МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

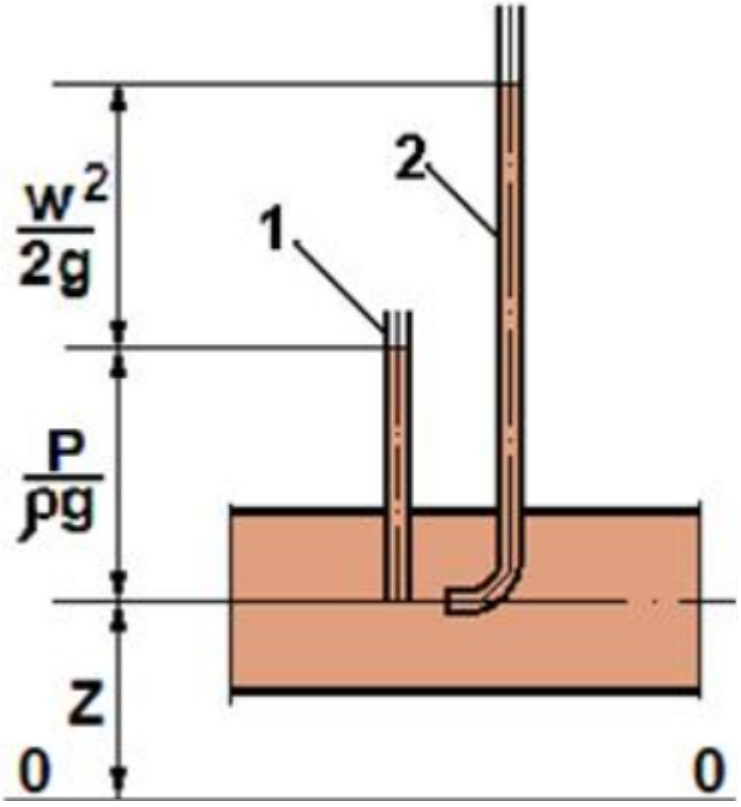
Кафедра «Суднові енергетичні системи і комплекси» (СЕСК)

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни
«Суднові котельні установки»

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

«ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ПОВІТРЯ ТА АЕРОДИНАМІЧНОГО ОПОРУ ТОПКОВОГО ФРОНТУ ПАРОВОГО КОТЛА»



Одеса 2026

Методичні вказівки до лабораторних робіт підготували: к.т.н., професор Соломатін Сергій Якович та ст. викладач Сторчак Олександр Олександрович кафедри суднових енергетичних систем і комплексів 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 суднових енергетичних систем і комплексів, механік першого розряду А. С. Бойчук.

ЗМІСТ

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ 3
2 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ТА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ 4
2.1 Конструкція газоповітряного тракту котлів КВВ 1/5 та КВВА 7,5/28 4
2.2 Вимірювання витрати повітря пневмометричними трубками 4
2.3 Визначення середньої швидкості потоку за критерієм Рейнольдса 6
3 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА ТА ОФОРМЛЕННЯ ПРОТОКОЛУ 7
4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ.....9
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ..... 9
ДОДАТКОК А. Фізичні характеристики сухого повітря при різній температурі……10

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Мета роботи:

- Вивчення газоповітряного тракту котлів типу КВВ 1/5 та КВВА 7,5/28, встановлених у котельному відділенні лабораторії «машинний зал» кафедри СЕСК.
- Вивчення пневмометричного методу вимірювання витрати газу.
- Вимірювання аеродинамічного опору топкового фронту парового котла типу КВВ 1/5.

Обладнання та вимірювальні прилади:

– Суднові котельні установки типу КВВ 1/5 та КВВА 7,5/28;
– Дутьовий вентилятор;
– Пневмометрична трубка (трубка Прандтля/Піто);
– Диференційний рідинний манометр (тягонапоромер).
– Термометр для вимірювання температури повітряного потоку.

Загальні вказівки:

Робота виконується в лабораторії «Машинний зал» кафедри СЕСК під керівництвом викладача. До виконання допускаються студенти, які пройшли інструктаж з техніки безпеки.

