

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОЇ ГРАВІТАЦІЇ В ТЕПЛОМАСООБМІННИХ АПАРАТАХ ДЛЯ СИСТЕМИ ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІЛОТОВАНИХ КОСМІЧНИХ МІСІЙ

П. О. Барабаш, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

А. С. Соломаха, кандидат технічних наук, доцент

В. Г. Ріферт, доктор технічних наук, професор

В. Г. Петренко, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Р. В. Десятерик, кандидат технічних наук, інженер

Навчально-науковий інститут Атомної та теплової енергетики,

НТУУ «Київський політехнічний інститут» ім. Ігоря Сікорського

E-mail: a.solomakha@kpi.ua

Анотація. Проаналізовано особливості регенерації води в умовах замкнутого простору (космічного польоту), коротко показано основні наявні системи та їх недоліки. Наведено конструкцію відцентрового масообмінного апарату, який здатен працювати в умовах невагомості. Приведено експериментальні дослідження роботи відцентрового апарату в режимі розділення газорідинної суміші, показано можливість отримати напір на рівні 8 м водяного стовпа для розглянутої конструкції. Наведено формулу для розрахунку напору для черпакового насоса, в якій враховано частоту обертання, об'ємна витрата та геометричні розміри і розташування черпакового насоса. Запропоновано принципові схеми використання нового відцентрового масообмінного апарату в системах регенерації води та для уловлення конденсату атмосферної вологи. Проаналізовано особливості роботи запропонованих схем та визначені їх потенційні переваги. Визначено основні завдання для майбутніх експериментальних досліджень тепломасообмінного відцентрового апарату.

Ключові слова: *система регенерації води, масообмін, відцентровий апарат*

Актуальність. Тривале функціонування замкнутого заселеного об'єкта (пілотований космічний апарат, підводний човен) передбачає наявність на ньому системи життєзабезпечення, яка створює необхідні санітарні умови, забезпечує питною і технічною водою, їжею тощо. Система життєзабезпечення може бути організована за рахунок попередньо створених запасів та витратних компонентів,

які періодично поповнюються в результаті їх доставки до замкнутого населеного об'єкта. Такий спосіб організації системи життєзабезпечення найбільш простий, але не завжди можливий, особливо при тривалих та далеких космічних місіях. Тому в таких випадках набагато вигідніше організувати поповнення витратних матеріалів в самому замкнутому заселеному об'єкті, наприклад, шляхом їх регенерації та повторного використання. Це, в першу чергу, стосується регенерації води із водовмісних продуктів життєдіяльності та побутових потреб людини: урини, сангігієнічної води, конденсату атмосферної вологи. Регенована вода може використовуватись для сангігієнічних потреб, отримання кисню, а також для поповнення питних запасів [1-4].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Основними вимогами до обладнання апаратів і систем, призначених для систем життєзабезпечення, є можливість функціонування при мікрогравітації та перевантаженнях, мінімальні габарити і маса, висока енергетична ефективність, безпечність, екологічність і простота використання, мінімальні затрати на обслуговування, висока надійність та великий ресурс експлуатації [5].

При цьому обладнання, яке успішно виконує своє завдання в земних умовах, часто не може працювати при мікрогравітації в умовах космічних польотів.

Особливо часто виникає ця проблема з гідро- та теплотехнічним обладнанням, яке працює із двофазними (газорідинними) середовищами. До такого обладнання можна віднести системи збору та консервації рідких продуктів життєдіяльності космонавтів (урина, санітарно-гігієнічна вода), систему кондиціонування повітря (регулювання вологовмісту та температури атмосферного повітря замкнутого населеного об'єкту), систему регулювання концентрації вуглекислого газу [6]. В умовах мікрогравітації функціонування такого обладнання може бути забезпечене за допомогою мембранних або сорбційних технологій [7-8], але подібні системи мають відносно малий ресурс, що вимагає великих запасів витратних матеріалів на борту космічного апарата [9].

Також більшість вказаних систем працюють фактично незалежно одна від одної. Тобто процеси регенерації води, розділення газорідинної суміші та

підтримання вмісту вологи і температури повітря здійснюються в апаратах різного принципу дії, що призводить до ускладнення керованості системи, знижує надійність роботи і збільшує її вагу.

Альтернативою для мембранних та сорбційних технологій може бути використання штучної гравітації. Такі апарати та системи повністю або частково знаходяться в полі дії відцентрових сил.

Зокрема, апарати із штучною гравітацією активно використовуються в системах регенерації води для реалізації процесу дистиляції. Для забезпечення їх працездатності в умовах мікрогравітації використовується штучна гравітація в полі дії відцентрових сил в роторі, який обертається в нерухомому корпусі дистилятора. В багатьох публікаціях розглянуті вакуумні дистилятори [9-11]. Для підвищення енергетичної ефективності застосовується багатоступеневе випаровування, а також термоелектричний або компресійний термотрансформатор.

