УДК 621.311.22

Погосов О. Г., зав. лабораторією, Малкін Е. С., д.т.н., професор
(Київський національний університет будівництва і архітектури)

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІДЦЕНТРОВИХ СЕПАРАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ З ПОДВІЙНИМ ВІДВЕДЕННЯМ РІДКОЇ ФАЗИ

В даній статті приведено результати експериментальних досліджень ефективності відцентрових сепараційних пристроїв в маневрових режимах. Подано основні аспекти методики, що дозволяє визначити ступінь вологості пари. Приведені дані щодо ефективності відцентрового сепараційного пристрою з подвійним відведенням рідкої фази.
Ключові слова: **сепаратор, відцентрова сепарація, двофазне середовище.**

Питання параметрів пари, а особливо її вологості, є ключовим для ефективної роботи та тривалості експлуатації систем та обладнання, яке використовує пар в якості теплоносія. Особливо важливим є питання приведення параметрів пари низького потенціалу (волога пара) для підвищення ефективності роботи парових турбін малої потужності, які працюють в схемах систем паропостачання промислових підприємств при заміщенні редукційно-охолоджувальних установок (РОУ) та редукційних установок (РУ) [1]. Для вирішення завдання розділення двофазної вологої пари на рідке та газоподібне середовища використовуються сепараційні пристрої агломераційного та відцентрового типів. Актуальним є завдання підвищення ефективності сепараційних пристроїв (підвищення ступені сухості пари на виході із сепаратору при збереженні оптимальних втрат тиску).

Для вирішення питання підвищення ефективності процесів сепарації пари було створено зразок обладнання (рис. 1) для витрат пари в діапазоні 5–35 кг/год. Підвищення ефективності сепаратору досягається шляхом ефективної організації підведення пари до сепаратору (через сопловий тангенціальний апарат зі зміщеним конфузором у верхній частині пристрою), дотримання довжини ділянки формування відцентрових сил та відведення конденсату на кінці цієї ділянки. Розрахункова досяжна ступінь сухості пари складає 0,985–0,995.

Сепараційний пристрій з подвійним відведенням рідкої фази пра-

цює наступним чином. Потік пари надходить до основного барабану паросепаратора через сопловий тангенціальний апарат зі зміщеним конфузором у верхній частині пристрою, де отримує початкову швидкість 35–40 м/с. Під дією відцентрових та гравітаційних сил двохфазне середовище розділяється. Осушена пара відводиться через відвідний патрубок у верхній частині паросепаратора. Конденсат видаляється з сепаратору на двох етапах. Під час першого етапу при завершенні формування ділянки відцентрових сил частина конденсату видаляється через відвідний конденсатний патрубок в боковій частині пристрою. Під час другого етапу інша частина під дією гравітаційних сил видаляється через відвідний конденсатний патрубок у нижній частині сепаратору.

Запропонований відцентровий сепаратор з подвійним відведенням рідкої фази (рис. 1) складається з основного барабану сепаратора 3, до якого у верхній частині підведений сопловий тангенціальний апарат зі зміщеним конфузором 1. В основний барабан сепаратора (3) занурено паровідвідну трубу (2). На межі основного барабану сепаратора (3) та нижнього барабану (4) підключається перша ступінь (кінець ділянки формування відцентрових сил) відводу конденсату (5). До нижнього барабану підключається друга «класична» ступінь відводу конденсату (6). Досягається ефективний підвід водорідинного середовища та протікає двохступінчатий відвід конденсату (на кінці ділянки формування відцентрових сил та в нижній частині сепаратора). Конструкція сепаратора може бути використана для витрат пари від 40 до 500 кг/год (при зміні розмірів наявного зразка на промисловий) при збереженні ефективності сепарації. В разі необхідності використання пристроїв на більші витрати пари можливе застосування батарейної системи.

Слід зауважити, що окремим цікавим розвитком питання відцентрової сепарації є конструювання та вивчення роботи двоступеневих сепараційних пристроїв (для збільшення вихідної сухості до значень 0,999 в високоточних технологічних процесах).