Результати лабораторної роботи оформлюються у «Журналі протоколів лабораторних робіт» відповідно до рекомендацій методичних вказівок і таблиці розрахунку приведеному у пункті 4 методичних вказівок.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ТА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ

2.1 Конструкція газоповітряного тракту котлів КВВ 1/5 та КВВА 7,5/28

Каркас і обшивка котлів КВВ 1/5 та КВВА 7,5/28 виконані подвійними. Дутьове повітря подається вентилятором у міжобшивальний простір котла через приймальний патрубок, розташований на передньому фронті, омиває з усіх боків стінки котла і через повітронапрямний пристрій потрапляє в топку. Повітронапрямний пристрій на котлі КВВ 1/5 розташований на передньому фронті, а у котла КВВА 7,5/28 повітронапрямні пристрої розташовані на передньому та задньому фронтах.

Прийняті системи розподілу повітря забезпечують охолодження стінок кожуха котлів під час їх роботи та зменшують втрати тепла в навколишнє середовище через стінки кожуха.

2.2 Вимірювання витрати повітря пневмометричними трубками

Пневмометричні трубки застосовуються з метою опосередкованого визначення витрати газу (або рідини) шляхом вимірювання швидкостей руху в каналі, переріз якого відомий.

Принцип дії пневмометричної трубки (рис. 1) заснований на вимірюванні в певній зоні потоку динамічного тиску Рд, що являє собою різницю між повним (Рп) і статичним (Рст) тисками. Пневмометричні трубки, що виконуються з напівсферичними або конічними головками, встановлюються вздовж осі трубопроводу вхідним отвором назустріч потоку (рис. 2).

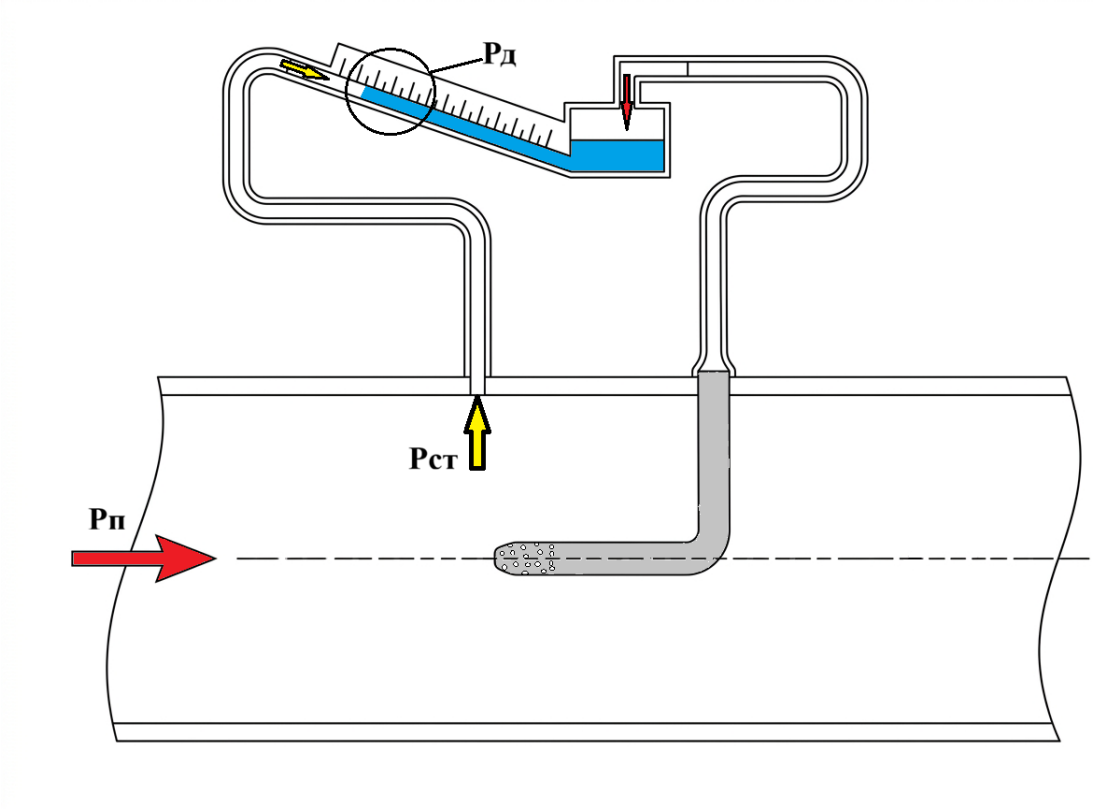


Рисунок 1 – Схема і принцип дії пневмометричної трубки

Повний тиск потоку вимірюється по каналу трубки, спрямованому вздовж потоку; статичний тиск — по кільцевому каналу, спрямованому перпендикулярно до осі трубопроводу. Різниця тисків (динамічний тиск Рд) вимірюється U-подібними (V-подібними) рідинними манометрами або мікроманометрами, з'єднаними диференціально з відводами обох каналів пневмометричної трубки.

