

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Київський національний університет будівництва і архітектури

## **СТУПІНЬ СУХОСТІ ВОДЯНОЇ ПАРИ**

Методичні вказівки  
до виконання лабораторної роботи  
для здобувачів першого рівня (бакалаврського)  
вищої освіти спеціальності 144 «Теплоенергетика»  
освітньої програми «Енергетичний менеджмент.  
Енергоефективні муніципальні та промислові технології»

Київ 2024

УДК 621.311

C88

Укладачі: О.Г. Погосов, канд. техн. наук;  
П.О. Пасічник, канд. техн. наук;  
К.О. Габа, канд. техн. наук;  
Є.О. Кулінко, асистент;  
Б.І. Козячина, аспірант

Рецензент Чепурна Н.В., канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск М.А. Кириченко, канд. техн. наук,  
доцент, завідувач кафедри теплотехніки

*Затверджено на засіданні кафедри теплотехніки, протокол № 6  
від 15 листопада 2023 року.*

В авторській редакції.

**Ступінь** сухості водяної пари: методичні вказівки до виконання  
C88 лабораторної роботи / уклад.: Погосов О.Г. та ін. – Київ: КНУБА, 2024.  
– 16 с.

Містять зміст, порядок оформлення і вказівки до виконання  
лабораторної роботи

Призначено для здобувачів першого рівня (бакалаврського) вищої  
освіти спеціальності 144 «Теплоенергетика» освітньої програми  
«Енергетичний менеджмент. Енергоефективні муніципальні та  
промислові технології»/

© КНУБА, 2024

## Зміст

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	4
1. ОПИС ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПЛЕКСНОГО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДУ .....	4
2. АЛГОРИТМ ТА ПОСЛІДОВНІСТЬ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДУ .....	6
3. МАТЕРІАЛЬНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС ТА МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЮ СУХОСТІ НАСИЧЕНОЇ ПАРИ ДО СЕПАРАТОРА.....	9
4. МАТЕРІАЛЬНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС ТА МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЮ СУХОСТІ НАСИЧЕНОЇ ПАРИ ПІСЛЯ СЕПАРАТОРА.....	13
ВИСНОВКИ З ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ .....	15
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	17

## Загальні положення

Лабораторна база: електричний парогенератор АПЕ-30 номінальною потужністю 33 кВт виробництва ТОВ «СТЕК» (м. Харків) з вихідним ступенем сухості пари на рівні 0,88-0,95 з витратою від 5 до 45 кг/год, відцентровий сепаратор пари з тангенціальним вводом пари, система збору температурних даних, ваги лабораторні.

Актуальність роботи: вимірювання вологості насиченої пари є актуальним завданням в різноманітних технологічних та теплоенергетичних процесах [1], [2], оскільки фактично є параметром, який впливає не лише на ентальпію енергоносія (пари), а й вказує на міру хаотичності системи загалом через термодинамічний показник ентропії. Вологість пари

Мета лабораторної роботи: навчитися визначати ступінь сухості насиченої пари методом матеріально-енергетичного балансу ємності, в яку відбувається відбір досліджуваної пари.

Вихідні дані досліду (витрата пари, точка заміру вологості пари) обирається викладачем на початку виконання лабораторної роботи.

### 1. Опис та характеристики комплексного експериментального стенду

Ця лабораторна робота виконується в два етапи в частині експерименту по визначенню вологості пари на комплексному експериментальному стенді дослідження паросилового циклу Ренкіна [2], [3]. Лабораторна робота відбувається виконанням двох послідовних дослідів для дослідження ступеню сухості до та відповідно після сепараційного пристрою при одній величині робочого струму (детальніше дивись розділ 2 цих методичних вказівок). Загальний опис експериментального стенду наведено нижче.