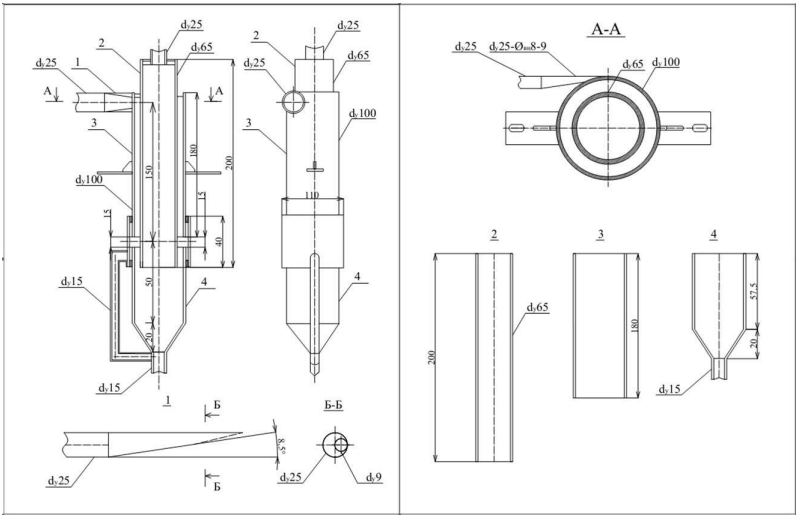

Рис. 1. Креслення сепараційного пристрою

Експериментальні дослідження проводилися на комплексному стенді дослідження парових турбін малої потужності (рис. 2). Основою стенду є парогенератор з вихідною ступінню сухості пари на рівні 0,94–0,95 з витратою від 5 до 35 кг/год. Для вирівнювання витрати пари та виключення пульсаційних явищ використовується ресивер, що встановлено перед сепаратором. Для досліджень використовувалися дві барботажні цистерни (танк № 1, танк № 2) з системою виміру та диспетчеризації на ПК параметрів температури та рівня рідини в кожній з цистерн.

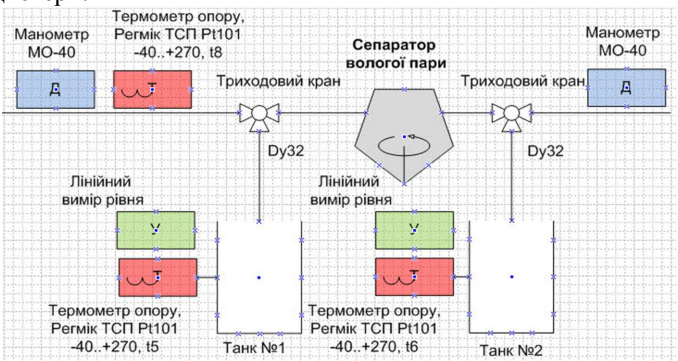

Рис. 2. Вимірювальний вузол ефективності відцентрового сепаратору з подвійним відведенням вологої фази

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 потужності.
2. Триходовим краном відводиться вся витрата пари до Танку № 1.
3. З інтервалом часу (фіксується окремо) вимірюється рівень рідини та температура води 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 рівень рідини та температура води в барботері (Танк № 2) та кількість конденсату в мірній ємності за конденсатовідвідником сепаратору.
6. З системи рівнянь (1) отримуємо значення кількості крапельної вологи $D_{кв}$ та сухої насиченої пари $D_{пар}$:

$$\begin{cases} D_{пар} + D_{кв} = \Delta L_{танк}; \\ r \cdot D_{пар} + c_{в,t_н} \cdot D_{кв} \cdot t_н = c_{в,t_{i+1}} \cdot M_{танк1,i} \cdot (t_{i+1} - t_i). \end{cases} \quad (1)$$

$$D_{кв} = \frac{r \cdot \Delta L_{танк} - c_{в,t_{i+1}} \cdot M_{танк1,i} \cdot (t_{i+1} - t_i)}{c_{в,t_н} \cdot t_н + r}. \quad (2)$$

$$D_{пар} = \frac{c_{в,t_{i+1}} \cdot M_{танк1,i} \cdot (t_{i+1} - t_i) - c_{в,t_н} \cdot \Delta L_{танк} \cdot t_н}{r - c_{в,t_н} \cdot t_н}. \quad (3)$$

Отримані дані дозволяють побудувати криві (рис. 3) зміни витрати пари, обраховані обчислені за матеріальним та тепловим балансами при роботі сепаратору в маневрових режимах. Різниця за витратами пари при двох розрахунках дозволяють визначити ступінь сухості пари (рівняння 2, 3).