При цьому:

$$P_д = P_П - P_{СТ} = h\left(\rho_р - \rho_б\right)\cdot g \cdot 10^{-3}, \text{ Па} \quad (1);$$

де:

h — рівень стовпа рідини в рідинному манометрі, мм;

$\rho_р$ — густина робочої рідини в манометрі, кг/м³;

$\rho_б$ — густина барометричного середовища, що знаходиться над рідиною в манометрі, кг/м³.

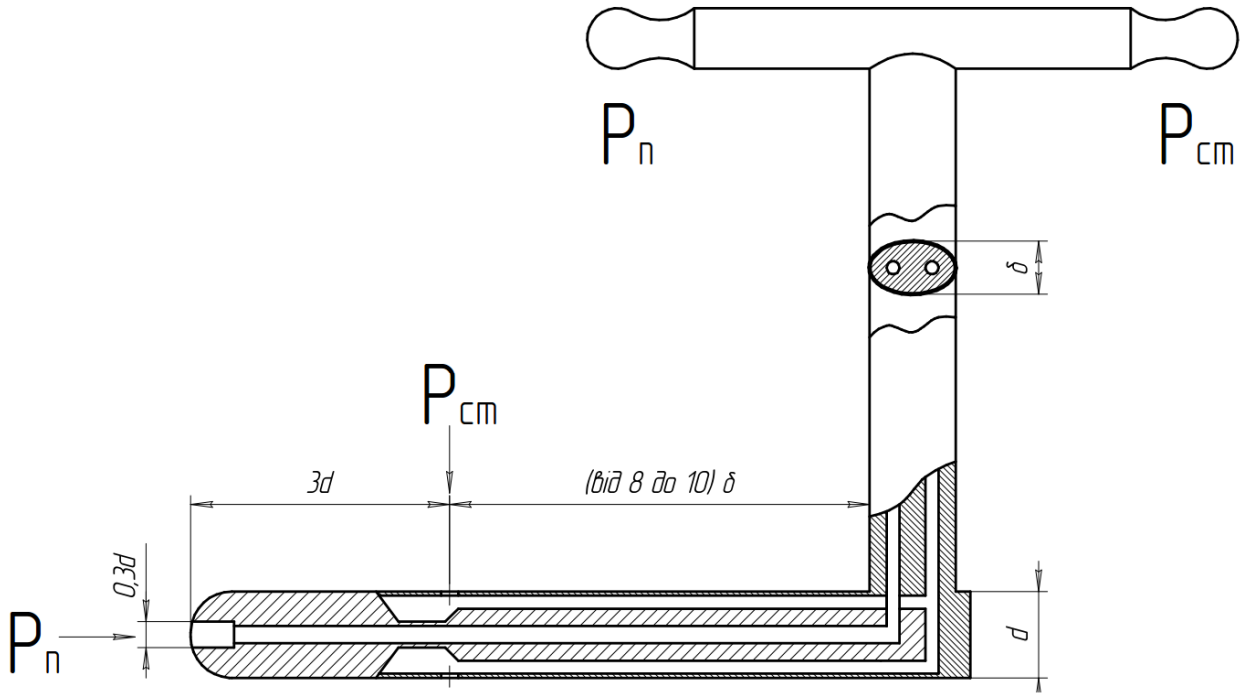


Рисунок 2 – Конструкційна схема пневмометричної трубки.

