



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2-4

УДК 621.694.2

С. О. Шарапов¹, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-8433-8580

С. О. Євтушенко¹, аспірант

ORCID: 0000-0003-4536-4046

С. О. Хованський¹, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0003-2435-7787

¹ Сумський державний університет

e-mail: s.yevtushenko@kttf.sumdu.edu.ua, тел.: +380951925069

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЗМІШУВАННЯ В РІДИННО-ПАРОВИХ СТРУМИННИХ АПАРАТІВ

Анотація. У статті описано перспективи експериментальних досліджень рідинно-парових струминних апаратів з камерами змішування різної геометричної форми. Для формулювання завдань дослідження було проведено критичний аналіз сучасних досліджень вітчизняних та зарубіжних науковців, які досліджують ефективність процесів змішування в двофазних струминних апаратах. В результаті огляду літературних джерел, можна зробити висновок, що ступінь завершеності процесу змішування активного та пасивного потоків з досягненням необхідних кінцевих параметрів є досить складним процесом. Отже, отримані результати числових досліджень повинні бути доповнені додатковими експериментальними дослідженнями. У статті наведено схему та опис експериментальної установки для досліджень рідинно-парових струминних апаратів з камерами змішування різної геометричної форми. Програма та методика містять діапазон зміни режимних та геометричних параметрів при проведенні експериментальних досліджень. Запропоновано схему автоматики експериментальної установки та запропоновані контрольно-вимірювальні прилади в характерних точках циклах.

Ключові слова. рідинно-паровий струминний апарат, камера змішування, експериментальне дослідження, пасивний потік, геометричні параметри, ефективність процесу змішування.

Постановка проблеми. В сучасних технологічних системах широкого поширення набувають агрегати на базі двофазних струминних апаратів [1]. Їх основною перевагою перед іншими типами агрегатів є відсутність рухомих частин, що підвищує строк експлуатації, але водночас вони мають невисоку ефективність. Це пов'язано зі складністю їх робочого процесу, а саме ступенем завершеності змішування активного і пасивного потоків в камері змішування, яка може бути різної геометричної форми [2]. Рідинно-парові струминні апарати (РПСА), в яких реалізується принцип струминної термокомпресії (СТК), поєднують в собі декілька апаратів, а саме, парогенератора, тому що в соплі активного потоку



відбувається витікання недогрітої до насичення робочої рідини з пароутворенням в дифузійній частині сопла та безпосередньо струминного апарату, в якому відбувається процес ежекції пасивного потоку з подальшим змішування його з активним потоком в камері змішування [3].

Саме процес змішування цих потоків, його характер та ступінь завершеності визначають рівень показників ефективності РПСА та доцільність його застосування в різних технологічних схемах.

Аналіз останніх досліджень. РПСА, які є різновидом двофазних струминних апаратів, є порівняно новим видом апаратів. Їх дослідження та впровадження в промисловість відбувалося з першої половини ХХ ст. Вони створювалися для конкретних робочих параметрів певної технологічної схеми та не мали можливості регулювання та впливу на їх робочий процес. За останні десятиріччя різко зріс науковий та практичний інтерес до вивчення та вдосконалення їх робочого процесу, що пов'язано з питаннями енергоефективності та екологічної безпеки технологічних процесів, які реалізуються в сучасній промисловості.

Авторами робіт [4, 5] проведені теоретичні та експериментальні дослідження, які довели, що процеси змішування активного і пасивного потоків в камері змішування мають значний вплив на ефективність двофазних струминних апаратів та є одним з основних чинників, які необхідно враховувати при їх проектуванні. В роботах [6-8] основна увага приділяється геометричним параметрам камери змішування, а саме, довжині та куту конфузорності її звужуючої ділянки. В результаті цих досліджень були одержані емпіричні залежності для визначення основних геометричних параметрів, які відповідають оптимальним режимам роботи камери змішування.

