

УДК 629.7.048:628.1(15)

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.010721.76.769

ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД В УМОВАХ КОСМОСУ

ДОЛИНА Л. Ф.¹, канд. техн. наук, доц.,
НАГОРНА О. К.^{2*}, канд. техн. наук, доц.,
ЖДАН Ю. О.³, студ.,
ДОЛИНА Д. А.⁴

¹ Кафедра гідравліки та водопостачання, Дніпровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, вул. В. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, e-mail: dolina@pcb.diit.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-6082-7091

^{2*} Кафедра водопостачання, водовідведення та гідравліки, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-74, e-mail: nahorna.olena@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4027-9336

³ Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. В. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, e-mail: yulia7799@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-0837-642X

⁴ Головне управління Державної фіскальної служби України, вул. Шолуденка, 33, Київ, Україна, e-mail: dogni06@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2962-2722

Анотація. *Постановка проблеми.* Система життєзабезпечення Міжнародної космічної станції обов'язково включає забезпечення екіпажу водою питної якості та очищення і знешкодження стічних вод. Вартість доставки води до МКС дуже висока, тому необхідно вдосконалювати технологічні схеми очищення стічних вод в умовах космосу з метою повторного використання води в повному замкненому циклі. *Методи.* Дослідження виконані на підставі аналізу українських і зарубіжних наукових джерел і звітних даних про специфіку використання води на космічних станціях і способах очищення стічних вод. Для розроблення технології очищення стічних вод в умовах космосу, окрім світового досвіду, використані власні дослідження. *Наукова новизна.* Автори статті провели аналіз роботи існуючих споруд з очищення стічних вод в умовах космосу і подали рекомендації до їх використання на МКС. Розроблена технологія для очищення стічних і питних вод в умовах невагомості (космосу) ґрунтується на використанні реакторів. Реактори можуть бути виконані з різних матеріалів (метал, пластик та ін.), вони не містять нестандартного устаткування, яке вимагає заводського виготовлення. Компактність, повна герметичність і невеликі габарити біо- і фізико-хімічних реакторів дозволяють установлювати їх у межах МКС. Процес очищення простий в керуванні і може бути повністю автоматизований. *Практична значимість.* Водні проблеми – головні у всьому світі, у тому числі і в умовах космосу. На МКС має бути передбачена система обробки стічних вод та їх замкнутого використання, оскільки постачання станцій новою водою значно збільшує вартість освоєння космічного простору. Якісна вода – це здоров'я і благополучна робота людей в умовах космосу. Оскільки в космосі відсутня гравітація, для відділення зважених речовин від води треба використовувати відцентрові сили (центрифуги). *Висновки.* Комплексний розгляд питань, що пов'язані з очищенням стічних вод в умовах космосу, дозволяє зробити висновок про необхідність регенерації води на Міжнародних космічних станціях (МКС).

Ключові слова: *очищення стічних вод; космос; споруди з очищення стічних вод; технологія очищення вод в умовах космосу; система життєзабезпечення в космосі*

WASTE WATER TREATMENT TECHNOLOGY IN SPACE

DOLYNA L.F.¹, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,
NAHORNA O.K.^{2*}, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,
ZHDAN Y.O.³, Student,
DOLYNA D.A.⁴

¹ Department of Hydraulics and Water Supply, Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2, Lazaryana Str., Dnipro, Ukraine, 49010, tel. , +38 (056) 273-15-09, e-mail: dolina@pcb.diit.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-6082-7091

^{2*} Department of Water Supply, Water Disposal and Hydraulics, Prydniprovaska State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho Str., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-74, e-mail: nahorna.olena@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4027-9336

³ Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2, Lazaryana Str., Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 273-15-09, e-mail: yulia7799@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-0837-642X

⁴ Department Head Office of State Fiscal Service, 33, Sholudenko Str., Kyiv, Ukraine, 04116, tel. +38 (056) 164 22 32, e-mail: dogni06@gmail.com, ORCID ID: 0000-0000-0002-2722