Джерелом пари є електричний парогенератор АПЕ-30 номінальною потужністю 33 кВт виробництва ТОВ «СТЕК» (м. Харків) з паспортним вихідним ступенем сухості пари на рівні 0,94-0,95 з витратою від 5 до 45 кг/год. Надлишковий допустимий тиск пари для котла складає 0,8 МПа та

визначається потужністю живильного насоса та протитиском парового тракту. Парогенератор АПЕ-30 складається з механічного блоку парогенератора, насосної станції, електричного та гідравлічного допоміжного обладнання та мікропроцесорного блоку управління.

Механічний блок парогенератора включає в себе раму і секції парогенератора, розташовані на рамі. Секції парогенератора з'єднані електрично в групи, кожна з яких має свій силовий автомат, а гідравлічно в єдине ціле. У циліндричному корпусі, знаходяться електроди і екран. Електроди ізольовані між собою фторопластовою пластиною. Штанги вкручені в корпус електродів і кріпляться до фланця через фторопластові і текстолітові втулки. Подача води здійснюється через бічний патрубок, який зазвичай має фланцеве з'єднання з живильним колектором. Вихід пари відбувається через верхній бічний патрубок, який зазвичай має фланцеве з'єднання з паровим колектором. Злив води проводиться через зливний патрубок, який приєднується до зливного колектору. У парогенераторі АПЕ-30 струмопровідні частини на зовнішньому фланці парогенератора закриті захисною кришкою.

Для вирівнювання витрати пари та виключення пульсаційних явищ використовується ресивер, об'ємом  $0,15 \text{ м}^3$  виробництва Elbi Egse з максимальним робочим тиском  $1,2 \text{ МПа}$ . За ресивером було приєднано відцентровий сепаратор з подвійним відведенням рідкої фази. Сепаратор було виготовлено за кресленнями, розробленими колективом кафедри теплотехніки факультету інженерних систем та екології КНУБА, компанією ПрАТ «Промінь». Підвищення ефективності сепаратору досягається шляхом ефективної організації підведення пари до сепаратору (через сопловий тангенціальний апарат зі зміщеним конфузоровим у верхній частині пристрою), дотримання довжини ділянки формування відцентрових сил та відведення конденсату на кінці цієї ділянки. Відсепарована пара надходить в пароперегрівач з потужністю  $8 \text{ кВт}$ , після якого надходить в відцентрову одноступеневу турбіну GTX2860RS/0.64A/R, що штатно входить до турбокомпресора Garret GTB1549V. Відвідна пара за турбіною надходить в мокру градирню – конденсатор стенду, загальним об'ємом  $0,5 \text{ м}^3$ . Схема ділянки, на якій виконуються необхідні виміри наведено на рис. 1.1.

