

Винахід належить до систем комплексного очищення води і може бути використаний в системах життєзабезпечення екіпажу пілотованих космічних апаратів для регенерації води із рідких продуктів життєдіяльності екіпажу (урина, санітарно-гігієнічна вода, конденсат атмосферної вологи).

Відома система дистиляції води [1] на борту космічного апарата, що містить блок відцентрового дистилятора, термоелектричний тепловий насос, циркуляційні контури випарюваного розчину та охолоджуючого конденсату, теплообмінник-охолоджувач, підсистему подачі свіжого розчину, підсистему відведення дистиляту, а також підсистему відведення концентрату випарюваного розчину та газів, що не конденсуються. Блок відцентрового дистилятора, має одну або більше ступенів випаровування. В першій з них випарювання розчину відбувається за рахунок його перегріву, отриманого в термоелектричному тепловому насосі відносно температури насичення у цьому ступені. Низькотемпературним джерелом енергії термоелектричного теплового насоса є тепло конденсації пари, отриманої в останньому ступені випаровування, яке переноситься по циркуляційному контуру конденсату до термоелектричного теплового насоса (ТТН). Блок відцентрового дистилятора містить вбудовані насоси, які забезпечують необхідні переміщення теплоносіїв у системі дистиляції.

Недоліками відомої системи є необхідність підтримання вакууму у випарнику та конденсаторі блока відцентрового дистилятора, викликана обмеженням температури випарюваних розчинів на рівні, що не призводить до небажаних термохімічних процесів у речовинах, що містяться у випарюваних розчинах. Для забезпечення необхідного вакууму використовують вакуумний насос, що ускладнює систему дистиляції, збільшує питомі витрати енергії та знижує надійність системи.

Відома також система дистиляції, що працює на принципі зволоження та осушування повітря (HDH) [2], що має корпус, в якому розміщено статичні зволожувач та осушувач повітря, підігрівач випарюваного розчину, підсистему подачі повітря та випарюваного розчину, підсистема розпилення випарюваного розчину, підсистема збору та відведення дистиляту і збору невивареного залишку.

Недоліком цієї системи дистиляції є низька інтенсивність тепломасообмінних процесів у зволожувачі та осушувачі повітря внаслідок того, що ці процеси відбуваються в парогазовій суміші, де наявність газів, що не конденсуються, зокрема повітря, в рази зменшують коефіцієнти тепловіддачі, особливо при конденсації. Крім того в цій системі дистиляції для руху рідин та їх сепарації від парогазової суміші у зволожувачі та осушувачі використовуються сили гравітації. З цієї причини така система дистиляції не буде працездатною при мікрогравітації, тобто в системах життєзабезпечення пілотованих космічних об'єктів.

Найбільш близькою за технічною суттю до запропонованого винаходу є масообмінна система дистиляції [3], що має корпус, в якому розміщено масообмінний відцентровий блок дистиляції, до якого входять ротор із зволожувачем та осушувачем та привод ротора, підігрівач випарюваного розчину, підсистему подачі технологічного повітря по замкнутому контуру послідовно через зволожувач та осушувач, підсистему подачі випарюваного розчину в масообмінну систему дистиляції, підсистему попередньої заправки дистилятом конденсатного контуру та підсистему відведення конденсату і невивареного залишку. Як підігрівач випарюваного розчину використано ТТН, який по гарячій стороні підключений до циркуляційного контуру випарюваного розчину, послідовно з черпаковим насосом та зволожувачем повітря. По холодній стороні ТТН послідовно включено в циркуляційний контур конденсату разом із осушувачем повітря, балансує охолоджувачем та черпаковим насосом.

Недоліком найближчого аналога є нездатність системи дистиляції захистити отриману чисту воду від летучих компонентів випарюваного розчину, які разом з пароповітряною сумішшю надходять у осушувач, де розчиняються у отриманому конденсаті вологи технологічного повітря. Це робить отриманий конденсат непридатним для поповнення запасів чистої води без додаткової його обробки, наприклад, сорбційними методами.

В основу винаходу поставлена задача вдосконалення системи дистиляції в напрямку енерго-, масо- і матеріалозбереження, працездатної в умовах невагомості на пілотованих космічних апаратах, при одночасному отриманні води високого ступеня очищення завдяки комбінації масообмінного та зворотно-осмотичного методів очищення води.