Раніше авторами проведені успішні випробування різного типу відцентрових апаратів для отримання чистої води з урини та санітарно-гігієнічної води, зокрема було розроблено одно-, три- та п'ятиступеневі вакуумні дистилятори, в яких вдалося досягти високого рівня регенерації води [9, 12].

Спільним недоліком вакуумних систем дистиляції є необхідність використання в системі вакуумного насоса, оскільки використання вакууму із навколишнього космічного простору забороняється за умовами безпечної експлуатації системи. Вакуум у випарнику та конденсаторі блоку відцентрового дистилятора потрібен у зв'язку з необхідністю обмежувати температуру випарюваних розчинів на рівні нижче 50 °С. Вища температура призводить до небажаних термохімічних процесів (розкладання) у речовинах, що містяться у випарюваних розчинах. Необхідність постійно підтримувати вакуум ускладнює систему, підвищує її енергоспоживання та масу, знижує її надійність.

Мета дослідження – розгляд відцентрових апаратів для системи життєзабезпечення, які можуть з успіхом вирішувати проблеми тривалих навколоземних та далеких космічних місій. Всі вони побудовані на основі інноваційної моделі відцентрового контактного масообмінного апарату, який здатен

працювати при атмосферному тиску. Проаналізовано схемні рішення для застосування нового масообмінного апарату в замкнутих системах життєзабезпечення.

Матеріали і методи дослідження. Для визначення основних робочих напірних характеристик було застосовано експериментальний метод дослідження. Було виготовлено відцентровий апарат, конструктивна схема якого показана на рис.1.

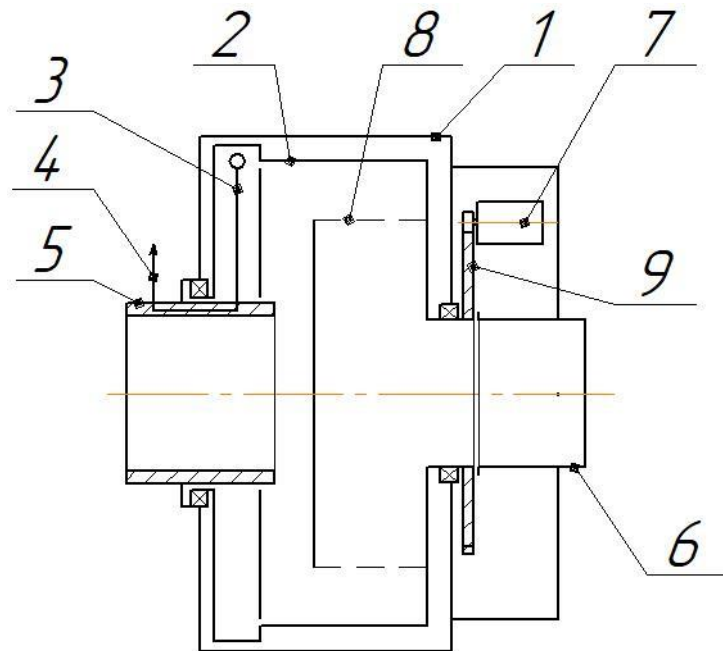


Рис.1. Відцентровий тепломасообмінний апарат:

1 – корпус; 2 – ротор; 3 – черпак насоса; 4 – напірний патрубок насоса; 5 – вхідний патрубок для газорідної суміші; 6 – вихідний патрубок газу; 7 – електродвигун; 8 – сітчастий барабан сепаратора; 9 – зубчастий редуктор

Основними його складовими є корпус 1, всередині якого розташований ротор 2, що обертається за рахунок електродвигуна 7. Ротор виконаний порожнистим. Він складається з насосної та основної технологічних частин. У насосній частині ротора розташований нерухомий черпак 3, який є основним елементом черпакового насоса. Він працює завдяки динамічному напору рідини, що обертається разом з ротором 2. У технологічній частині встановлено сітчастий барабан-сепаратор 8, який може мати різну конструкцію в залежності від призначення апарату: для сепарації газорідного потоку, дистиляції або кондиціонування повітря. При цьому може змінюватися і конструкція внутрішньої порожнини ротора 2.

Результати досліджень та їх обговорення.

Розглянемо можливі варіанти застосування масообмінного відцентрового апарату.

Сепарація двофазної газорідинної суміші.

У різноманітних процесах в замкнутому об'єкті необхідно відділити рідину із газоповітряної суміші. Відцентровий насос – сепаратор призначений для системи збору і консервації рідкої фази із газорідинної суміші, яка утворюється при зборі продуктів життєдіяльності космонавтів (урина), сангігієнічної води (водні процедури космонавтів), а також може бути використаний у системі кондиціювання повітря кабіни пілотованого космічного апарата [4]. При цьому відділену рідину потрібно також перекачати далі в наступні елементи системи життєзабезпечення. Процес розділення газоповітряної суміші з подальшим перекачуванням рідкої фази можна ефективно здійснити в описаному вище апараті.