Автори робіт [9, 10] досліджували зміну коефіцієнта ежекції в залежності від зміни геометрії камери змішування та встановили діапазон її параметрів, які відповідають максимальним значенням коефіцієнту ежекції при достатньо високих показниках ефективності РПСА в цілому. В роботах [11-13] вивчається робочий процес РПСА з різними типами камер змішування для однакових початкових параметрів активного і пасивного потоків та наводяться результати теоретичних та експериментальних досліджень з визначенням основних показників ефективності. В результаті цих досліджень доведено, що найбільш завершеним є процес змішування в камерах конічної форми з подальшою циліндричною ділянкою, ніж просто в циліндричних камерах, однак це спостерігається лише при значному ступені підвищення тиску пасивного потоку ($\pi = 6-10$). Якщо ступінь підвищення тиску пасивного потоку знаходиться в межах $\pi = 2-4$, то з такою ж ефективністю будуть мати і циліндричні камери [14, 15].



Головним недоліком циліндричних камер змішування є висока швидкість потоків та незавершеність процесу змішування, що показано в результаті досліджень, проведених авторами робіт [16, 17]. Автори робіт [18-20] виконали моделювання процесів змішування потоків з різними термодинамічними та режимними параметрами та виявили оптимальні режими роботи камер змішування та визначили діапазон, в якому їх показники ефективності будуть максимальними.

Наведені вище дослідження не враховують особливості робочого процесу РПСА, який працює за принципом струминної термокомпресії. А саме особливостей змішування докритичних активного і пасивного потоків, що зводить до мінімуму втрати «на удар» та значно підвищує ефективність всього процесу. Саме тому, автори ставлять собі за мету створити експериментальний стенд для дослідження рідинно-парового струминного апарату з камерами змішування різної геометричної форми. Камера змішування буде виконана прозорою з можливістю безпосереднього спостереження за процесом змішування потоків.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Для дослідження впливу геометричних параметрів камер змішування на ефективність рідинно-парового струминного апарату були сформульовані та потребують вирішення наступні завдання:

1. Створення експериментального стенду для дослідження рідинно-парового струминного апарату з камерами змішування різної геометричної форми.

2. Експериментальне дослідження особливостей робочого процесу рідинно-парового струминного апарату з камерами змішування різної геометричної форми, з метою уточнення математичної моделі його розрахунку.

3. Експериментальне дослідження залежності витратних та енергетичних показників рідинно-парового струминного апарату з камерами змішування різної геометричної форми від термодинамічних та режимних параметрів.

4. Аналіз факторів, які впливають на показники ефективності роботи рідинно-парового струминного апарату з камерами змішування різної геометричної форми, для коригування розрахунків математичної моделі.

5. Перевірка достовірності отриманих результатів шляхом порівняння розрахунків та даних експериментальних досліджень.

Основна частина. В науковій лабораторії кафедри технічної теплофізики Сумського державного університету був створений експериментальний стенд для дослідження РПСА з камерами змішування різної геометричної форми (рис. 1, 2). Він складається з самого РПСА, двох гріючих ємностей (в яких нагрівається робоча

рідина у вигляді проточної води), системи трубопроводів, різної запірної арматури з сервоприводами та системи зняття показників у вигляді датчиків, терморегуляторів (рис. 1, 2). Стенд обладнаний системою автоматичного керування, схема якої наведена на рис. 3.