Швидкість потоку газу (рідини) з густиною $\rho_п$ за рівнянням Бернуллі дорівнює:

$$W = \sqrt{\frac{2P_д}{\rho_п}}, \text{ м/с} \quad (2);$$

2.3 Визначення середньої швидкості потоку за критерієм Рейнольдса

Швидкість потоку, що протікає по трубопроводу, неоднакова в різних точках перерізу і максимального значення досягає в центрі перерізу трубопроводу. Середня швидкість потоку за перерізом трубопроводу ($W_{сер}$) може визначатися:

а) за допомогою усереднення часткових напорів:

$$W_{сер} = \sqrt{\frac{2g}{\rho_n} \cdot h_{ср} \left(\rho_р - \rho_б\right)}, \text{ м/с} \quad (3);$$

де:

$h_{ср}$ – середній напір, мм (визначений за шкалою манометра) або кг/м².

Визначається усередненням часткових напорів (h_1, h_2, h_3, …, h_n), вимірюваних пневмометричною трубкою у рівновеликих концентричних ділянках перерізу трубопроводу:

$$h_{ср} = \left[\frac{1}{n}(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} + ... + \sqrt{h_n})\right]^2, \text{ кг/м}^2 \ (4);$$

У цьому випадку переріз трубопроводу розбивається на концентричні ділянки колами, проведеними з центра перерізу радіусами:

$$r_1 = R\sqrt{\frac{1}{2n}}, \quad r_2 = R\sqrt{\frac{3}{2n}}, \quad r_n = R\sqrt{\frac{2n-1}{2n}}, \text{ мм} \quad (5)$$

де:

R – внутрішній радіус трубопроводу;

n — кількість концентричних кіл.

Для трубопроводів з внутрішнім діаметром ($D_{вн}$):

- до 150 мм кількість концентричних кіл n = 2;
- при $D_{вн}$ від 150 мм до 300 мм кількість концентричних кіл n = 3;
- при $D_{вн}$ від 300 до 500 мм кількість концентричних кіл n = 5.

б) $W_{сер}$ можна також визначити за максимальною швидкістю потоку (W_{max}), виміряною по осі трубопроводу.

При цьому:

$$\frac{W_{сер}}{W_{\max}} = f(\mathrm{Re}), \quad (6)$$

Відповідно:

$$\mathrm{Re} = \frac{D_{вн} \cdot W_{\max}}{\nu}, \quad (7)$$

де:
ν — коефіцієнт кінематичної в'язкості середовища, м²/с.

Співвідношення $W_{сер} / W_{max}$ визначається за графіком (рис. 3).

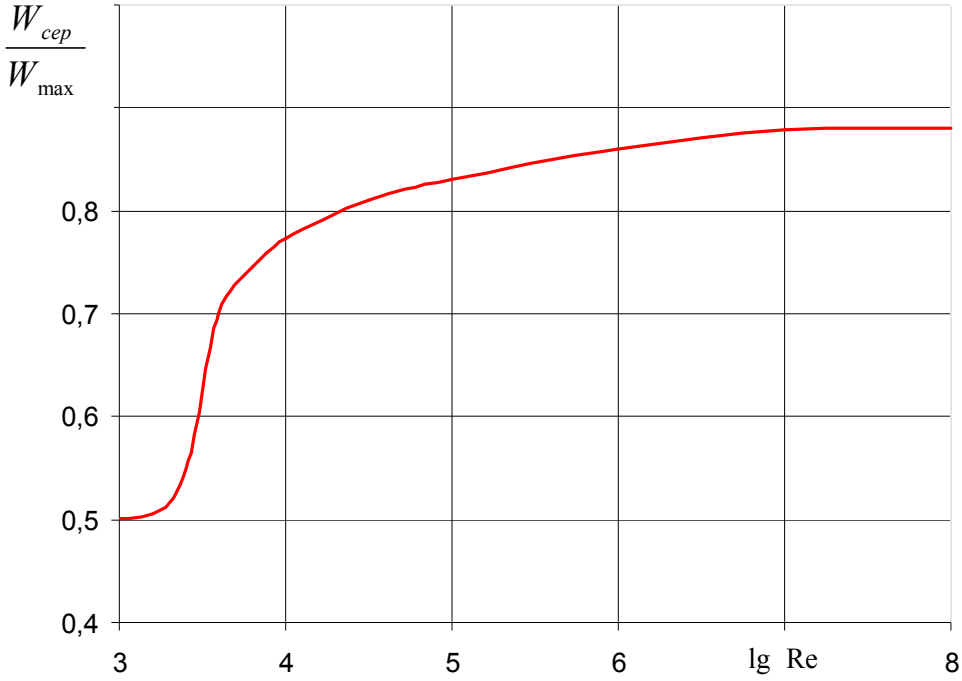


Рисунок 3 – Графік залежності співвідношення швидкостей $W_{сер} / W_{max}$ від lg Re

3 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА ТА ОФОРМЛЕННЯ ПРОТОКОЛУ

Оформлення протоколу лабораторної роботи відбувається у наступному порядку:

1. Привести ескіз схеми установки вимірювальних приладів парового котла
2. Описати принцип виміру розходу повітря
3. Таблиця результатів вимірювань. Форма таблиці приведена нижче (Таблиця 1).