Працює насос – сепаратор наступним так (див. рис.1). Газорідинна суміш подається у ротор 2, де вона відцентровими силами розділяється на рідку і газову фази. Рідина відводиться до вбудованого у ротор насоса, звідки черпаком 3 відкачується із ротора 2 через напірний патрубок 4. Газова фаза через сітчастий барабан 8 та вихідний патрубок газу 6 відводиться з відцентрового насоса – сепаратора.

Принципова схема системи збору і консервації рідкої фази із газорідинної суміші показана на рис. 2.

Основними складовими цієї системи є насос-сепаратор відцентрового типу 2 (див. рис.1), фільтр 3, газодувка 4, мембранні або сильфонні баки 5, вхідні та вихідні патрубки 1, 6, 7.

Працює система так. Через відцентровий технологічний апарат 2 газодувкою 4 прокачується повітря, в якому міститься рідка фаза. Під дією відцентрових сил у обертовому роторі насоса-сепаратора 2 відбувається поділ газорідинної суміші на рідку та газоподібну компоненти. Відокремлена рідина вбудованим у ротор насосом відкачується в накопичувальні мембранні ємкості 5. Транспортне повітря, звільнене

в апараті 2 від крапельної вологи, проходить додатковий фільтр 3 і за допомогою газодувки 4 відводиться в кабінку через патрубок 7.

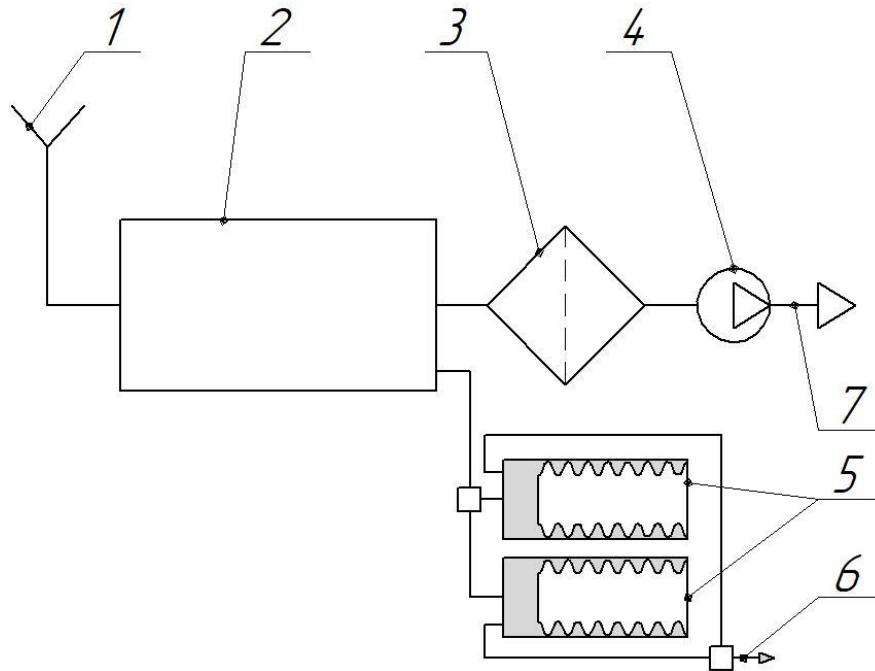


Рис. 2 – Система збору і консервації газорідинної суміші:

1 – вхід газорідинної суміші; 2 – насос – сепаратор; 3 – фільтр; 4 – газодувка; 5 – мембранний бак; 6 – вихідний патрубок зібраної рідини; 7 – вихідний патрубок газодувки

Роботу відцентрового насоса-сепаратора було перевірено на стендах КПП ім. Ігоря Сікорського. Було виготовлено відцентровий апарат з різними конструкціями черпаків для насоса. У результаті експериментально було визначено напірну характеристику для черпаків трьох різних конструкцій (див. рис.3).

Відомо, що в черпаковому насосі швидкість обертання його корпусу завжди більша швидкості обертання рідини, яка знаходиться всередині цього ротору. З урахуванням особливостей вбудованого черпакового насоса (наявність в насосній камері границі розділення газ-рідини) та відомих залежностей для звичайних черпакових насосів було отримано формулу для розрахунку дійсного напору запропоновано черпакового насоса [13]:

$$H = \frac{(\omega_k r_{cp})^2}{2g} \left[2K_n \left(\frac{\omega}{\omega_k} \right)^2 - \left(\frac{r_x \omega}{r_{cp} \omega_k} \right)^2 \right] - \frac{aQ^2}{f^2 2g} \quad (1)$$

де ω_k – частота обертання корпусу, 1/с; ω – ефективна кутова швидкість рідини на рівні приймального отвору, 1/с; r_{cp} – відстань від осі обертання до центру

приймального отвору каналу черпака, м; r_x – відстань від осі обертання до границі розділення газ-рідина в насосній камері, м; K_n – коефіцієнт напору; g – прискорення вільного падіння, м/с²; a – сумарний коефіцієнт втрат у відвідному каналі; f – площа входу в приймальний отвір відвідного каналу черпака, м²; Q – об'ємна витрата рідини у відвідному каналі, м³/с.