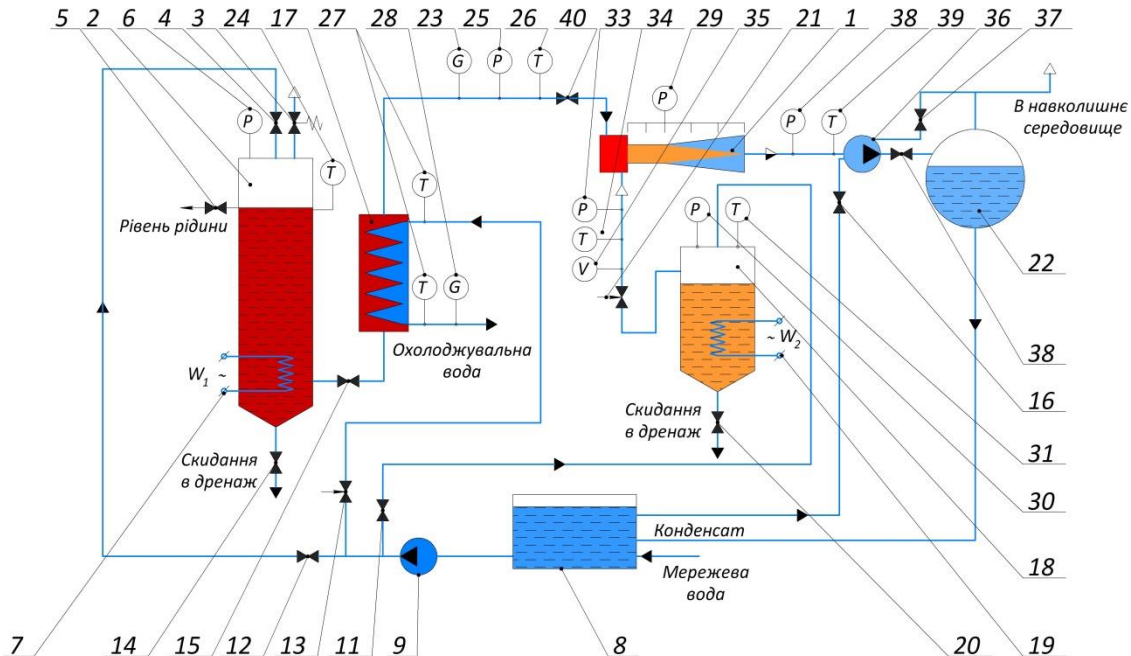


Рис. 1. Принципова схема експериментального стенду

для дослідження характеристик камер змішування РПСА: 1 – РПСА; 2,18 – нагрівальна ємність; 3 – запобіжний клапан; 4, 5, 11, 12, 13, 15, 16, 20, 21, 24, 37, 38 – регулювальний вентиль з сервоприводом; 6, 25, 29, 30, 33 – датчики тиску; 26, 27, 31, 34 – датчики температури; 7, 19 – блок ТЕНів; 8 – ємність для води; 9 – насос подачі мережевої води; 17 – теплообмінник типу «труба в трубі»; 22 – сепаратор; 28 – лічильник витрати води; 35 – лічильник витрати пару; 36 – рідинно-кільцевий вакуумний насос

Спочатку робоча рідина нагрівається до необхідного нам тиску та температури за допомогою електричних водяних ТЕНів (7) у нагрівальній ємності (2). Цей процес регулюється та записується за допомогою електронної системи керування з датчиками температури та тиску (рис. 3). На випадок виникнення збою роботи системи керування та підвищення критичної температури та тиску був встановлений запобіжний клапан для аварійного скидання робочої рідини (3).

Робоча рідина через трубопровід та рекупераційний теплообмінник (17) під тиском подається з нагрівальної ємності (2) до вхідного отвору РПСА (1), через яке потрапляє в сопло активного потоку. Проходження робочої рідини через теплообмінник (17) перед

входом до РПСА (1) забезпечує на необхідну температуру і величину відносного недогрівання, при цьому тиск не змінюється. Подача охолоджуваної води регулюється також системою керування з датчиками температури, тиску та лічильником об'ємної витрати води (28) перед входом до РПСА (1). В залежності від показників датчиків система керування подає команду на насос подачі холодної води (9) у теплообмінний апарат (17), а також команда подається на регулюючий вентиль робочої рідини з сервоприводом.