Abstract. Problem statement. The life support system of the International Space Station must include the provision of drinking water to the crew and the treatment and disposal of wastewater. The cost of water delivery to the ISS is very high, so it is necessary to improve the technological schemes of wastewater treatment in space in order to reuse water in a complete closed cycle. **Methods.** The studies were performed based on the analysis of Ukrainian and foreign scientific sources and reporting data on the specifics of water use at space stations and the treatment methods of the used waters (wastewaters). In addition to international experience, our own research was used to develop a technology for wastewater treatment in space. **Scientific novelty.** The authors of the article analyzed the operation of existing wastewater treatment facilities in space and made recommendations for their use at the ISS. The developed technology for the treatment of wastewater and drinking water in zero-gravity (space) is based on the use of various reactors. They can be made of various materials (metal, plastic, etc.); they do not contain non-standard equipment that requires factory manufacturing. Compactness, complete tightness and small dimensions of bio- and physicochemical reactors allow them to be installed within the ISS. The cleaning process is easy to manage and can be fully automated. **Practical significance.** Water problems are central to the whole world, including in space. The ISS should have a system for the wastewater treatment and their closed use, since the supply of new water to stations significantly increases the cost of space exploration. Quality water is the health and well-being of people in space. Since there is no gravity in space, centrifugal forces (centrifuges) must be used to separate suspended particles from water. **Results.** A comprehensive review of the issues related to wastewater treatment in space, allows us to conclude that it is necessary to regenerate water at International space stations (ISS). Indeed, to ensure the life support of the astronauts, a colossal amount of water is required, and its delivery to the ISS from the Earth is expensive.

Keywords: *waste water treatment; space; wastewater treatment facilities; space water treatment technology; space life support system*

Постановка проблеми. Міжнародна космічна станція (МКС) – постійна науково-дослідна лабораторія в космосі, плід праці понад 100 000 чоловік. Більшість із них працює в Канаді, Росії та Сполучених Штатах Америки, решта – у Бельгії, Бразилії, Великобританії, Німеччині та інших країнах. Після закінчення будівництва (2004 р.) довжина МКС склала 88 м, ширина – 109 м, а за об'ємом житлових і робочих приміщень станція порівнялася з двома реактивними лайнерами «Боїнг-747». Вага цієї споруди – близько 520 т (рис. 1) [1].



Рис. 1. Міжнародна космічна станція

На поверхні модулів прокладені електричні, комп'ютерні та гідравлічні

комунікації, через які передається електроенергія, проходить питна вода і вода системи охолодження повітря.

Стан, близький до невагомості, відіграє важливу роль у наукових дослідженнях, що проводяться на борту МКС. Сила земного тяжіння на висоті станції (400 км) в мільйон разів менша тієї, що ми відчуваємо на поверхні Землі. На Землі кинутий олівець пролетить відстань 2 м за 0,5 с, а на борту МКС на це піде десять хвилин. У цьому величезному «будинку», що складається з безлічі модулів, можуть мешкати екіпажі до семи і більше чоловік.

Усю воду, наявну на космічній станції, доставляють вантажними кораблями. Її витрачають для споживання, гігієнічних процедур, підтримки технічних систем станції. Техніка прораховує буквально кожен грам зайвої ваги, тому неможливо узяти її із запасом. На борту з величезною кількістю суперсучасної техніки вчені й інженери працюють в умовах строгої економії води.

Ключовий момент у регенерації – очищення води. В очисні системи збирається будь-яка вода: що залишилася від приготування їжі, брудна вода від миття і навіть піт космонавтів. Регенерація води –

це повторне її отримання. Але неможливо регенерувати воду, якщо спочатку її не доставити із Землі. Сам процес регенерації знижує витрати на космічні польоти і робить систему МКС менш залежною від наземних служб [2]. Отже воду, яку доставляють із Землі, використовують на МКС багаторазово.

Методи. Дослідження виконані на підставі аналізу українських і зарубіжних наукових джерел і звітних даних про специфіку використання води на космічних станціях і способи очищення стічних вод. Для розроблення технології очищення стічних вод в умовах космосу, окрім світового досвіду, використані власні дослідження [6].

Наукова новизна. Проведено аналіз роботи існуючих споруд з очищення стічних вод в умовах космосу, наведено рекомендації до їх використання на МКС. Розроблена технологія для очищення стічних і питних вод в умовах невагомості (космосу) ґрунтується на використанні реакторів. Реактори можуть бути виконані з різних матеріалів (метал, пластик та ін.), вони не містять нестандартного устаткування, яке вимагає заводського виготовлення. Компактність, повна герметичність і невеликі габарити біо- і фізико-хімічних реакторів дозволяють установлювати їх у межах МКС. Процес очищення простий у керуванні і може бути повністю автоматизований.