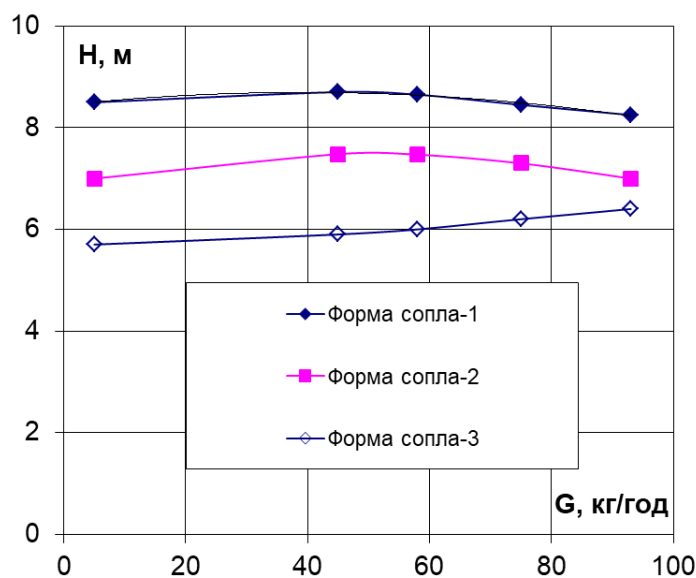


Рис 3. Залежність напору черпакового насоса від витрати рідини через вхідний отвір черпака різної форми

Із рівняння (1) видно, що відношення ω/ω_k є важливою характеристикою насоса, яке необхідно знати, для того, щоб розрахувати напір. Для нульової витрати ($Q = 0$) з рівняння (1) можна знайти:

$$\frac{\omega}{\omega_k} = \frac{2gH}{(\omega_k r_{cp})^2 \left(2K_n - \left(\frac{r_x}{r_{cp}} \right)^2 \right)} \quad (2)$$

Коефіцієнт K_n у рівнянні (1) та (2) за літературними даними для черпакових насосів може змінюватися в доволі широких межах. Його числове значення залежить від відношення поперечного розміру перерізу черпака до відстані між боковими стінками насосної камери [5].

У результаті обробки експериментальних даних для нашого випадку $\omega/\omega_k \approx 0,52$, а $K_n = 1,7$ для першого сопла і $K_n = 1,05$ для другого та третього сопел (див. рис.3).

У процесі експериментального дослідження розділення рідини та повітря було помічено, що запропонований насос-сепаратор може також ефективно виконувати роль масообмінного апарату, зокрема для конденсації вологи з повітря та, після відповідної модернізації, для дистиляції різних розчинів.

Система регулювання температури і вологості повітря в космічному апараті

Принципова схема системи регулювання температури і вологості повітря в населеному відсіку космічного апарата показана на рис. 4.

Основним базовим елементом цієї схеми також є відцентровий тепломасообмінний апарат 3, реалізований на основі насоса-сепаратора (рис.1). У схемі присутня газодувка 4, охолоджувач конденсату 8 та мембранні баки 6.

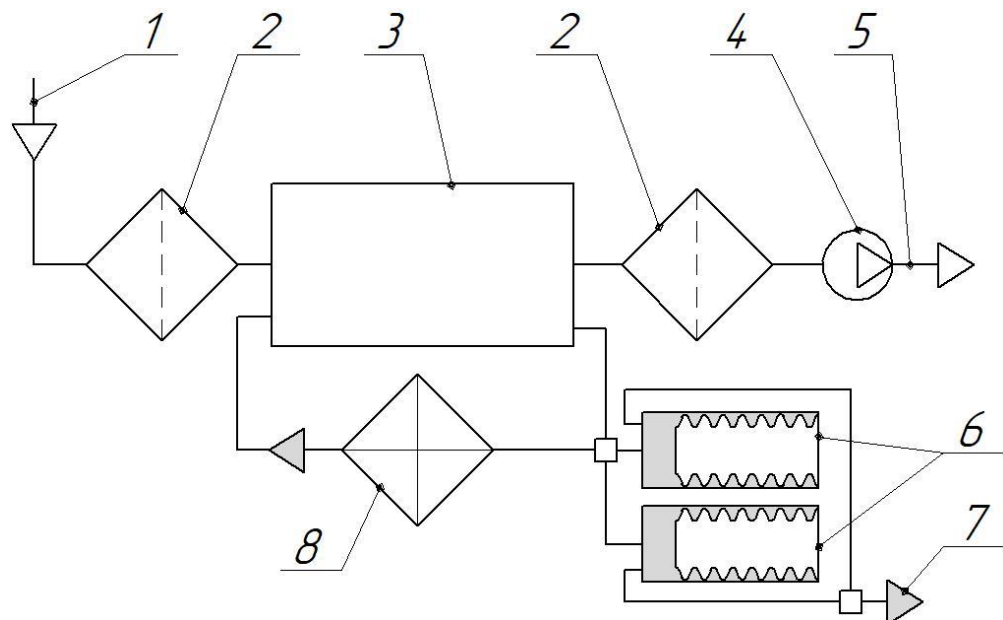


Рис. 4. Система кондиціювання повітря:

1 – забір повітря на обробку; 2 – фільтр; 3 – насос – сепаратор; 4 – газодувка; 5 – патрубок виходу повітря; 6 - мембранні баки; 7 – відбір конденсату; 8 - охолоджувач конденсату

Працює установка так. Повітря з кабіни, в якій необхідно регулювати температуру і вологість, через вхідний патрубок 1, фільтр 2 газодувкою 4 прокачується через ротор тепломасообмінного апарату 3. У роторі, що обертається, здійснюється обробка повітря охолодженою водою, що надходить з теплообмінника 8. При цьому відбувається зниження температури і вологості повітря, що надходить в апарат 3. Далі повітряний потік проходить додатковий фільтр 2 і за допомогою газодувки 4 через патрубок 5 повертається в кабіну.

Конденсат, що утворюється при охолодженні повітря кабіни космічного апарата, змішується з рідиною, що циркулює через охолоджувач 8. Надлишок конденсату відкачується у збірні баки 6 черпаковим насосом, який вбудовано в апарат 3.

Дистиляційна система для регенерації води в космічному апараті

Комбінація двох описаних на рис.2 та рис.4 систем може працювати у вигляді дистиляційної системи, в якій можна отримати чисту воду для сангігієнічних потреб, для отримання кисню, а також, після додаткової очистки, для пиття.

У цій роботі запропоновано дистиляційну систему атмосферного типу [14], принципова схема якої показана на рис.5. Ця система дистиляції позбавлена недоліків вакуумної дистиляційної системи, оскільки працює при атмосферному тиску. Для підвищення ефективності запропонованої системи в якості нагрівника та охолоджувача використано термоелектричний тепловий насос.

випарюваний розчин із системи подачі розчину 6 надходить до циркуляційного контуру 13 через гарячу сторону термоелектричного теплового насоса 4 та зрошує пористу насадку зволожувача 2. Під дією відцентрових сил випарюваний розчин рухається через пористу насадку та скидається в корпус черпакового насоса 10, який забезпечує рух випарюваного розчину в циркуляційному контурі 13 послідовно через гарячу сторону термоелектричного теплового насоса та пористу насадку зволожувача 2.

Після заповнення циркуляційного контуру 14 охолодженим в термоелектричному тепловому насосі дистилятом, він за допомогою вбудованого

черпакового насоса 11 починає циркулювати через холодну сторону теплового насосу, охолоджувач 15, пористу насадку осушувача повітря 3, черпаковий насос 11.

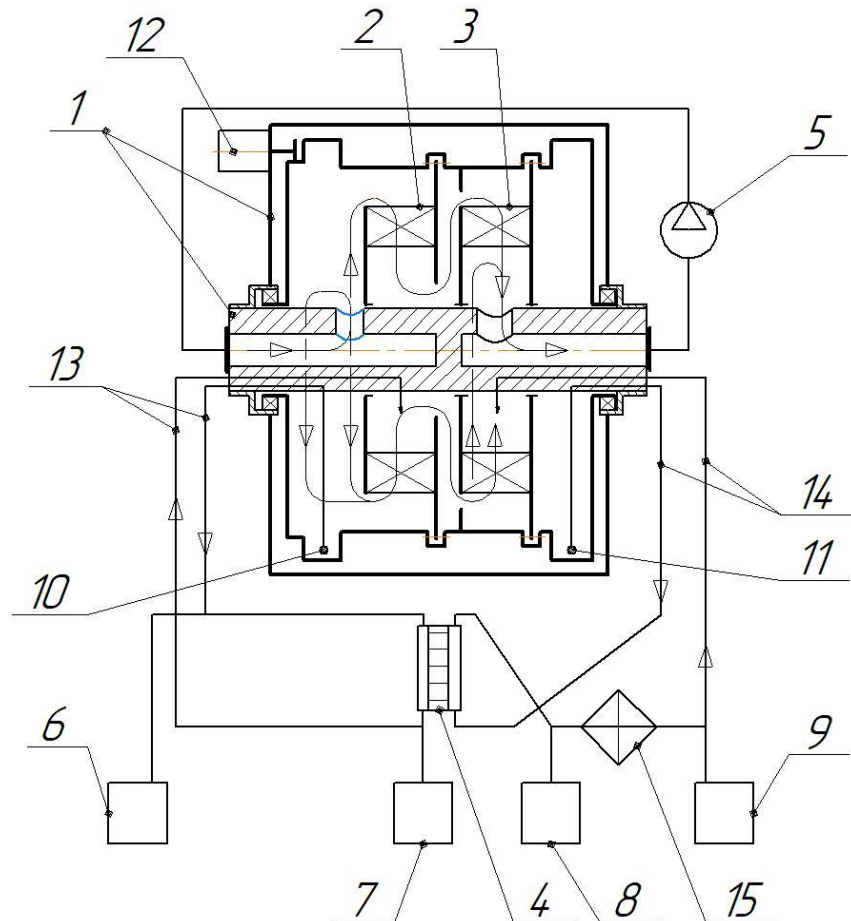


Рис. 5. Принципова схема відцентрового атмосферного дистилятора:

1 – корпус; 2 – зволожувач (випарник); 3 – осушувач (конденсатор); 4 – термоелектричний тепловий насос; 5 – газодувка; 6 – система подачі свіжого розчину; 7 – система відведення концентрату; 8 – система попередньої заправки холодного контуру; 9 – система відведення дистиляту; 10 – черпаковий насос гарячого контуру; 11 – черпаковий насос холодного контуру; 12 – електродвигун; 13 – гарячий контур; 14 – холодний контур; 15 – балансуючий охолоджувач Система дистиляції (рис. 5) працює так. При обертанні ротора двигуном 12

Система подачі повітря 5 подає його через пористу насадку зволожувача 2 (режим руху – протитечія), де відбувається підвищення вологовмісту повітря за рахунок випаровування водовмісного розчину. Отримана в зволожувачі пароповітряна суміш надходить до осушувача повітря 3 (режим руху – протитечія) де, на зрошуваній охолодженим дистилятом пористій насадці, відбувається конденсація водяної пари. Повітря із зменшеним вологовмістом після осушувача 3 повертається до входу системи подачі повітря 5. Підігрітий в осушувачі 3 дистилят

черпаковим насосом 11 подається до холодної сторони термоелектричного теплового насосу, який передає теплоту конденсації до гарячої сторони теплового насосу. На гарячій стороні теплового насосу розчин підігрівається перед його подачею до зволожувача 2.

Підживлення гарячого контуру 13 забезпечується системою подачі випарюваного розчину 6, а відведення отриманого дистиляту, системою відведення дистиляту 9. Після досягнення в контурі 13 заданої концентрації, невикпарений залишок (концентрат) відводиться із системи дистиляції системою відведення концентрату 7. Балансуючий охолоджувач 15 забезпечує стаціонарність роботи системи дистиляції.

Висновки і перспективи. На основі попередньо проведених експериментальних досліджень було показано працездатність відцентрового насосу-сепаратора газорідинної суміші. Було отримано його напірні характеристики. Одночасно було відмічено, що в процесі розділення газорідинної суміші відбувався активний масообмін, який залежав від температур газової та рідкої фаз. На основі отриманих результатів було запропоновано декілька принципів схем застосування такого відцентрового масообмінного апарату. Якщо порівнювати із існуючими системами, то застосування відцентрового апарату із вбудованими насосами може суттєво спростити загальну систему життєзабезпечення та підвищити її надійність. Основною перевагою описаних апаратів є те, що вони працюють при тиску, який є в кабіні космічного апарата без необхідності їх вакуумування.

У той же час, для проектування атмосферного дистилятора на задану продуктивність, необхідно мати інформацію про інтенсивність процесів тепло- та масообміну у зволожувачі та осушувачі, які, в свою чергу, залежать від їх геометричних параметрів, швидкості обертання ротора та густини зрошення насадки у випарнику (зволожувачі) та конденсаторі (осушувачі).

У доступних літературних джерелах відсутня необхідна інформація для розрахунку процесів тепло- та масообміну в подібних апаратах. Тому в наступних публікаціях буде представлено експериментальні дані з вказаних досліджень.