Поставлену задачу вирішують тим, що гібридна система дистиляції, яка містить масообмінний відцентровий блок дистиляції, до якого входить ротор із розміщеними в ньому зволожувачем та осушувачем технологічного повітря та вбудовані у ротор черпакові насоси, газодувку для подачі технологічного повітря послідовно через зволожувач та осушувач, термоелектричний тепловий насос, балансує охолоджувач, підсистему живлення масообмінного відцентрового блока дистиляції свіжим розчином, підсистему збору конденсату вологи технологічного повітря та підсистему збору невивареного залишку, а також циркуляційний контур технологічного повітря, циркуляційний контур випарюваного розчину та циркуляційний контур охолодженого конденсату вологи технологічного повітря, в якій, згідно з винахідницьким задумом, циркуляційний контур технологічного повітря виконано розімкнутим, з послідовним включенням у нього kabіни пілотованого космічного апарата, підсистема збору конденсату вологи технологічного повітря приєднана до вхідного патрубку бустерного насоса, який напірним патрубком підключений через буферний мембранний бак до

зворотньо-осмотичного фільтра, який патрубком для виходу відфільтрованої води приєднано до підсистеми збору чистої регенованої води, а патрубком для виходу концентрату приєднано до підсистеми живлення масообмінного відцентрового блока дистиляції свіжим розчином.

Суть винаходу пояснюється фігурою, на якій зображено принципову схему гібридної системи дистиляції.

Гібридна система дистиляції складається з:

- масообмінного відцентрового блока дистиляції, до складу якого входять ротор із зволожувачем 1 та осушувачем 2 технологічного повітря;

- черпакових насосів 3, які вбудовані у зволожувач 1 та осушувач 2, не потребують окремих приводів і забезпечують необхідні переміщення рідин у гібридній системі дистиляції;

- газодувки 4, яка забезпечує послідовне проходження технологічного повітря через зволожувач 1 та осушувач 2;

- термоелектричного теплового насоса 5, який забезпечує підігрів випарюваного розчину перед його подачею по циркуляційному контуру 12 до зволожувача 1, та охолодження конденсату вологи технологічного повітря, перед подачею його по циркуляційному контуру 13 до осушувача 2;

- балансуєного охолоджувача 6, який забезпечує тепловий баланс між гарячою та холодною сторонами ТТН 5;

- підсистем: 7 – живлення масообмінного відцентрового блока дистиляції свіжим розчином, 8 – попередньої заправки дистилятом циркуляційного контуру 13, 9 – збору конденсату вологи технологічного повітря, 10 – збору невивареного залишку;

- циркуляційних контурів: 11 – технологічного повітря, 12 – випарюваного розчину, 13 – охолодженого конденсату вологи технологічного повітря;

- бустерного насоса 14, який відкачує отриманий у осушувачі 2 конденсат вологи технологічного повітря із підсистеми 9 збору цього конденсату у буферний мембранний бак 15, в якому попередньо створено та підтримується надлишковий тиск газу на мембрану, достатній для роботи зворотньо-осмотичного фільтра 16;

- буферного мембранного бака 15;

- зворотньо-осмотичного фільтра 16,

- підсистеми збору чистої регенованої води 17;

- гідравлічних розподільників 18, 19, 20, які забезпечують необхідні режими функціонування циркуляційних контурів 12 та 13.

Гібридна система дистиляції працює наступним чином.

При обертанні ротора масообмінного дистиляційного блока гібридної системи дистиляції двигуном (на кресленні не показаний), при включених газодувці 4 та ТТН 5, через зволожувач 1 та осушувач 2 по розімкнутому контуру технологічного повітря 11 прокачують повітря кабіни космічного апарата. При першому включенні гібридної системи дистиляції, коли буферний мембранний бак 15 пустий, зворотньо осмотичний фільтр 16, зволожувач 1 і ТТН 5 працюють не в штатному, а в пусковому режимі. При цьому через зволожувач 1 до осушувача 2 надходить тепле і вологе повітря кабіни пілотованого космічного апарата, відбувається зменшення його температури і вологовмісту при контакті з охолодженим у ТТН 5 дистилятом. Сам дистилят за допомогою черпакового насоса 3 рухається в циркуляційному контурі 13, попередньо заправленому цим дистилятом через гідравлічний розподільник 18 підсистемою 8 попередньої заправки дистилятом контуру 13. Отриманий в осушувачі 2 конденсат вологи технологічного повітря збирають через гідравлічний розподільник 19 (регулятор рівня конденсату у осушувачі 2) підсистемою 9 збору конденсату вологи технологічного повітря, звідки його бустерним насосом 14 подають до буферного мембранного бака 15, який живить зворотньо-осмотичний фільтр 16 свіжим конденсатом вологи технологічного повітря. Бустерний насос 14 включається лише для відкачування конденсату вологи технологічного повітря з підсистеми 9 за сигналом про її заповнення конденсатом вологи технологічного повітря.