Практична значимість. Водні проблеми – головні у всьому світі, у тому числі і в умовах космосу. На МКС має бути передбачена система обробки стічних вод та їх замкнутого використання, оскільки постачання станцій новою водою значно збільшує вартість освоєння космічного простору. Якісна вода – це здоров'я і благополучна робота людей в умовах космосу. Оскільки в космосі відсутня гравітація, для відділення зважених речовин від води треба використовувати відцентрові сили (центрифуги).

Виклад основного матеріалу дослідження. Наразі на МКС застосовують декілька способів регенерації води:

- конденсація вологи з повітря;
- очищення використаної води;
- переробка сечі і твердих відходів.

На МКС встановлено спеціальну апаратуру, яка конденсує вологу з повітря. Волога в повітрі – це природно, вона є і в космосі, і на Землі. В процесі життєдіяльності космонавти можуть виділяти до 2,5 л рідини за добу. Окрім цього, на МКС є спеціальні фільтри для очищення використаної води. Але враховуючи те, як миються космонавти, побутова витрата води значно відрізняється від земної. Переробка сечі і твердих відходів – це нова розробка, що використовується на МКС лише з 2010 року.

На даний момент для функціонування МКС потрібно близько 9 000 л води в рік. Це узагальнена цифра, яка відображає усі витрати. Воду на МКС регенерують приблизно на 93 %, тому обсяги поставок істотно нижчі. Але не варто забувати, що з кожним повним циклом використання води її загальний об'єм зменшується на 7 %, це робить МКС залежною від поставок із Землі.

Сучасні російські системи регенерації води СРВ-К2М та Електрон-ВМ дозволяють забезпечити космонавтів на МКС водою на 63 % [3]. Біохімічний аналіз показав, що регенована вода не втрачає своїх початкових властивостей і повністю придатна для пиття. Нині вчені працюють над створенням більш замкнутої системи, яка дозволить забезпечити космонавтів водою на 95 %. Існують перспективи розвитку систем очищення, які забезпечать на 100 % замкнутий цикл.

Нова комплексна система життєзабезпечення Міжнародної космічної станції ґрунтована на системі рециркуляції води, з використанням спеціально розроблених фільтрів і хімічних процесів, які очищають відпрацьовані рідини, – особливо сечу і піт астронавтів – так, що вони перетворюються на освіжаючу питну воду (рис. 2) [4].

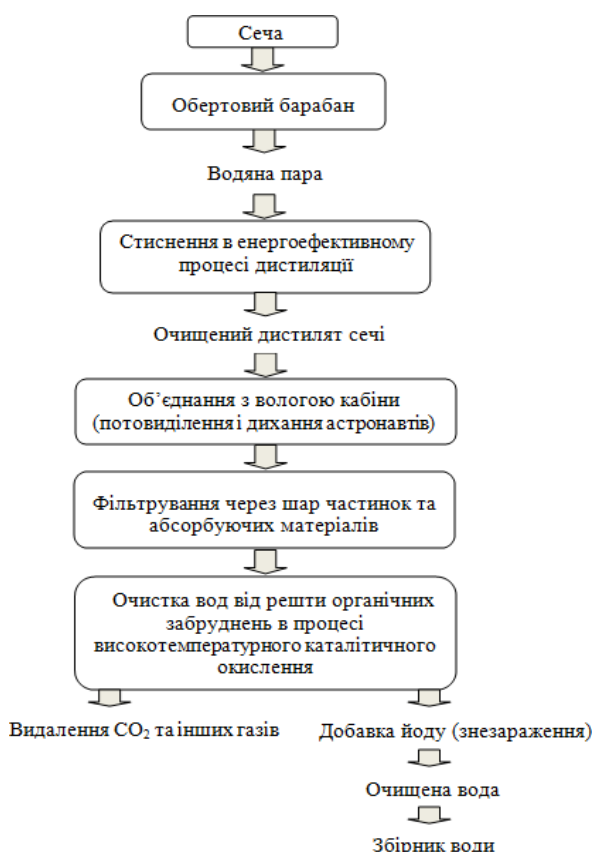


Рис. 2. Технологічна схема очищення сечі астронавтів у питну воду, розроблена в Центрі космічних польотів ім. Маршала НАСА (США) та встановлена в лабораторії МКС