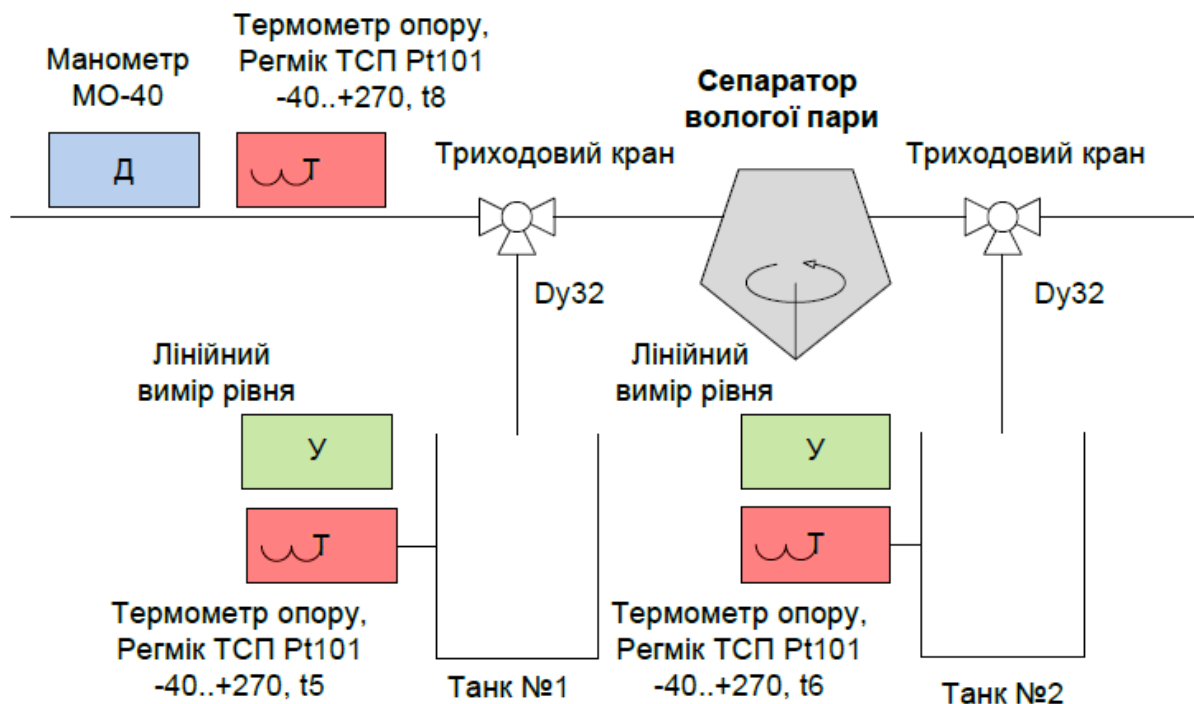


Рис. 1.1. Принципова схема ділянки комплексного експериментального стенду та розташування вимірювальних елементів

Проводячи дослід, слід дотримуватися правил безпеки [5] та інструкції виробника [6] електричного обладнання

## 2. Алгоритм та послідовність проведення дослідів

Для вимірювання ступені сухості пари до та після сепараційного пристрою застосовується методика, що базується на порівнянні енергетичних та матеріальних балансів вимірювальних ємностей – танків №1 та №2 (рис. 1.1).

Загальний алгоритм проведення експерименту та обробки експериментальних даних наведено нижче:

1. Задається значення сили струму пароперегрівача. Напруга в мережі є постійною (додатково контролюється за допомогою реле контролю напруги РНПП). Значення потужності визначається як добуток сили струму та напруги.

2. Триходовим краном відводиться вся витрата пари до Танку №1, загальною ємністю 8 л.

3. З інтервалом часу (фіксується окремо) вимірюється маса танку 1 з рідиною (лабораторні стаціонарні ваги) та температура води в танку 1 (комплексна система зчитування на базі термометрів опору) в барботері (Танк №1).

4. Без зміни струму триходовим краном переключається витрата пари на Танк №2 (через сепаратор).

5. З інтервалом часу (фіксується окремо) вимірюється маса танку 2 з рідиною (лабораторні стаціонарні ваги), температура води в танку 1 (комплексна система зчитування на базі термометрів опору) та кількість конденсату в мірній ємності за конденсатовідвідником сепаратору.

6. Відповідно до алгоритму матеріально-енергетичного балансу отримують значення ступеню сухості насиченої пари до та після сепаратору.

Отримані дані дозволяють побудувати зміну витрати пари, обчислену за матеріальним та тепловим балансами при роботі сепаратору в маневрових режимах. Різниця за витратами пари при двох розрахунках дозволяють визначити ступінь сухості пари.

#### *Покроковий хід роботи:*

1. Вмикаємо ввідний трифазний автомат С-50 (виконує викладач та/або лаборант).

2. Вмикаємо пульт керування (виконує викладач та/або лаборант).

3. Вмикаємо живлення електричного парогенератора (виконує викладач та/або лаборант).

4. Відкриваємо подачу води на котел (виконує викладач та/або лаборант).

5. Задаємо початкову витрату пари програмну, шляхом зміни сили струму на пульті керування. Початкова сила струму – 5 А (в режимі зі струмом 5 А парогенератор повинен працювати не менше 20 хв).

6. Підтверджуємо силу струму клавішею «Введення».

7. Запускаємо режим авторегулювання електричного парогенератора.

8. Після цього почне відбуватися процес завантаження ємності електричного парогенератора живильною водою.

9. Процес первинного нагріву системи при струмі 5 А повинен складати не менше 20 хв.