Рис. 2. Фотографії експериментального стану для дослідження характеристик камер змішування РПСА

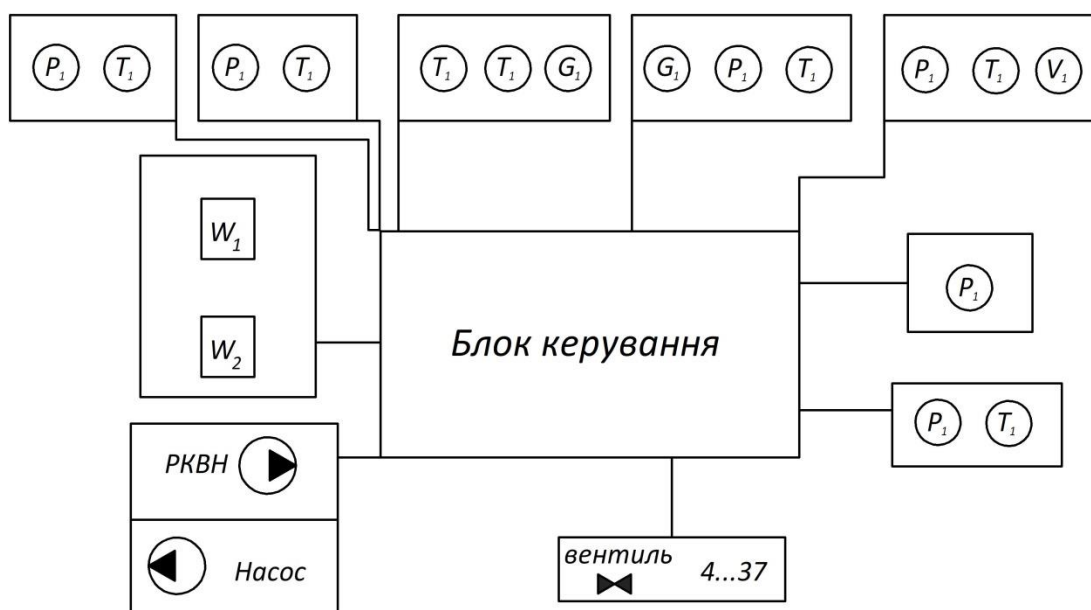


Рис. 3. Система автоматичного керування експериментального стану для дослідження характеристик камер змішування РПСА

Для генерації водяної пари, яка є робочим середовищем пасивного потоку, нам необхідно нагріти воду у нагриваючій ємності (18) за допомогою електричних ТЕНів (19). Тиск та температура в резервуарі контролюється показниками датчиків (30,31), які, в свою чергу, впливають на подачу напруги до електричних ТЕНів та регулювання вентиля з сервоприводом (21) для подачі пару пасивного потоку до камери змішування РПСА (1). Рівень подачі пасивного потоку до РПСА знімається показниками лічильнику об'ємної витрати (35) та подаються на монітор електричної системи керування. Після змішування активного і пасивного потоків в камері змішування з подальшим стисненням в дифузори, потік потрапляє до сепаратору (22), для розділення на рідку та газоподібну фази. Рідина надходить до ємності для води (8), а пара скидається в навколишнє середовище. Насос (9) вмикається для швидкого відкачування в залежності від зазначеного нами рівня рідини у сепараторі. При проведенні експерименту знімаються значення тиску, температури потоків та величини вакууму в семи різних перерізах датчиками тиску (29).

Для збору показників з вимірюваних приладів та для регулювання процесу експерименту використовується електрична система керування Danfoss AK-SM 820A (рис. 4) [21].



Рис. 4. Електрична систему керування Danfoss AK-SM 820A

Блок моніторингу AK-SM 820A являє собою набір функцій для збору і моніторингу інформації необхідних даних та для безперервного контролю і керування декількома системами одночасно, за допомогою вбудованого мультиграфічного екрану, який відображає усі дані в режимі реального часу, а також за допомогою можливості віддаленого доступу керування системою через мобільний

додаток RemoteManagementTool і програму для ПК StoreView. Система управління виводить необхідні дані на панелі інструментів або у вигляді графіків, які генеруються автоматично, а також система дає можливість налаштовувати та оптимізувати різні функції в залежності від зміни параметрів датчиків. За це відповідає системний контролер C-Store з екраном RS485 (роздільна здатність 800x600 px) Блок моніторингу та централізованого керування з дисплеєм, 32 контролери, LON, Modbus, WEB інтерфейс, простий доступ через USB-кабель. Живлення блоку від 110В до 240В.