Список використаних джерел

1. Helgeland I., Vogel J., Tommerup M., Ogden J. From Waste to water: and integrated system to recover potable water from urine and condensate. *International Conference on Environmental Systems*: матеріали 52 наукової конференції (16-20 July 2023, Calgary, Canada). ICES-2023-45.
2. Hooshyari G., Bose A., La-Grenade J., Kad S., Callahan M.. Hybrid Life Support System Full Scale Testing: Integrated Bioreactor-Desalination Long-Term Testing. *International Conference on Environmental Systems*: матеріали 52 наукової конференції (16-20 July 2023, Calgary, Canada). ICES-2023-175.
3. Tesia D. Irwin, Angie Diaz, Jennifer Gooden, Mary Hummerick, Wenyan Li, Nilab Azim, Deborah Essumang, Michael R. Callahan. Silver Foam: A Novel Approach for Long-Term Passive Dosing of Biocide in Spacecraft Potable Water Systems – Update 2023. *International Conference on Environmental Systems*: матеріали 52 наукової конференції (16-20 July 2023, Calgary, Canada). ICES-2023-251.
4. Stephanie Petrina Boyce, Patrick Pasadilla, Philipp Tewes, Connor J. Joyce, Jonathan P. Wilson, Jill Williamson, Katherine Toon. Brine Processor Assembly: A Year of Successful Operation on the International Space Station. *International Conference on Environmental Systems*: матеріали 52 наукової конференції (16-20 July 2023, Calgary, Canada). ICES-2023-292.
5. Colton J. Caviglia, Jill Williamson, Yo-Ann Velez Justiniano, Chelsea McCool, Chelsi D. Cassilly. Development and Testing of a New Partial Gravity Urine Processor Design and Urine Pretreatment. *International Conference on Environmental Systems*: матеріали 52 наукової конференції (16-20 July 2023, Calgary, Canada). ICES-2023-100.
6. Jill Williamson, Jonathan P. Wilson, Kristina Robinson, Hieu Luong. Status of ISS Water Management and Recovery. *International Conference on Environmental Systems*: матеріали 52 наукової конференції (16-20 July 2023, Calgary, Canada). ICES-2023-97.
7. Tatsuya Arai, John Fricker. Dormancy Protocol of Electro Oxidation Membrane Evaporator for Urine Processing and Water Recovery. *International Conference on Environmental Systems*: матеріали 52 наукової конференції (16-20 July 2023, Calgary, Canada). ICES-2023-288.
8. Talon Bullard, Alexandra Smith, Benjamin Hoque, Celia Devito, Katrina Haarmann, Flaubert Akepeu, Ana Ferret, Robert Bair, Daniel Yeh, Paul Long, Melissa Collins, Mark Fehrenbach, Daniella Saetta, Jason Fischer, Luke Roberson. Alternative Treatment of Crew Wastewater Using a Hybrid Membrane Technology. *International Conference on Environmental Systems*: матеріали 52 наукової конференції (16-20 July 2023, Calgary, Canada). ICES-2023-360.
9. Rifert, V., Solomakha, A., Barabash, P. Centrifugal multiple effect distiller for water recovery for space applications. *CEAS Space Journal*, 2023, №15, P. 751–760.
10. Rifert V.G., Anatychuk L.I., Solomakha A.S., Barabash P.O., Petrenko V.G., Snegovskoy O.P Influence of thermodynamic characteristics of a thermoelectric heat pump on the performance and energy consumption of a centrifugal distiller. *Thermoelectricity*, 2021, №2, P. 5 – 17.

11. Rifert V.G., Anatychuk L.I., Barabash P.O., Solomakha A.S., Usenko V.I., Petrenko V.G. Justification of thermal distillation method with a thermoelectric heat pump for long-term space missions. *Thermoelectricity*, 2021, №1, P. 5 – 22.

12. Барабаш П. А., Соломаха А. С., Ріферт В. Г., Петренко В. Г., Усенко В. І., Боянівський В. П.. Кристалізація розчину NaCl у вакуумному відцентровому плівковому дистиляторі. *Наукові вісті КНУ*. 2019. №4. С.77-82.

13. Спасский К. Н., Шаумян В. В. Новые насосы для малых подач и высоких напоров. Москва: Машиностроение, 1972. 160 с.

14. Масообмінна система дистиляції: пат. № 151430 Україна: МПК (2021.01) B01D 3/12, B01D 3/10, B64G 1/60.. и 2022 00395; заявл. 01.02.2022; опубл. 20.07.2022, Бюл. № 29, 6 с.

References

1. Ingrid A. Helgeland, Dr. Jörg Vogel, Maja Bender Tommerup, Jason A. Ogden (2023). From Waste to water: and integrated system to recover potable water from urine and condensate. 52nd International Conference on Environmental Systems 16-20 July 2023, Calgary, Canada. ICES-2023-45. <https://ttu-ir.tdl.org/server/api/core/bitstreams/4d1632e5-5d88-45d3-b749-af0a77d9904d/content>

2. Ghaem Hooshyari, Arpita Bose, Jessica La-Grenade, Siddhi Kad, Michael Callahan (2023). Hybrid Life Support System Full Scale Testing: Integrated Bioreactor-Desalination Long-Term Testing. 52nd International Conference on Environmental Systems 16-20 July 2023, Calgary, Canada. ICES-2023-175. <https://ttu-ir.tdl.org/items/a3af3fd5-b99a-4891-9abc-14e013d85d54>

3. Tesia D. Irwin, Angie Diaz, Jennifer Gooden, Mary Hummerick, Wenyan Li, Nilab Azim, Deborah Essumang, Michael R. Callahan (2023). Silver Foam: A Novel Approach for Long-Term Passive Dosing of Biocide in Spacecraft Potable Water Systems – Update 2023. 52nd International Conference on Environmental Systems 16-20 July 2023, Calgary, Canada. ICES-2023-251. <https://ttu-ir.tdl.org/items/b57ea9a5-dee5-42eb-8443-1bc2d447e426>

4. Stephanie Petrina Boyce, Patrick Pasadilla, Philipp Tewes, Connor J. Joyce, Jonathan P. Wilson, Jill Williamson, Katherine Toon (2023). Brine Processor Assembly: A Year of Successful Operation on the International Space Station. 52nd International Conference on Environmental Systems 16-20 July 2023, Calgary, Canada. ICES-2023-292. <https://ttu-ir.tdl.org/items/94ef8a56-6050-43ab-af9b-9b89ba02fafa>