Після заповнення фільтра зворотного осмосу 16 конденсатом вологи технологічного повітря, гібридна система дистиляції починає працювати у штатному режимі, коли випарюваний розчин із підсистеми 7 живлення масообмінного відцентрового дистиляційного блока гібридної системи дистиляції свіжим розчином, надходить до циркуляційного контуру випарюваного розчину 12, заповнює його і гарячу сторону термоелектричного теплового насоса 5, де випарюваний розчин підігрівують та подають до зволожувача 1. Там розчин контактує з більш холодним технологічним повітрям, температура і вологість якого відповідають параметрам повітря кабіни космічного апарата, та частково випаровується. При цьому зростає температура і вологість технологічного повітря. Невипарений залишок, що являє собою водовмісний розчин із збільшеною концентрацією солей, черпаковим насосом 3 повторно подають до циркуляційного контуру 12 для продовження його концентрування.

Потік зволоженого та підігрітого у зволожувачі 1 технологічного повітря газодувкою 4 направляють до осушувача 2, де відбувається зменшення його температури і вологовмісту при контакті з охолодженим у ТТН 5 дистилятом, який за допомогою черпакового насоса 3 рухається в

циркуляційному контурі 13, попередньо заправленому дистиллятом через підсистему 8.

Підігріту в осушувачі 2 суміш дистилляту та отриманого конденсату вологи технологічного повітря, черпаковим насосом 3 подають до холодної сторони ТТН 5 на охолодження, з передаванням отриманої в осушувачі 2 теплоти конденсації до гарячої сторони ТТН 5, де відбувається нагрівання випарюваного розчину перед його подачею до зволожувача 1.

Отриманий в осушувачі 2 додатковий конденсат вологи технологічного повітря гідравлічним розподільником 19, який по суті є регулятором рівня рідини в осушувачі 2, направляють до підсистеми 9 збору конденсату вологи технологічного повітря, звідки його бустерним насосом 14 подають до буферного мембранного баку 15, який живить зворотно-осмотичний фільтр 16 свіжим конденсатом вологи технологічного повітря. У зворотно-осмотичному фільтрі 16 відбувається розподіл конденсату вологи технологічного повітря на відфільтровану воду, яка через патрубок для виходу відфільтрованої води потрапляє до підсистеми 17 збору чистої регенованої води, та концентрат, який через патрубок для відведення концентрату із зворотно-осмотичного фільтра 16 потрапляє до підсистеми 7 живлення масообмінного відцентрового блока дистиляції свіжим розчином.

Підживлення циркуляційного контуру випарюваного розчину 12 забезпечує підсистема 7 живлення масообмінного відцентрового блока дистиляції свіжим розчином, а відведення отриманого конденсату вологи технологічного повітря – підсистема 9 збору конденсату вологи технологічного повітря.

Після досягнення в контурі 12 випарюваного розчину заданої концентрації, невикористаний залишок (концентрат) через гідравлічний розподільник 20 відводиться до підсистеми 10 відведення невикористаного залишку на утилізацію, а циркуляційний контур 12 при цьому заповнюється свіжим розчином із підсистеми 7 живлення масообмінного відцентрового блока дистиляції свіжим розчином.

Балансуючий охолоджувач 6 забезпечує стаціонарність роботи гібридної системи дистиляції, відводячи з циркуляційного контуру 13 охолодженого конденсату кількість теплоти, що приблизно дорівнює електричній потужності, яку споживає ТТН 5.

Технічний результат полягає в тому, що використання фільтра зворотного осмосу у гібридній системі дистиляції забезпечує суттєве зменшення питомих енергозатрат системою, в якій значну частину чистої води отримують без енерговитратного випаровування розчину. При цьому високу якість отриманої чистої води забезпечують без використання додаткових витратних матеріалів (сорбентів), які мають обмежений ресурс. Доставка таких витратних матеріалів на борт космічного апарата є першою проблемою через дорожнечу такої доставки, другою проблемою є необхідність зберігання запасу таких матеріалів на борту космічного апарата, оскільки об'єм всередині космічного апарата суттєво обмежений, і третьою проблемою є необхідність зберігання на борту космічного апарата відпрацьованих матеріалів до їх утилізації.

Приєднання фільтра зворотного осмосу патрубком для відведення концентрату до підсистеми 7 живлення блока дистиляції свіжим розчином забезпечує його подальше концентрування з отриманням додаткової кількості чистої води. Це збільшує коефіцієнт регенерації води та зменшує масу концентрату, що особливо важливо для далеких і тривалих місій, в яких цей коефіцієнт повинен перевищувати 85 %.