10. На початку експерименту зливний вентиль ресиверу повинен бути відкритий (елемент, що в ручному імітує конденсатовідвідник).

11. Фіксуємо початкове значення температури у вимірювальних ємностях (танк №1 та №2).

12. Після того, як система виходить на стаціонарний режим (як правило не менше 20 хвилин роботи), збільшуємо силу струму до 16 А.

13. Після отримання стаціонарного потоку пари на виході сепараційного пристрою, розпочинаємо дослід, шляхом подачі пари у вимірювальну ємність (відповідно послідовно в двох експериментах у танк №1 та танк №2).

14. Кожні 2 хвилини проводимо замір температур по датчикам Т3 та Т4 для танку №1 (до сепаратора), Т1 та Т2 для танку №2 (після сепаратора). Очікувана температура у танках для завершення експерименту – 55..70°C.

15. Для другого досліді (танк №2) додатково необхідно виміряти кількість відведеного конденсату.



Рис. 2.1. Загальний вигляд органів керування стенду (верхній ряд зліва – направо: ввідний автомат, пульт керування, нижній ряд – цифровий перетворювач для збору температурних даних)

### 3. Матеріально-енергетичний баланс та методика визначення ступеню сухості насиченої пари до сепаратора

Для визначення ступеню сухості пари до сепаратора використовують калориметричний метод [4].

Середню температуру води в танку визначають як середнє арифметичне  $T_3$  та  $T_4$ .

Енергетичний баланс для другого досліду виглядає наступним чином:

$$E_1 + E_2 + E_3 = E_4, \quad (1)$$

де  $E_1$  – енергія первинної води, кДж;

$E_2$  – енергія газоподібної частини вхідної пари, кДж;

$E_3$  – енергія рідинної частини вхідної пари, кДж;

$E_4$  – енергія води після проведення досліду, кДж.

З огляду на утеплення та герметизацію ємностей тепловими втратами з огорожувальних конструкцій ємностей допускається нехтувати.

Енергію первинної води  $E_1$  визначаємо відповідно до залежності:

$$E_1 = m_1 \times h_1, \quad (2)$$

де  $m_1$  – маса первинної води, виміряна лабораторними вагами, в ємності №2, кг;

$h_1$  – ентальпія первинної води, отримана згідно програмного комплексу CoolPack ver. 1.5 [5], кДж/кг.

Енергію газоподібної частини вхідної пари  $E_2$  визначаємо відповідно до залежності:

$$E_2 = m_2 \times h_2, \quad (3)$$

де  $m_2$  – маса газоподібної частини пари, кг;

$h_2$  – ентальпія сухої насиченої пари, отримана згідно програмного комплексу CoolPack ver. 1.5, кДж/кг;

Енергію рідинної частини вхідної пари  $E_3$  визначаємо відповідно до залежності:

$$E_3 = m_3 \times h'_2, \quad (4)$$

де  $m_3$  – маса рідинної частини пари, кг;

$h'_2$  – ентальпія вологої насиченої пари, отримана згідно програмного комплексу CoolPack ver. 1.5, кДж/кг.

Енергію води після проведення дослідів  $E_4$  визначаємо відповідно до залежності:

$$E_4 = m_4 \times h_4, \quad (5)$$

де  $m_4$  – маса води в вимірювальній ємності №2 після дослідів, виміряна лабораторними вагами, кг;

$h_4$  – ентальпія води при температурі після дослідів, отримана згідно програмного комплексу CoolPack ver. 1.5 [5], кДж/кг.

Матеріальний баланс для другого дослідів виглядає наступним чином:

$$m_1 + m_2 + m_3 = m_4, \quad (6)$$

де  $m_1$  – маса первинної води, виміряна лабораторними вагами, в ємності №2, кг;

$m_2$  – маса газоподібної частини пари, кг;

$m_3$  – маса рідинної частини пари, кг;

$m_4$  – маса води в вимірювальній ємності №2 після дослідів, виміряна лабораторними вагами, кг.