Таблиця 1 – Результати замірів і розрахунок величин

Найменування	Розмір-ність	Позна-чення	Розрахункова формула або джерело	Чисельне значення
Внутрішній діаметр трубопроводу	м	$D_{вн}$	Вимірюється на паровому котлі	
Температура потоку	°С	$t_п$	за термометром	
Висота стовпа рідини в манометрі	мм	h	за дифф. манометром	
Густина потоку	кг/м^3	$\rho_п$		
Густина робочої рідини в манометрі	кг/м^3	$\rho_р$		
Густина середовища, що знаходиться над робочою рідиною в манометрі	кг/м^3	$\rho_б$		
Динамічний напір	Па	$P_д$	Див. формулу 1	
Максимальна швидкість повітря	м/с	W_{max}	Див. формулу 2	
Коефіцієнт кінематичної в'язкості	м^2/с	ν	за $t_п$ згідно з ДОДАТКОМ А	
Число Рейнольдса	—	Re	Див. формулу 7	
Відношення швидкостей	—	$\frac{W_{сер}}{W_{max}}$	за рисунком 3	
Середня швидкість	м/с	$W_{сер}$	$W_{сер} = W_{max}(\frac{W_{сер}}{W_{max}})$	
Об'ємна витрата повітря	м^3/с	V	$V = W_{сер}\frac{\pi D_{вн}^2}{4}$	
Масова витрата повітря	кг/с	G	$G=V\cdot\rho_п$	
Статичний тиск перед топковим фронтом	Па	P_1	за тягонапоромером	
Статичний тиск після топкового фронту (в топці)	Па	P_2	за тягонапоромером	
Опір топкового фронту	Па	$\Delta P_{тф}$	$\Delta P_{тф}=P_1-P_2$	

5 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. За рахунок чого здійснюється природна тяга (самотяга) в котлі?
2. Які опори виникають при русі повітря і газів в повітроводах та газоходах котла?
3. Від чого залежить величина аеродинамічного опору?
4. Що фізично характеризує число Рейнольдса (Re) у потоці газу та які існують основні режими течії?
5. У чому полягає фізична різниця між повним, статичним та динамічним напором потоку газу?

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

3 Допоміжні системи котельних установок [Електронний ресурс] : методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Допоміжні системи котлів і реакторів» для студентів спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування» спеціалізації «Тепло- і парогенеруючі установки» / НТУУ «КПІ» ; уклад.: Є. М. Письменний, В. І. Мариненко, О. О. Васечко. — Електронні текстові дані (1 файл: 5,7 Мбайт). — Київ : НТУУ «КПІ», 2016. — 62 с. — Назва з екрана.

4 ДСТУ ГОСТ 8.586.5:2009. Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. Частина 5. Методика виконання вимірювань (ГОСТ 8.586.5–2005, IDT) : Чинний від 2010-09-01. Київ : Держспоживстандарт України, 2010.

5 ДСТУ 8725:2017. Якість повітря. Викиди стаціонарних джерел. Методи визначення швидкості та об’ємної витрати газопилових потоків : Чинний від 11.09.2017. Київ : УкрНДНЦ, 2018.

ДОДАТОК А

Фізичні характеристики сухого повітря при різній температурі

Температура, °С	Густина (ρ), кг/м^3	Коефіцієнт кінематичної в'язкості ($\nu \cdot 10^6$), м^2/с
−100	1,984	5,93
−50	1,534	9,54
−20	1,365	11,93
0	1,252	13,7
10	1,206	14,7
20	1,164	15,7
30	1,127	16,61
40	1,092	17,6
50	1,056	18,6
60	1,025	19,6
70	0,996	20,45
80	0,968	21,7
90	0,942	22,9
100	0,916	23,78