Система, яка може виробляти 2 800 л води в рік, принципово важлива, тому що вона дозволяє в МКС розмістити шість членів екіпажу, а не три, і знижує кількість свіжої води, доставка якої всередину космічного корабля із Землі дуже дорога. Щоб відправити до космосу 1 кг вантажу потрібно витратити 40 000 доларів, а 1 л води в космосі коштує 70 000 доларів. Ці очисні споруди дуже важливі для життя на станції, отож такі системи – ключ до майбутніх польотів людини на Місяць і на Марс.

Система розроблена в Центрі космічних польотів ім. Маршала НАСА в Хантсвіллі, штат Алабама. Вона вийшла на орбіту в листопаді 2008 року на борту космічного корабля «Shuttle Endeavour».

У цій системі сеча спрямовується у барабан, що обертається з великою швидкістю, виділяючи водяну пару. Ця пара стискається в «енергоефективному процесі дистиляції» і дає «очищений дистилят сечі»,

який ще недостатньо чистий, щоб його могли пити астронавти.

Потім цей дистилят поєднується з іншими джерелами стічних вод (водою з кабіни, виробленою потовиділенням і диханням астронавтів). Об'єднані стічні води пропускаються через зернистий фільтр і шар матеріалів, що абсорбуються, які використовуються в комерційних стільникових системах очищення води.

На останньому етапі для очищення вод від органічних забруднень, що залишилися, воду пропускають через процес високотемпературного окиснення. Вода нагрівається, вводиться кисень для окиснення забруднювальних речовин до діоксиду вуглецю й інших газів, які легше видалити. Знезаражують воду додаванням йоду.

Щоб оцінити роботу системи, проби питної води постійно збирають і відправляють на Землю для тестування.

Нова система являє собою частину плану щодо збільшенню числа членів екіпажу, які можуть адекватно жити на МКС, не покладаючись значною мірою на постачання із Землі.

Система очищення води – це невелика, але фундаментальна частина модернізації МКС НАСА яка також відправила на космічний корабель нові житла для екіпажу і тренажери.

Забезпечення астронавтів достатньою кількістю питної води – один із найскладніших моментів для визначення довгострокових космічних подорожей. Вода важка, швидко використовується, дорого коштує шлях потрапляння її на орбіту. Для порівняння: запуск космічного корабля коштує 10 000 доларів за фунт, а галон води важить 8,33 фунта (галон – 3,785 л) [5].

Астронавти обмежені трьома галонами води в день у космосі, але навіть такі обмеження не надто зменшують вартість їх перебування на орбіті, що обходиться 249 000 доларів щодня. Астронавти п'ють очищену сечу з 2009 року, але система, яку вони використовують нині, – важка, повільна і схильна до поломки.

Тому астронавти на МКС випробовують новий спосіб, який запропонувала датська біотехнологічна компанія «Aquarogin A/S» [6]. У цій системі використовується фільтр, в якому містяться білки аквапорину, що видаляють тільки чисту воду з сечі, поту, стічних вод та інших джерел рідини, наявних у космосі. Молекули аквапоринів – це білки, які живуть усередині клітинних мембран, що дуже ефективно пропускають воду та затримують інші забруднення. Ці білки використовують як будівельні блоки у виготовленні мембран.