Для вимірювання температури при проведенні експериментальних досліджень використовуються високоточні датчики Danfoss MBT 3270 (рис. 5, а) [22].



Рис. 5. Датчики температури Danfoss MBT 3270 (а) та тиску Danfoss AKS33 (б)

Модель цього датчика використовується у різних сферах гідравлічної промисловості, а також має можливість точно вимірювати різні газові суміші, що як раз підходить для нашого парорідинного робочого середовища. Температурний діапазон вимірювання від -50 до $+150$ °С. Чутливий елемент Pt100, Pt1000, NTC, PTC. Допустима швидкість середовища повітря 25 м/с, води – 3 м/с. Максимальний зовнішній робочий тиск 600 Бар.

Для вимірювання тиску при проведенні експериментальних досліджень використовуються високоточні датчики Danfoss AKS33 (рис. 5, б) [23].

Серед переваг датчика тиску можна виділити: міцний суцільнометалевий корпус, нейтралізувальний гідроудар вбудований демпфер пульсацій, чудові показники електромагнітної сумісності, висока вібростійкість, для середніх і навколишніх температур до 125 °С, повністю зварна конструкція, де змочені частини виготовлені з нержавіючої сталі, захист від ЕМС до 100 В/м.

Для регулювання потоків рідини та пари під час проходження експерименту використовуються регулювальні клапани з редукторним електроприводом АМЕ 435 QM (MCV) виробництва Danfoss (рис. 6) [24].



Рис.6. Регулювальний клапан з редукторним електроприводом АМЕ 435 QM (MCV)

Ці клапани можна використовувати під час експерименту в нашій системі, в яких робочим середовищем є вода та пара. Основні характеристики цих клапанів наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Основні дані електроприводом клапану АМЕ 435 QM (MCV)

Напруга живлення	24 В
Керуючий сигнал – аналоговий	- (0(2)...10 В; - 0(4)...20 мА.
Сила приводу	400 Н
Хід штока	20 мм
Час переміщення штока на 1 мм (налаштовується)	7,5 сек./мм; - 15 сек./мм.
Максимальна температура теплоносія	120 °С

Для зняття показників активного та пасивного потоку РПСА в експерименті використовуються ультразвуковий лічильник води для закритих систем SHARKY 775 [25].

Тип витратоміра – ультразвуковий. Лічильник обладнаний архівом зберігання даних. Архів приладу містить до 1900 записів. При підключенні GPRS модему, формування архіву відбувається на сервері. Формування звітів з погодинними, подобовими, щомісячними даними. Збір даних відбувається в автоматичному режимі. Діапазон робочих температур для теплотлічильника: +5 – +130/150 °С.



Рис. 7. Ультразвуковий лічильник води для закритих систем SHARKY 775

Для прискорення виходу на робочий режим в системі РПСА використовується рідинно- кільцевий вакуумний насос PVM 115/050 ADKPK0 (рис. 8) [26]



Рис. 8. Рідинно-кільцевий вакуумний насос PVM 115\050 ADKPK0

Принцип роботи вакуумного насоса PVM 115\050 ADKPK0 вимагає постійного подавання потоку робочої (сервісної) рідини, без твердих частинок у підвищеному стані, що надходить у насос через спеціальне приєднання на корпусі насоса для поповнення кільця з рідини та охолодження насоса (зазвичай використовується чиста вода). Температура робочої рідини не має перевищувати 80 °С, а всмоктувального газу приблизно 100 °С. Густина робочої рідини має



бути в межах від 800 до 1200 кг/м³, продуктивність насоса складає 50 м³/год. Потужність двигуна 1,5 кВт (при 50 Гц). Частота обертання робочого колеса насоса 2950 об/хв. (при 50 Гц).

Під час проведення експерименту для визначення коефіцієнта інжекції в камері змішування РПСА оброблення одержаних результатів виконувалася за наступними формулами.

