вихідних даних випробування котла складається «Зведена відомість результатів випробування парового котла», на підставі якої визначаються його основні теплотехнічні характеристики.

7 РЕЗУЛЬТАТИ БАЛАНСОВИХ ВИПРОБУВАНЬ ПАРОВОГО КОТЛА

На підставі первинних вимірювань, оброблених та усереднених відповідно до встановлених вимог, формується підсумковий документ випробувань. Нижче наведено зведену відомість результатів випробування парового котла, яка містить основні параметри роботи устаткування, теплові характеристики, показники ефективності та результати аналізу робочих середовищ. Отримані дані використовуються для подальшого теплового розрахунку та оцінки енергетичної ефективності котельної установки.

Зведену відомость оформлюють, як результат лабораторної роботи в журналі протоколів лабораторних робіт.

Таблиця 5 - Зведена відомість результатів випробування парового котла

Найменування величини	Позначення	Розмірність	Значення величини
1	2	3	4
1 Тривалість випробувань		год : хв.	
2 Поверхня нагріву	H	$м^2$	
3 Об'єм топки	$V_т$	$м^3$	
4 Марка палива та його елементарний склад:	$C^р$	%	
	$H^р$	%	
	$S^р$	%	
	$N^р$	%	
	$O^р$	%	
	$W^р$	%	
5 Теплота згоряння палива	$Q^р_н$	$\frac{кДж}{кг}$	
6 Середньогодинна витрата палива	B	$\frac{кг}{год}\left(\frac{кг}{с}\right)$	
7 Теплове напруження топочного об'єму	q_v	$\frac{кВт}{м^3}$	
8 Середньогодинна паропродуктивність	Д	$\frac{кг}{год}\left(\frac{кг}{с}\right)$	
9 Витрата перегрітої пари	$Д_{пп}$	$\frac{кг}{год}\left(\frac{кг}{с}\right)$	
10 Витрата насиченої пари	$Д_н$	$\frac{кг}{год}\left(\frac{кг}{с}\right)$	
11 Вміст у димових газах: а) . . . . . RO_2		%	
б) . . . . . O_2		%	
в) . . . . . CO		%	
12 Коефіцієнт надлишкового повітря за газовим аналізом	$\alpha_г$		
13 Динамічний напір	$\rho_д$	Па	
14 Дійсна витрата повітря	$V_д$	$м^3/с$	
15 Коефіцієнт надлишкового повітря за дійсною витратою повітря	$\alpha_д$		

1	2	3	4
16 Тиск насиченої пари	P_o	кг/см^2 (МПа)	
17 Тиск перегрітої пари	$P_{пп}$	кг/см^2 (МПа)	
18 Температура перегрітої пари	$t_{пп}$	°С	
19 Температура димових газів	$t_{вих}$	°С	
20 Температура живильної води	$t_{жв}$	°С	
21 Ентальпія перегрітої пари	$i_{пп}$	кДж/кг	
22 Ентальпія насиченої пари	$i_н$	кДж/кг	
23 Температура палива	$t_п$	°С	
24 Температура холодного повітря	$t_{хп}$	°С	
25 Тиск повітря в коробі	$h_к$	мм вод.ст. (Па)	
26 Тиск у топці	$h_т$	мм вод.ст. (Па)	
27 Тиск газів у димовій трубі	$h_{дт}$	мм вод.ст. (Па)	
28 ККД котла	η	%	
29 Видима випаровуваність палива	Д/В	%	
30 Втрати теплоти з димовими газами	q_2	%	
31 Втрати теплоти від хімічної неповноти згоряння	q_3	%	
32 Втрати теплоти в навколишнє середовище	q_5	%	

8 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Які основні показники робочого процесу ПК?
2. Основні поняття про природну циркуляцію води в ПК.
3. Основний вираз теплового балансу ПК.
4. Як визначаються складові теплового балансу під час теплотехнічних випробувань?
5. Вираз коефіцієнта корисної дії парового котла.

6. Як визначити коефіцієнт надлишкового повітря за даними газового аналізу?

7. Як визначити коефіцієнт надлишкового повітря за дійсною витратою повітря?

8. Як визначити ентальпію димових газів?

9. Як впливає коефіцієнт надлишкового повітря на втрату теплоти з димовими газами?

10. Як визначити втрату теплоти від хімічної неповнети згоряння?

11. Як залежить втрата тепла в навколишнє середовище від паропродуктивності парового котла?

12. Як залежить коефіцієнт корисної дії парового котла від його продуктивності?

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 Сторчак О. О. Суднові котельні установки : конспект лекцій для студентів спеціальностей «Морський та внутрішній водний транспорт» і «Енергетичне машинобудування». Одеса : ОНМУ, 2026. 188 с.

2 Соломатін С. Я., Сторчак О. О., Галкін В. М. Суднові котельні установки : методичні вказівки щодо виконання курсового проєкту. Одеса : ОНМУ, 2016. 56 с.

3 Котел водогрійний допоміжний вертикальний типу КВВА 7,5/28. Технічний опис та інструкція з експлуатації. Миколаїв : ЧСЗ, 1985. 64 с.

4 ДСТУ 8804:2018. Прокат товстолистовий з нелегованої та легованої сталі для котлів і посудин, які працюють під тиском. Технічні умови : Чинний від 2019-01-01. Київ : УкрНДНЦ, 2019. 16 с.

5 ДСТУ 7809:2015. Прокат сортовий, калібрований зі спеціальним обробленням поверхні з вуглецевої якісної конструкційної сталі. Загальні технічні умови : Чинний від 2016-04-01. Київ : УкрНДНЦ, 2016. 18 с.

6 Правила класифікації та побудови морських суден. Том 3 / Регістр судноплавства України. Київ : Регістр судноплавства України, 2020. 632 с.