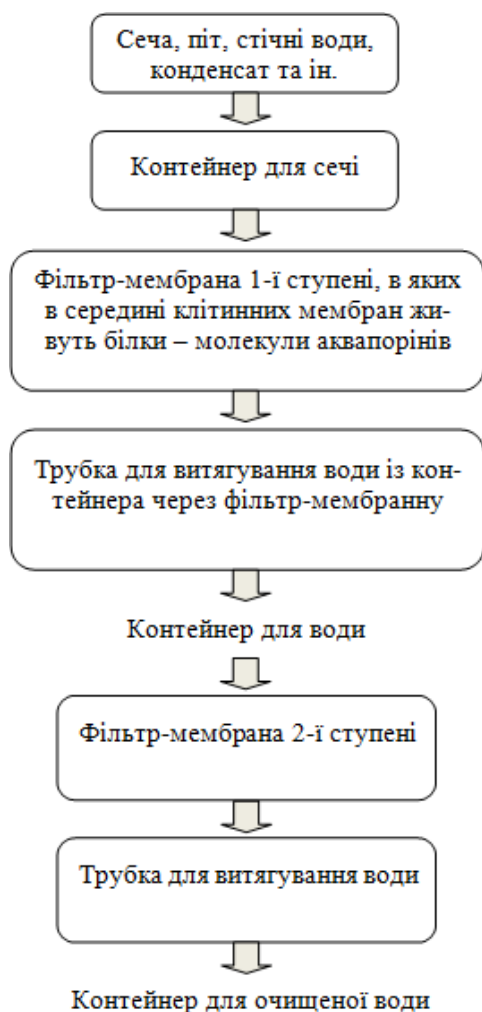


Рис. 3. Технологічна схема очищення стічних вод на МКС, розроблена датською біотехнологічною компанією «Aquarogin A/S»

Фільтр працює в основному так само, як наша нирка (рис. 3). Система являє собою дві трубки, підключені до джерела енергії. Він витягає літр сечі з одного контейнера через фільтр і випускає в інший контейнер менше ніж за хвилину. Пристрій маленький,

легкий і менш схильний до засмічення, ніж фільтри, які використовуються нині.

«Aquarogin A/S» працює з NASA з 2011 р. і проходить випробування на МКС в умовах космосу.

Мета нашого дослідження – розроблення технології очищення стічних (використаних) вод в умовах космосу. У цьому напрямі робляться перші кроки, які надалі вимагають детальнішого вивчення і дослідження.

Абсолютно очевидно, що в умовах тривалих космічних польотів застосування систем водозабезпечення, ґрунтованих на запасах, неможливе. У зв'язку з цим одним із найбільш пріоритетних завдань постало розроблення технологічної схеми регенерації води [7].

У космосі використовують такі дані в розрахунку води на одну людину на добу [8]:

- 2,2 літра – питні витрати та приготування їжі;
- 0,2 літра – гігієна;
- 0,3 літра – змивання туалету.

Ми вивчили кількість речовин, що забруднюють воду, на одного жителя для визначення їх концентрації в побутових стічних водах за таблицею [9]. Концентрацію забруднювальних речовин визначають виходячи з питомого водовідведення на одного жителя.

Уперше регенерація води в космосі була здійснена на космічній станції «Салют-4» у січні 1975 року. У системі регенерації води з конденсату (СРВ-К) регенерували воду з атмосферної вологи до кондиції питної води. Надалі аналогічні системи працювали на станціях «Салют-6», «Салют-7», «Мир». На станції «Мир» працювала також система регенерації води із сечі і проходила випробування система регенерації санітарно-гігієнічної води [10].

Важливо зазначити, що в космічних умовах у сечі астронавтів сильно підвищується вміст кальцію. Фільтри для переробки сечі, спроектовані на Землі, не розраховані на такий біохімічний склад сечі і тому швидко стають непридатними.

Відстоювання використаних вод не працюватиме в умовах космосу, оскільки немає гравітації, але її успішно можна замінити на відстійні центрифуги спеціальної конструкції.

Спорудами для очищення стічних і питних вод в умовах невагомості (космосу) можуть бути різні реактори. Такі реактори можна виконати з різних матеріалів (метал, пластик тощо), вони не містять нестандартного устаткування, яке вимагає заводського виготовлення [11].

Компактність, повна герметичність і невеликі габарити біо- і фізико-хімічних реакторів дозволяють установлювати їх на МКС. Процес очищення простий у керуванні і може бути повністю автоматизований. Кількість необхідних контрольованих параметрів мінімальна, наприклад, для аеробних біореакторів – це температура, водневий показник (рН) і хімічне споживання кисню (ХПК) очищеного стоку.

Таблиця

Кількість забруднювальних речовин на одного жителя

Показник	Кількість забруднювальних речовин на одного жителя, г/доб
Зважені речовини	65
Біологічне споживання кисню (БСК ₅) неосвітленої рідини	54
Біологічне споживання кисню (БСК _{повн}) освітленої рідини	75
Хімічне споживання кисню (ХСК) неосвітленої рідини	87
Азот загальний (N), у тому числі азот амонійних солей	11 8
Фосфор загальний (P), у тому числі фосфор фосфатів	1,8 1,44
Хлориди (Cl)	9
Поверхнево активні речовини (ПАР)	2,5

Процес стійкий і до пікових навантажень, і до зміни якості вод, що надходять.