Показники температури робочої рідини активного потоку на вході до РПСА беруться з термодатчика, що вимірює цю величину і знаходиться безпосередньо у рухомому потоці. Показники абсолютного тиску робочої рідини в горлі сопла активного потоку беруться з датчику тиску. Температура робочої рідини пасивного потоку визначається аналогічно температурі робочої рідини активного потоку на вході.

Абсолютний тиск робочої рідини активного потоку на вході до РПСА, *Па*:

$$P_{01} = P_{атм} + 9,861 \cdot 10^4 \cdot P_{ман01}, \quad (1)$$

де $P_{атм}$ – барометричний тиск,

$P_{ман01}$ – показання манометра, розміщеного на вході до апарату,

$$P_{атм} = 133,32 \cdot B, \quad (2)$$

де B – показання датчика атмосферного тиску, *мм рт. ст.*

Абсолютний тиск робочої рідини пасивного потоку в приймальній камері, *Па*:

$$P_{02} = P_{атм} - P_{вак02}, \quad (3)$$

де $P_{вак02}$ – показники датчика, розташованого на вході до приймальної камери РПСА, *Па*.

Масова витрата робочої рідини пасивного потоку, *кг/с*:

$$\dot{m}_{02} = \frac{\dot{V}_{02}}{\rho_{02}}, \quad (4)$$

де \dot{V}_{02} – об'ємна витрата робочої рідини пасивного потоку,

ρ_{02} – густина робочої рідини пасивного потоку,

Густина робочої рідини пасивного потоку,

$$\rho_{02} = \frac{P_{02}}{R \cdot T_{02}}, \quad (5)$$

де R – газова стала речовини пасивного потоку,

T_{02} – температура пасивного потоку на вході до приймальної камери.

Тиск змішаного потоку на виході з камери змішування, *Па*:

$$P_{03} = P_{атм} - P_{вак03}, \quad (6)$$

де $P_{вак03}$ – показники датчика розміщеного у перерізі на виході з камери змішування РПСА.

Тиск суміші на вході до дифузора, *Па*



$$P_3 = P_{атм} - P_{вак3}, \quad (7)$$

де $P_{вак3}$ – показники датчика, розміщеного у перерізі на вході до дифузора.

Тиск змішаного потоку на виході з РПСА, P_4 :

$$P_4 = P_{атм} + 9,861 \cdot 10^4 \cdot P_{ман4}, \quad (8)$$

де $P_{ман4}$ – показники датчика, розміщеного на виході з РПСА.

Ступінь підвищення тиску пасивного потоку

$$\pi_n = \frac{P_4}{P_{02}}. \quad (9)$$

Коефіцієнт інжекції

$$u = \frac{\dot{m}_{02}}{\dot{m}_a}, \quad (10)$$

де \dot{m}_a – масова витрата активного потоку.

Під час проведення експерименту нас цікавлять величини похибок вимірювання температури та тиску робочої рідини активного та пасивного потоку РПСА в характерних перерізах та об'ємної витрати робочої рідини, яка подається до приймальної камери РПСА. Величини що визначаються в роботі є результатом непрямих вимірювань, де нам необхідно знати функціональні залежності, які зв'язують з результатами прямих вимірювань з похибками їх визначень, а для виключення випадкових похибок буде виконуватись не одне, а серія вимірювань.

Висновки. В результаті досліджень на експериментальному стенді можна отримати результати, які дозволяють сформулювати особливості робочого процесу рідинно-парового струминного апарату з камерами змішування різної геометричної форми та уточнити математичну модель його розрахунку на основі отриманих результатів. В результаті досліджень отримано розподіл тисків пасивного і змішаного потоків по довжині камери змішування. Похибка вимірювання не перевищує 5% при довірчій ймовірності 0,95, що є допустимим для технічних експериментів. Аналогічна точність вимірювань була досягнута і в роботах попередніх дослідників.

Список використаних джерел

1. Tashtoush B. M., Al-Nimr M. A., Khasawneh M. A. A comprehensive review of ejector design, performance, and applications. *Appl. Energy*. 2019. Vol. 240. P. 138–172.