$m_k$  – маса конденсату, відсепарована відцентровим сепаратором, кг.

Складаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} E_1 + E_2 + E_3 = E_4 \\ m_1 + m_2 + m_3 = m_4 + m_k \end{cases} \quad (7)$$

З системи необхідно знайти значення  $m_2$  та  $m_3$ , що дозволить розрахувати відношення  $m_2/(m_2+m_3)$  – ступінь сухості вологої пари після сепараційного пристрою.

З урахуванням формул 2-5 система 7 перетворюється на систему:

$$\begin{cases} m_1 \times h_1 + m_2 \times h_2 + m_3 \times h'_2 = m_4 \times h_4 \\ m_1 + m_2 + m_3 = m_4 \end{cases} \quad (8)$$

Будуємо процес нагріву води з розділення фаз в програмному комплексі CoolPack ver. 1.5 та отримуємо масив точок в TS-діаграмі з характерними термодинамічними параметрами  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h'_2$  та  $h_4$  (рис. 3.1).

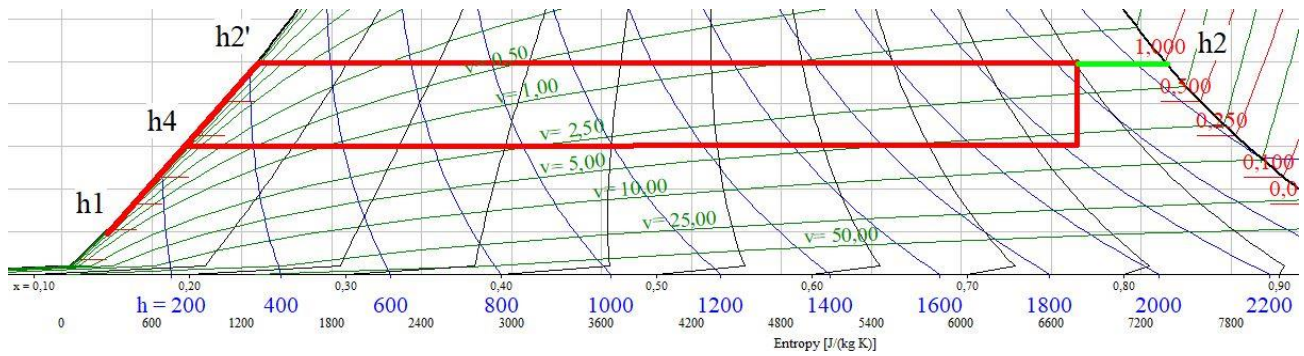


Рис. 3.1. Процес нагріву первинної води та процеси пароутворення з наступною конденсацією в ємності №1

Застосовуємо математичний метод заміни невідомого та отримаємо систему:

$$\begin{cases} m_1 \times h_1 + (m_4 - m_1 - m_3) \times h_2 + \\ + m_3 \times h'_2 = m_4 \times h_4 \\ m_2 = m_4 - m_1 - m_3 \end{cases} \quad (8a)$$

$$\begin{cases} m_1 \times h_1 - m_3 \times h_2 + (m_4 - m_1) \times h_2 + \\ + m_3 \times h'_2 = m_4 \times h_4 \\ m_2 = m_4 + m_k - m_1 - m_3 \end{cases} \quad (8б)$$

$$\begin{cases} m_3 \times h'_2 - m_3 \times h_2 + (m_4 - m_1) \times h_2 + \\ + m_1 \times h_1 = m_4 \times h_4 \\ m_2 = m_4 - m_1 - m_3 \end{cases} \quad (8в)$$

Звідки значення маса рідинної частини пари складатиме:

$$m_3 \times h'_2 - m_3 \times h_2 = m_4 \times h_4 - m_1 \times h_1 - (m_4 - m_1) \times h_2 \quad (8г)$$

$$m_3 \times (h'_2 - h_2) = m_4 \times h_4 - m_1 \times h_1 - (m_4 - m_1) \times h_2 \quad (8д)$$

$$m_3 = \frac{m_4 \times h_4 - m_1 \times h_1 - (m_4 - m_1) \times h_2}{h'_2 - h_2} \quad (8е)$$

Значення маси газоподібної частини пари визначається з другого рівняння системи 8а.