За методом очищення стічних вод реактори поділяються на [11]:

1. Біологічні, які, у свою чергу, класифікують:

- за поданням повітря;
- за іммобілізацією мікроорганізмів в апараті;
- за конструктивними особливостями;
- за конструктивно-технологічними ознаками.

2. Фізико-хімічні (хімічні, електрохімічні, фізичні тощо).

3. Біофізико-хімічні (мембранні біореактори).

На МКС використання газів (хлору, озону та ін.) для знезараження води становить небезпеку для космонавтів у разі їх витоку.

Нині в пасажирських літаках для знезараження питної води використовують дорогу установку для дезінфекції на основі

спеціальних ультрафіолетових ламп [12]. Такі системи потребують заміни ламп кожні 3 000 годин роботи, що спричинює значні витрати.

У новій системі знезараження води, розробленій канадською компанією International Water Guards, використовують ультрафіолетові світлодіоди [13]. Таким чином вдалося понизити вартість системи порівняно із системою на ультрафіолетових лампах. Тому ми рекомендуємо для знезараження стічних і питних вод на МКС цю систему.

Вищесказане підкреслює тезу і про необхідність, і про можливість регенерації води на Міжнародних космічних станціях. Розроблена авторами технологічна схема (рис. 4) передбачає обробку стічних вод на МКС та їх замкнуте використання.

Як зазначалося вище, в умовах космосу і відсутності гравітації використання відстійників марне. Тому ми пропонуємо для відстоювання стічних вод і видалення піску встановлювати осаджувальні

центрифуги спеціальних конструкцій [14; 15]. Для очищення вод від розчинених речовин ми пропонуємо реактори, а точніше, мембранні біореактори нового покоління.



Рис. 4. Технологічна схема очищення стічних вод на Міжнародній космічній станції

Мембранні біореактори (МБР) – це сучасні високоінтенсивні споруди для біологічного очищення стічних вод [16]. На відміну від класичної схеми біологічного очищення з розділенням мулової суміші у вторинних відстійниках, в мембранних біореакторах відділення пластівців активного мулу від очищених стічних вод досягається за рахунок фільтрації мулової суміші через ультрафільтраційну або мікрофільтраційну мембрану з розміром пор у діапазоні від 0,04 до 0,4 мікрона.

Основний компонент МБР – касети, що складаються з мембранних модулів. Мембрани можуть мати форму порожнистого волокна або двох плоских листів із підкладкою з полімерного матеріалу [11; 17]. Касети занурені безпосередньо в мулову суміш. За

допомогою самовсмоктувального насоса на внутрішній поверхні мембран створюється негативний тиск. Таким чином, завдяки різниці тисків на зовнішній і внутрішній поверхні мембрани стічні води фільтруються через мембранний шар. Отримана чиста вода (пермеат) відводиться насосом фільтрату.

Окремі мікроорганізми (бактерії) активного мулу мають розмір, що на порядок перевищує розмір пор мембран. Тому мембрана затримує пластівці активного мулу, мікроорганізми, які вільно плавають у процесі фільтрації, та інертні зважені речовини, а видаляють їх із поверхні мембрани за допомогою системи аерації.

Переваги використання МБР:

1) менша кількість споруд – МБР замінює вторинні відстійники, аеротенки і піщані фільтри;

2) компактність – концентрація активного мулу у МБР в кілька разів вища, ніж у традиційних спорудах, відповідно, в таку ж кількість разів менший об'єм споруд;

3) можливість цілорічної нітрифікації навіть в умовах холодного клімату – в традиційних спорудах зі зниженням температури швидкість зростання нітрифікаторів знижується, і вони вимиваються з реактора;

4) селекція мікроорганізмів, які здатні окиснювати біорезистентні речовини, – мікроорганізми, що повільно ростуть і мають таку здатність, завдяки мембрані не вимиваються з реактора. Отже, ефективність очищення по важкоокиснювальних речовинах в МБР значно вища, ніж у системі аеротенк – відстійник;

5) зручність процесу – повністю автоматизований;

6) надійна експлуатація – робота споруд не залежить від осаджуваності мулу (мулового індексу), його спухання і тощо;

7) знезараження стічних вод – пори мембран менші за розмір бактерій.