2. Grazzini G., Milazzo A., Mazzelli F. Ejector for Efficient Refrigeration. Cham, Switzerland, 2018. 85 p.



3. Milazzo A., Mazzelli F. Future perspectives in ejector refrigeration. *Appl. Therm. Eng.* 2017. Vol. 121. P. 344–350.
4. Rahvard A. J., Lakzian E., Foroozesh F., Khoshnevis A. An applicable surface heating in a two-phase ejector refrigeration. *European Physical Journal Plus.* 2022. Vol. 137(2). P. 202.
5. Assari M., Tabrizi R., Basirat H., Beik A. Jafar Gholi, Shamesri K. Numerical study of water-air ejector using mixture and two-phase models. *International Journal of Engi-neering.* 2022. Vol. 35(2). P. 202-212.
6. Ayman G. M., Dincer I., Experimental performance evaluation of a combined solar system to produce cooling and potable water. *Solar Energy.* 2015. Vol. 122. P. 1066-1079.
7. Chen Y., Zou H., Dong J., Xu H., Tian C., Butrymowicz D. Experimental investigation on refrigeration performance of a CO₂ system with intermediate cooling for automobiles. *Applied Thermal Engineering.* 2020. Vol. 174. P. 466-480.
8. Colarossi M., Trask N., Schmidt D. P., Bergander M. J. Multidimensional modeling of condensing two-phase ejector flow. *International Journal of Refrigeration.* 2012. Vol. 35(2). P. 290–299. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2011.08.013>.
9. Tashtoush B., Nayfeh Y. Energy and economic analysis of a variable-geometry ejector in solar cooling systems for residential buildings. *Journal of Energy Storage.* 2020. Vol. 27. e101061.
10. Falsafioon M., Aidoun Z., Ameer K. Numerical Investigation on the Effects of Internal Flow Structure on Ejector Performance. *J. Appl. Fluid Mech.* 2019. Vol.114. P. 201-211.
11. Jimenez-Garcia J. C., Rivera W. Parametric analysis on the experimental performance of an ammonia/water absorption cooling system built with plate heat exchangers. *Applied Thermal Engineering.* 2019. Vol. 148. P. 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.11.040>.
12. Yang, X., Long, X. & Yao X. Numerical investigation on the mixing process in a steam ejector with different nozzle structures. *Original Research Article International Journal of Thermal Sciences.* 2012. Vol. 56. P. 95-106.
13. Dong J., Hu Q., Yu M., Han Z., Cui W., Liang D., Ma H., Pan, X. Numerical investigation on the influence of mixing chamber length on steam ejector performance. *Appl. Therm. Eng.* 2020. Vol. 169. P. 325-340.
14. Sutthivirode K., Thongtip T. Performance improvement of ejector refrigerator–based water chiller working with different mixing chamber profiles. *Alex. Eng. J.* 2021. Vol. 60(4). P. 3693-3707.
15. Zhang G., Dykas S., Majkut M., Smółka K., Cai X. Experimental and numerical research on the effect of the inlet steam superheat degree on the spontaneous condensation in the IWSEP nozzle. *Int. J. Heat Mass Transf.* 2021. Vol.165. P. 1020-1034.



16. Zhang G., Zhang X., Wang D., Jin Z., Qin X. Performance evaluation and operation optimization of the steam ejector based on modified model. *Appl. Therm. Eng.* 2019. Vol. 163. P. 368-380.

17. Marchenko V., Osipov V., Prokopov M., Sharapov S. Principle of stream thermocompression: conception of energetic efficiency and prospect of realization is in small heat energetic. *MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa.* 2009. Vol. 11. P. 70–76.

18. Sharapov S., Arsenyev V., Kozin V. Experimental investigation of liquid-vapor ejector with conical mixing chamber. *Technology audit and production reserves.* 2016. № 4/1(30). P. 50–55.