Приклад систематизації даних результатів дослідження наведено в табл. 1 (випадок проведення дослідження для визначення ступеню сухості до сепаратора).

## Характеристики вимірювальної ємності та рідини

Величина	Позначення	Значення	Одиниці вимірювання	Джерело
Початкова маса води у ємності	$m_1$	23,97	кг	Вимірювання, лабораторні ваги
Тиск пари, при якому проводився дослід	$P$	1	Бар	Вимірювання, манометр МО-40
Початкова температура води	$t_1$	17	°C	Вимірювання, датчики ТЗ/Т4
Ентальпія первинної рідини	$h_1$	73	кДж/кг	Побудова, CoolPack ver. 1.5
Початкова маса води у ємності	$m_4$	25,64	кг	Вимірювання, лабораторні ваги
Температура води після проведення дослід	$t_4$	54,5	°C	Вимірювання, датчики ТЗ/Т4
Ентальпія води при температурі після дослід	$h_4$	230	кДж/кг	Побудова, CoolPack ver. 1.5
Ентальпія сухої насиченої пари (при 100°C та $P$ , Бар)	$h_2$	2676	кДж/кг	Побудова, CoolPack ver. 1.5
Ентальпія вологої насиченої пари (при 100°C та $P$ , Бар)	$h_2'$	419,9	кДж/кг	Побудова, CoolPack ver. 1.5

Тоді згідно з формул 1-8 проводимо розрахунок маси рідинної частини пари:

$$m_3 = \frac{25,64 \cdot 230 - 23,97 \cdot 73 - (25,64 - 23,97) \cdot 2676}{419,9 - 2676} = 0,14 \text{ кг.}$$

Тоді відповідно маса газоподібної частини пари становитиме:

$$m_2 = 25,64 - 23,97 - 0,14 = 1,53 \text{ кг.}$$

Ступінь сухості пари до сепаратора:

$$m_2 / (m_2 + m_3) = 1,53 / (1,53 + 0,14) = 0,91.$$

Відповідно ступінь сухості пари до сепаратора складає близько 91 %.

#### 4. Матеріально-енергетичний баланс та методика визначення ступеню сухості насиченої пари після сепаратора

Для визначення ступеню сухості пари після сепаратора використовують калориметричний метод [4] з введенням додаткового параметра, що вимірюється, - маси відсепарованого конденсату.

Середню температуру води в танку визначають як середнє арифметичне  $T_1$  та  $T_2$ .

Енергетичний баланс для другого досліду виглядає наступним чином:

$$E_1 + E_2 + E_3 = E_4, \quad (9)$$

де  $E_1$  – енергія первинної води, кДж;

$E_2$  – енергія газоподібної частини вхідної пари, кДж;

$E_3$  – енергія рідинної частини вхідної пари, кДж;

$E_4$  – енергія води після проведення досліду, кДж.

З огляду на утеплення та герметизацію ємностей тепловими втратами з огорожувальних конструкцій ємностей допускається нехтувати.

Енергію первинної води  $E_1$  визначаємо відповідно до залежності:

$$E_1 = m_1 \times h_1, \quad (10)$$

де  $m_1$  – маса первинної води, виміряна лабораторними вагами, в ємності №2, кг;

$h_1$  – ентальпія первинної води, отримана згідно програмного комплексу CoolPack ver. 1.5 [5], кДж/кг.

Енергію газоподібної частини вхідної пари  $E_2$  визначаємо відповідно до залежності:

$$E_2 = m_2 \times h_2, \quad (11)$$

де  $m_2$  – маса газоподібної частини пари, кг;

$h_2$  – ентальпія сухої насиченої пари, отримана згідно програмного комплексу CoolPack ver. 1.5, кДж/кг;

Енергію рідинної частини вхідної пари  $E_3$  визначаємо відповідно до залежності:

$$E_3 = m_3 \times h'_2 + m_k \times h'_2, \quad (12)$$

де  $m_3$  – маса рідинної частини пари, кг;

$m_k$  – маса конденсату, відсепарована відцентровим

сепаратором, кг;

$h'_2$  – ентальпія вологої насиченої пари, отримана згідно програмного комплексу CoolPack ver. 1.5, кДж/кг.