І, на закінчення, ми пропонуємо для знезараження вод застосовувати УФ-світлодіодні лампи. В умовах космосу і відсутності гравітації для руху води

пропонуємо застосовувати насоси нового покоління.

Висновки. На борту МКС воду використовують не лише для пиття і забезпечення життєдіяльності екіпажу а й функціонування систем станції. Вода – це необхідний компонент для відновлення сублімованих продуктів харчування.

Ми розробили технологію і запропонували схему очищення стічних вод в умовах космосу. Також проаналізовано

роботу існуючих споруд для очищення стічних вод в умовах космосу і розроблено рекомендації щодо їх використання на МКС.

На МКС має бути передбачена система обробки стічних вод і їх замкнутого використання, оскільки постачання станцій новою водою значно здорожчує освоєння космічного простору, а якісна вода – це здоров'я і благополучна робота людей в умовах космосу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Міжнародна космічна станція (МКС). *Все про космос*. URL : <https://aboutsacejournal.net>
2. Wang Y., Pham H. Water Treatment Plant Ancillary Facilities : Unsung Heroes of Hurricane Harvey. *Journal American Water Works Association*. 2019. Vol. 111, iss. 8. Pp. 81–100. DOI: <https://doi.org/10.1002/awwa.1339>
3. Сияк Ю. Е. Актовая речь. Системы жизнеобеспечения обитаемых космических объектов. Москва : ИБМП РАН, 2008. С. 3–28.
4. Sauser Brittany. Purified Urine in Space. *MIT Technology Review*. December 19, 2008.
5. Hansman Heather. A new efficient filter helps astronauts drink their own urine. *Smithsonian magazine*. September 11, 2015.
6. Долина Л. Ф., Ждан Ю. О., Долина Д. А. Очистка сточных вод в условиях космоса. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. Серія : Наука та прогрес транспорту*. 2020. № 2 (86). С. 7–15. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2020/202612>
7. Gupta G. S., Orbán S. A. Water is life, life is water : (Un) sustainable use and management of water in the 21st century. *Corvinus Journal of Sociology and Social Policy*. 2018. Vol. 9, № 1. Pp. 81–100. DOI: <https://doi.org/10.14267/CJSSP.2018.1.04>
8. Аристов Н. И. Космическое питание. Технологии. История и современность. Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2017. Т. 3. С. 980–982.
9. ДБН В.2.5-75-2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2013. 128 с.
10. Сальников Н. А. Исследование очистки санитарно-гигиенической воды в замкнутой системе водоснабжения летательных аппаратов. *Научный вестник МГТУ ГА*. 2016. Т. 19, № 3. С. 157–165.
11. Долина Л. Ф. Реакторы для очистки сточных вод : учеб. пособ. ДГ ТУЖТ: Стандарт, 2001. 82 с.
12. Водные хроники. Научные новости. *Вода и водные технологии*. 2019. № 2 (92). 22 с.
13. LED light technology to purify water on airliners. *Flight Global*, 2019. URL: <https://www.flightglobal.com/systems-and-interiors/aix-led-light-technology-to-purify-water-on-airliners/132154.article>
14. Anderson N. G. Zonal Centrifuges and Other Separation Systems. *Science*. 1966. Vol. 154, iss. 3745. Pp. 103–112. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.154.3745.103>
15. Giorno L., Drioli E. Biocatalytic membrane reactors: applications and perspectives. *Trends of biotechnology*. 2000. Vol.18, iss. 8. Pp. 339–349. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-7799\(00\)01472-4](https://doi.org/10.1016/S0167-7799(00)01472-4)
16. Долина Л. Ф. Современная техника и технология для очистки сточных вод от солей тяжелых металлов: монография. Днепропетровск : Континент, 2008. 254 с.
17. Долина Л. Ф. Новые методы и оборудования для обеззараживания сточных и природных вод : монография. Днепропетровск : Континент, 2003. 218 с.