19. Sharapov S., Arsenyev V., Prokopov M., Kozin V. Influence of the passive flow initial parameters on the efficiency of liquid-vapor ejectors. *Lecture Notes in Mechanical Engineering: Advances in Design, Simulation and Manufacturing. DSMIE 2018.* 2019. P. 346–355. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93587-4_36.

20. Sharapov S., Mižáková J., Husiev D., Panchenko V., Ivanov V., Pavlenko I., Židek K. Vapor Overproduction Condition Monitoring in a Liquid–Vapor Ejector. *Processes.* 2022. Vol. 10. P. 2383. <https://doi.org/10.3390/pr10112383>.

21. Danfoss. Системний менеджер, АК-SM 820A 080Z4024 URL : <https://assets.danfoss.com/documents/255933/AQ444322069089en-000101.pdf> (дата звернення 24.01.2024).

22. Danfoss. Датчик температури, MBT 3270, 30 мм, G,1/4 084Z2443. URL: <https://assets.danfoss.com/documents/197353/AI174986427610en-000602.pdf> (дата звернення 24.01.2024).

23. Danfoss. Перетворювач сигналу тиску, AKS 33, -1.00 бар – 12.00 бар, -14.50 фунт на дюйм² 060G2105 – 174.00 фунт на дюйм². URL:<https://assets.danfoss.com/documents/186172/AI309147088294en-000301.pdf> (дата звернення 24.01.2024).

24. Danfoss. АМЕ 435, Напруга живлення [В] АС: 24, 20.00 мм 082H016. URL <https://assets.danfoss.com/documents/241855/AQ17528647551401-010502.pdf> (дата звернення 24.01.2024).

25. Теплолічильник SHARKY 775. Паспорт. Керівництво з експлуатації. URL: https://lichilnik.com.ua/index.php?route=product/product/download&product_id=590&download_id=19 (дата звернення 24.01.2024).

26. Водокільцеві вакуумні насоси, моноблочні серії PVM. URL: : <https://emerem.com.ua/industrial-pumps/vacuum-pumps/vakuumnyj-nasos-monoblock/#> (дата звернення 24.01.2024).

Стаття надійшла до редакції 20.02.2024 р



S. Sharapov¹, S. Yevtushenko¹, S. Khovanskyi¹
¹Sumy State University

EXPERIMENTAL STAND FOR RESEARCH OF MIXING PROCESSES IN LIQUID-VAPOR JET DEVICES

Summary

The article describes the prospects for experimental studies of liquid-vapor jet apparatus with mixing chambers with different geometric shapes. To formulate the research objectives, a critical analysis of modern studies of Ukrainian and foreign scientists that studies the efficiency of mixing processes in two-phase jet apparatus was carried out. As a result of the literature review, it can be concluded that the degree of completeness of the process of mixing primary and secondary flows with the achievement of the required final parameters is a rather working process. That is why the purpose of this article is to experimentally verify the reliability of the results of the theoretical study of mixing chambers of different geometric shapes of a liquid-vapor jet apparatus. For this, it is necessary to create an experimental stand for studying a liquid-vapor jet apparatus with mixing chambers of different geometric shapes, to conduct experimental studies of the features of the working process of a liquid-vapor jet apparatus with mixing chambers of different geometric shapes in order to clarify the mathematical model of its calculation, the dependence of the flow and energy indicators of a liquid-vapor jet apparatus with mixing chambers of different geometric shapes on thermodynamic and operating parameters, and to determine the effectiveness of the process. Thus, the results of numerical studies should be supplemented by additional experimental studies. The paper presents a schematic diagram and description of the experimental stand for studying liquid-vapor jet apparatus with mixing chambers of different geometric shapes. The program and methodology of experimental studies contain a range of changes in the operating and geometric parameters during experimental studies. The scheme of automation of the experimental stand and the proposed control and measuring devices at the characteristic points of the cycles are proposed. The choice of instruments and equipment has been made, which will allow conducting an experimental study and calculating the values that are the results of indirect measurements with the required accuracy.

Keywords: liquid-vapor jet device, mixing chamber, experimental study, secondary flow, geometric parameters, efficiency of the mixing process.