Енергію води після проведення досліду  $E_4$  визначаємо відповідно до залежності:

$$E_4 = m_4 \times h_4, \quad (13)$$

де  $m_4$  – маса води в вимірювальній ємності №2 після досліду, виміряна лабораторними вагами, кг;

$h_4$  – ентальпія води при температурі після досліду, отримана згідно програмного комплексу CoolPack ver. 1.5 [5], кДж/кг.

Матеріальний баланс для другого досліду виглядає наступним чином:

$$m_1 + m_2 + m_3 = m_4 + m_k, \quad (14)$$

де  $m_1$  – маса первинної води, виміряна лабораторними вагами, в ємності №2, кг;

$m_2$  – маса газоподібної частини пари, кг;

$m_3$  – маса рідинної частини пари, кг;

$m_4$  – маса води в вимірювальній ємності №2 після досліду, виміряна лабораторними вагами, кг.

$m_k$  – маса конденсату, відсепарована відцентровим сепаратором, кг.

Складаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} E_1 + E_2 + E_3 = E_4 \\ m_1 + m_2 + m_3 = m_4 + m_k \end{cases} \quad (15)$$

З системи необхідно знайти значення  $m_2$  та  $m_3$ , що дозволить розрахувати відношення  $m_2/(m_2+m_3)$  – ступінь сухості вологої пари після сепараційного пристрою.

З урахуванням формул 10-14 система 15 перетворюється на систему:

$$\begin{cases} m_1 \times h_1 + m_2 \times h_2 + m_3 \times h'_2 + m_k \times h'_2 = m_4 \times h_4 \\ m_1 + m_2 + m_3 = m_4 + m_k \end{cases} \quad (16)$$

Будуємо процес нагріву води з розділення фаз в програмному комплексі CoolPack ver. 1.5 та отримуємо масив точок в TS-діаграмі з характерними термодинамічними параметрами  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h'_2$  та  $h_4$  (дивись рис. 2).

Застосовуємо математичний метод заміни та отримуємо систему:

$$\begin{cases} m_1 \times h_1 + (m_4 + m_k - m_1 - m_3) \times h_2 + \\ + m_3 \times h'_2 + m_k \times h'_2 = m_4 \times h_4 \\ m_2 = m_4 + m_k - m_1 - m_3 \end{cases} \quad (17a)$$

$$\begin{cases} m_1 \times h_1 - m_3 \times h_2 + (m_4 + m_k - m_1) \times h_2 + \\ + m_3 \times h'_2 + m_k \times h'_2 = m_4 \times h_4 \\ m_2 = m_4 + m_k - m_1 - m_3 \end{cases} \quad (17б)$$

$$\begin{cases} m_1 \times h_1 - m_3 \times h_2 + (m_4 + m_k - m_1) \times h_2 + \\ + m_3 \times h'_2 + m_k \times h'_2 = m_4 \times h_4 \\ m_2 = m_4 + m_k - m_1 - m_3 \end{cases} \quad (27в)$$

Звідки значення маса рідинної частини пари складатиме:

$$m_3 \times h'_2 - m_3 \times h_2 = m_4 \times h_4 - m_1 \times h_1 - (m_4 + m_k - m_1) \times h_2 - m_k \times h'_2 \quad (17г)$$

$$m_3 \times (h'_2 - h_2) = m_4 \times h_4 - m_1 \times h_1 - (m_4 + m_k - m_1) \times h_2 - m_k \times h'_2 \quad (17д)$$

$$m_3 = \frac{m_4 \times h_4 - m_1 \times h_1 - (m_4 + m_k - m_1) \times h_2 - m_k \times h'_2}{h'_2 - h_2} \quad (17е)$$

Значення маси газоподібної частини пари визначається з другого рівняння системи 17а.