Варто зазначити, що один космонавт виділяє в атмосферу кабіни космічного апарата близько 2 кг вологи на добу. Тож розмикання циркуляційного контуру технологічного повітря в кабіні космічного апарата забезпечує регулювання вологості повітря кабіни пілотованого космічного апарата з одночасним збільшенням кількості регенованої води, що спрощує систему кондиціювання повітря кабіни пілотованого космічного апарата за рахунок можливості відмови від використання окремої системи збору конденсату вологи повітря пілотованого космічного апарата.

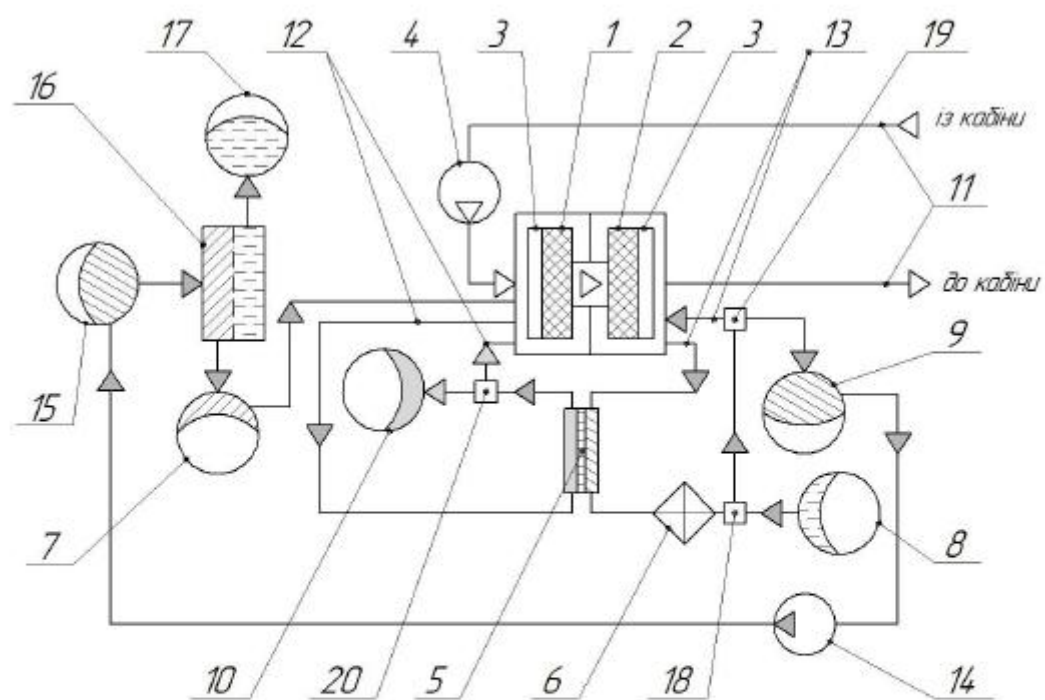
Живлення фільтра зворотного осмосу конденсатом вологи технологічного повітря, звільненим у масообмінному відцентровому блоці дистиляції від розчинених нелетких домішок, забезпечує збільшення ресурсу мембрани фільтра зворотного осмосу.

Попереднє створення та підтримання у буферному мембранному баку 15 надлишкового тиску газу на мембрану, достатнього для роботи зворотно-осмотичного фільтра 16, передбачає включення бустерного насоса 14 лише для поповнення конденсатом вологи технологічного повітря буферного мембранного бака 15, що зменшує загальне енергоспоживання гібридною системою дистиляції.

Запропонована гібридна система дистиляції забезпечить зменшення питомих енергозатрат та масогабаритних показників системи регенерації води, покращить якість дистилляту та підвищить коефіцієнт регенерації води при відчутному зниженні витрат енергії та матеріалів.

Джерела інформації:

1. Патент RU № 2127627 C1, "Система и вакуумный центробежный дистиллятор для регенерации воды из мочи на борту космического летательного аппарата" МПК B01D 3/08, опубл. 20.03.1999
2. 2021_Mohamed.pdf Int J Energy Res. 2020; 1–52
3. Патент на корисну модель UA №151430 U "Масообмінна система дистиляції" МПК B01D 3/12, МПК B01D 3/10, опубл. 20.07.2022



-  чиста вода;
-  продувочна вода зворотного осмосу;
-  невиспарений залишок;
-  конденсат волози технологічного повітря.