5. Colton J. Caviglia, Jill Williamson, Yo-Ann Velez Justiniano, Chelsea McCool, Chelsi D. Cassilly (2023). Development and Testing of a New Partial Gravity Urine Processor Design and Urine Pretreatment. 52nd International Conference on Environmental Systems 16-20 July 2023, Calgary, Canada. ICES-2023-100. <https://ttu-ir.tdl.org/items/8284454c-8efd-4608-be74-8f0e42246c5c>

6. Jill Williamson, Jonathan P. Wilson, Kristina Robinson, Hieu Luong (2023). Status of ISS Water Management and Recovery. 52nd International Conference on Environmental Systems 16-20 July 2023, Calgary, Canada. ICES-2023-97. <https://ttu-ir.tdl.org/items/e1990362-9811-411a-8846-023b64b0acd6>

7. Tatsuya Arai, John Fricker (2023). Dormancy Protocol of Electro Oxidation Membrane Evaporator for Urine Processing and Water Recovery. 52nd International

Conference on Environmental Systems 16-20 July 2023, Calgary, Canada. ICES-2023-288. <https://ttu-ir.tdl.org/items/d14649f5-bbec-4b0c-a001-d618e605e794>

8. Talon Bullard, Alexandra Smith, Benjamin Hoque, Celia Devito, Katrina Haarmann, Flaubert Akepeu, Ana Ferret, Robert Bair, Daniel Yeh, Paul Long, Melissa Collins, Mark Fehrenbach, Daniella Saetta, Jason Fischer, Luke Roberson (2023). Alternative Treatment of Crew Wastewater Using a Hybrid Membrane Technology. 52nd International Conference on Environmental Systems 16-20 July 2023, Calgary, Canada. ICES-2023-360. <https://ttu-ir.tdl.org/handle/2346/94751?locale-attribute=es>

9. Rifert, V., Solomakha, A., Barabash, P. et al. (2022). Centrifugal multiple effect distiller for water recovery for space applications. CEAS Space Journal. <https://doi.org/10.1007/s12567-022-00480-x>

10. Rifert, V.G., Anatychuk, L.I., Solomakha, A.S., Barabash, P.O., Petrenko, V.G., Snegovskoy, O.P. (2021). Influence of thermodynamic characteristics of a thermoelectric heat pump on the performance and energy consumption of a centrifugal distiller. Thermoelectricity, №2, 5 – 17. http://jt.inst.cv.ua/jt/jt_2021_02_en.pdf

11. Rifert, V.G., Anatychuk, L.I., Barabash, P.O., Solomakha, A.S., Usenko, V.I., Petrenko, V.G. (2021). Justification of thermal distillation method with a thermoelectric heat pump for long-term space missions. Thermoelectricity. №1, 5 – 22. http://jt.inst.cv.ua/jt/jt_2021_01_en.pdf

12. Barabash, P. A., Solomakha, A. S., Rifert, V. H., Petrenko, V. H., Usenko, V. I., Boianivskiy, V. P. (2019). Krystalizatsiia rozchynu NaCl u vakuumnomu vidtsentrovomu plivkovomu dystyliatori. [Crystallization of NaCl solution in a vacuum centrifugal film still. Naukovi visti KPI, №4, 77-82.

13. Spassky, K.N., Shaumian, V.V. (1972). Novyye nasosy dlya malykh podach i vysokikh naporov [New pumps for low flow rates and high pressure]. Moscow, «Mashinostroyeniye», 160.

14. Rifert V.G., Barabash P.O., Solomakha A.S., Petrenko V.G. (2022). Masoobminna systema dystyliatsii [Masstransfer distillation system]. Patent of Ukraine for useful model. B01D 3/12, B01D 3/10, B64G 1/60; declared 01.02.2022; ; published 20.07.2022, №29.

ARTIFICIAL GRAVITY IN HEAT AND MASS EXCHANGE APPARATUS FOR THE LIFE SUPPORT SYSTEM OF MANNED SPACE MISSIONS

V. Rifert, P. Barabash, A. Solomakha, V. Petrenko, R. Desiateryk

Abstract. *Different water recovery systems for deep space flight are analyzed; the existing systems and their shortcomings are briefly shown. The construction of a centrifugal mass transfer apparatus is presented, it could work in weightlessness conditions. The experimental data for the centrifugal apparatus in the mode of separation of the gas and liquid mixture are presented. The pressure was about 8 meters of water column for proposed construction. The formula for calculating the pressure for a scoop pump is given, which takes into account the rotation frequency, volume flow rate, the geometric dimensions and location of the scoop. Principle schemes for using a new centrifugal mass exchange device for water recovery systems and for capturing atmospheric moisture condensate are proposed. The features of the proposed schemes are*

analyzed and their potential advantages are determined. The main tasks for future experimental studies of the heat and mass transfer centrifugal apparatus are defined.

Key words: *water recovery system, mass and heat transfer, centrifugal device*