Приклад систематизації даних результатів дослідів тут не наводиться, оскільки відрізняється від аналогічного змісту розділу 3 виключно заміром маси конденсату, що відсепарований відцентровим сепаратором.

### Висновки з лабораторної роботи

1. Вологість насиченої пари є важливим показником якості пари, як енергоносія, що використовується в цілому ряді технологічних, промислових та енергетичних процесів. Особливої уваги та контролю потребує енергетична пара, що надходить до останніх ступіней парових турбін, зокрема на атомних електростанціях.

2. Ступінь сухості пари доцільно визначати методом матеріально-енергетичних балансів ємностей-калориметрів, в які здійснюються відбори пари, що досліджується.

3. Сепарація водяної насиченої пари у механічних відцентрових сепараторах з тангенційним вводом пари дозволяє досягати вихідної ступені сухості максимально наближеної до одиниці.



## Список використаних джерел

1. *Сучасні системи тепло- та паропостачання промислових підприємств при застосуванні глибокої утилізації енергетичного потенціалу технологічної пари* / О.Г. Погосов [та ін.] // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. – 2023. – № 45. – С. 42–51.

2. *Optimization of the multi-level steam production and supply in industrial parks* / L. Zhang, Y. Wang, S. Wang // Chemical engineering research and design. – 2023. – No. 195. – P. 308–322.

3. *Ohji A. Steam turbine cycles and cycle design optimization: the Rankine cycle, thermal power cycles, and integrated gasification-combined cycle power plants* / A. Ohji, M. Haraguchi // Advances in steam turbines for modern power plants. – [S. l.], 2022. – P. 11–40.

4. *Van Nieuwenhuys J. Rankine cycle and variants* / J. Van Nieuwenhuys, M. De Paere, S. Lecompte // Power generation technologies for low-temperature and distributed heat, woodhead publishing series in energy. – [S. l.], 2023. – P. 49–161.

5. *Про затвердження Правил улаштування електроустановок: офіц. вид.: станом на 21 липня 2017 р.* / Офіційний вебпортал парламенту України.

6. *Парогенератор електродний промисловий АПЕ 30 [Електронний ресурс]* / PSV-Center. – Режим доступу: <https://www.psvcenter.com/ru/product/parogenerator-elektrodnij-promislovij-ape-30/> / (дата звернення: 12.12.2023). – Назва з екрана.

7. *Dryness fraction of steam: learn formula, methods, numericals [Electronic resource]* / Testbook. – Mode of access: <https://testbook.com/mechanical-engineering/dryness-fraction-of-steam/> / (date of access: 25.01.2024). – Title from screen.

8. *Department of mechanical engineering (MEK), section of thermal energy (TES), technical university of denmark (DTU) [Electronic resource]* / IPU. – Mode of access: <https://www.ipu.dk/products/coolpack/> / (date of access: 13.06.2024). – Title from screen.

Навчально-методичне видання

## СТУПІНЬ СУХОСТІ ВОДЯНОЇ ПАРИ

Методичні вказівки  
до виконання лабораторної роботи  
для здобувачів першого рівня (бакалаврського)  
вищої освіти спеціальності 144 «Теплоенергетика»  
освітньої програми «Енергетичний менеджмент.  
Енергоефективні муніципальні та промислові технології»

Укладачі: **Погосов** Олександр Григорович,  
**Пасічник** Павло Олександрович,  
**Габа** Крістіна Олексіївна та ін.

Комп'ютерне верстання *А. П. Селівестрової*

Підписано до друку 17.06. 2024. Формат 60 × 84<sub>1/16</sub>.  
Ум. друк. арк. 0,93. Обл.-вид. арк. 1,0.

Вид. № 24/IV-24. Зам. № 30/1-24

Видавець і виготовлювач  
Київський національний університет будівництва і архітектури

Пр-т Повітряних Сил, 31, Київ, Україна, 03037

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів  
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002