REFERENCES

1. *Mizhnarodna kosmichna stantsiya (MKS)* [International Space Station (ISS)]. *Vse pro kosmos : journal* [All About Space : Magazine]. URL : <https://aboutsacejournal.net> (in Ukrainian).
2. Wang Y. and Pham H. Water Treatment Plant Ancillary Facilities : Unsung Heroes of Hurricane Harvey. *Journal American Water Works Association*. 2019, vol. 111, iss. 8, pp. 81–100. DOI: <https://doi.org/10.1002/awwa.1339>
3. Sinyak Yu.E. *Aktovaya rech'. Sistemy zhizneobespecheniya obitaemykh kosmicheskikh ob"ektov* [Act speech. Life support systems for inhabited space objects]. Moscow : IBMP RAN, 2008, pp. 3–28. (in Russian).
4. Sauser Brittany. Purified Urine in Space. *MIT Technology Review*. December 19, 2008.

5. Hansman Heather. A new efficient filter helps astronauts drink their own urine. Smithsonian magazine. September 11, 2015.
6. Dolina L.F., Zhdan Yu.O. and Dolina D.A. *Ochistka stochnykh vod v usloviyakh kosmosa* [Wastewater treatment in space.]. *Visnik Dnipropetrovs'kogo natsional'nogo universitetu zaliznichnogo transport. Seria : Nauka ta progres transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. Series : Science and Progress in Transport.]. 2020, no. 2 (86), pp. 7–15. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2020/202612> (in Russian).
7. Gupta G.S. and Orbán S.A. Water is life, life is water : (Un) sustainable use and management of water in the 21st century. *Corvinus Journal of Sociology and Social Policy*. 2018, vol. 9, no. 1, pp. 81–100. DOI: <https://doi.org/10.14267/CJSSP.2018.1.04>
8. Aristov N.I. *Kosmicheskoe pitanie. Tekhnologii. Istoriya i sovremennost'. Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavtiki* [Space food. Technologies. History and modernity. Actual problems of aviation and astronautics]. 2017, vol. 3, pp. 980–982. (in Russian).
9. *DBN V.2.5-75-2013. Kanalizatsiya. Zovnishni merezhi ta sporudi. Osnovni polozhennya proektuvannya* [DBN B.2.5-75-2013. Sewerage. External networks and structures. Basic design provisions]. Kyiv : Minregion Ukraïni, 2013, 128 p. (in Ukrainian).
10. Sal'nikov N.A. *Issledovanie ochistki sanitarno-gigienicheskoi vody v zamknutoi sisteme vodo-obespecheniya letatel'nykh apparatov* [Study of sanitary and hygienic water purification in a closed water supply system for aircraft]. *Nauchnyi vestnik MGTU GA* [Scientific Bulletin of MSTU GA]. 2016, vol. 19, no. 3, pp. 157–165. (in Russian).
11. Dolina L.F. *Reaktory dlya ochistki stochnykh vod: uchebnoe posobie* [Wastewater Reactors : a Study Guide]. DG TUZhT : Standart Publ., 2001, 82 p. (in Russian).
12. *Vodnye khroniki : Nauchnye novosti* [Water Chronicles. Scientific news.]. *Voda i vodnye tekhnologii* [Water and water technologies]. 2019, no 2 (92), 22 p. (in Russian).
13. LED light technology to purify water on airliners. *Flight Global*, 2019. URL: <https://www.flightglobal.com/systems-and-interiors/aix-led-light-technology-to-purify-water-on-airliners/132154.article>
14. Anderson N.G. Zonal Centrifuges and Other Separation Systems. *Science*. 1966, vol. 154, iss. 3745, pp. 103–112. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.154.3745.103>
15. Giorno L. and Drioli E. Biocatalytic membrane reactors: applications and perspectives. *Trends of biotechnology*. 2000, vol.18, iss. 8, pp. 339–349. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-7799\(00\)01472-4](https://doi.org/10.1016/S0167-7799(00)01472-4)
16. Dolina L.F. *Sovremennaya tekhnika i tekhnologiya dlya ochistki stochnykh vod ot solei tyazhelykh metallov : monografiya* [Modern equipment and technology for wastewater treatment from heavy metal salts : monograph]. Dnipropetrovsk : Kontinent, 2008, 254 p. (in Russian).
17. Dolina L. F. *Novye metody i oborudovaniya dlya obezzarazhivaniya stochnykh i prirodnykh vod : monografiya* [New methods and equipment for the disinfection of waste and natural waters : monograph]. Dnipropetrovsk : Kontinent, 2003, 218 p. (in Russian).

Надійшла до редакції: 10.05.2021.