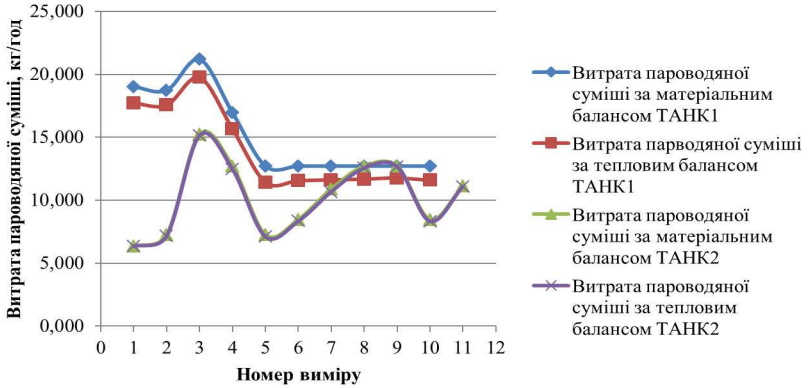

Рис. 3. Характерна зміна матеріальної та теплової складових при зміні вологості пари в процесі сепарації

Ефективність сепарації, отримана в рамках досліджень, говорить про ступінь сухості пари за сепаратором на рівні 0,984–9,998, що підтверджує попередній розрахунок. Масив точок, отриманих при обробці даних експерименту, наведений на рис. 4.

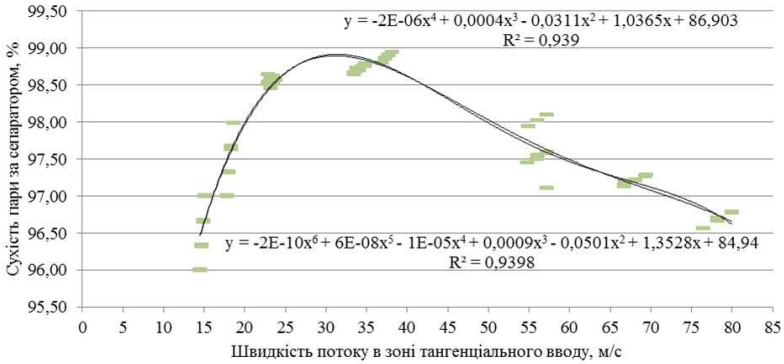

Рис. 4. Дані щодо ступені сухості вихідної пари в досліджуваній установці

Ступінь сухості пари на досліджуваному відцентровому сепараторі з подвійним відведенням рідкої фази складає 0,984-0,998 і залишається стабільною в маневрових режимах (в рамках дослідження 15-45 м/с в тангенціальному вводі). **Доцільними** є подальші дослідження зміни втрат тиску на сепараторі в маневрових режимах, а також дослідження двоступеневих відцентрових сепараційних пристроїв.

1. Малкін Е. С. Методика техніко-економічного обґрунтування впровадження парових турбін малої потужності в системах теплопостачання промислових підприємств та результати її розповсюдження на типові редукційно-охолоджувальні установки / Е. С. Малкін, О. Г. Погосов // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. / Київ нац. ун-т буд-ва і архіт. – К. : КНУБА, 2014. – Випуск 17. – С.107–111.

Рецензент: д.т.н., професор Приймак О. В. (КНУБА)

Pohosov O. H., Laboratory Chief, Malkin E. S., Doctor of Engineering, Professor (Kyiv National University of Construction and Architecture)

EXPERIMENTAL RESEARCH OF EFFICIENCY OF CENTRIFUGAL SEPARATION DEVICE WITH DUAL REMOVAL OF THE LIQUID PHASE

Results of experimental investigations of the efficiency of centrifugal separation devices during maneuvering regime are given in this article. The basic aspects of the methodology to determine the degree of moisture vapor are shown. The data on the effectiveness of a centr-?fugal separation device with dual removal of the liquid phase are given.
Keywords: **separator, centrifugal separation, biphasic medium.**

Погосов О. Г., зав. лабораторией, Малкин Э. С., д.т.н., профессор (Киевский национальный университет строительства и архитектуры)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СЕПАРАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ С ДВОЙНЫМ ОТВОДОМ ЖИДКОЙ ФАЗЫ

В данной статье приводятся результаты экспериментальных исследований эффективности центробежных сепарационных устройств в маневровых режимах. Представлены основные аспекты методики, позволяющей определить степень влажности пара. Приведены данные по эффективности центробежного сепарационного устройства с двойным отводом жидкой фазы.
Ключевые слова: **сепаратор, центробежная сепарация, двухфазная среда.**