

## ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

УДК 629.7.048:628.1(15)

Л. Ф. ДОЛИНА<sup>1\*</sup>, Ю. А. ЖДАН<sup>2\*</sup>, Д. А. ДОЛИНА<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Гидравлика и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, эл. почта gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0001-6082-7091

<sup>2\*</sup>Каф. «Гидравлика и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (096) 860 30 84, эл. почта yulia7799@i.ua, ORCID 0000-0002-0837-642X

<sup>3\*</sup>Главное управление Государственной фискальной службы, ул. Шолуденко, 33, Киев, Украина, 04116, тел. +38 (056) 164 22 32, эл. почта dogni06@gmail.com, ORCID 0000-0002-2962-2722

### ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД В УСЛОВИЯХ КОСМОСА

**Цель.** Основная цель статьи – разработать технологию очистки сточных вод в условиях космоса. **Методика.** Исследования выполнены на основании анализа украинских и зарубежных научных источников и отчётных данных о специфике использования воды на космических станциях и способах очистки сточных вод. Для разработки технологии очистки сточных вод в условиях космоса, кроме мирового опыта, использованы собственные исследования. **Результаты.** Комплексное рассмотрение вопросов, связанных с очисткой сточных вод в условиях космоса, позволяет сделать вывод о необходимости регенерации воды на Международных космических станциях (МКС). Ведь для обеспечения жизнедеятельности космонавтов требуется колоссальное количество воды, а её доставка на МКС с Земли является дорогостоящей. **Научная новизна.** Авторы статьи провели анализ работы существующих сооружений по очистке сточных вод в условиях космоса и представили рекомендации по их использованию на МКС. Разработанная технология для очистки сточных и питьевых вод в условиях невесомости (космоса) основывается на использовании различных реакторов. Реакторы могут быть выполнены из различных материалов (металл, пластик и др.), они не содержат нестандартного оборудования, которое требует заводского изготовления. Компактность, полная герметичность и небольшие габариты био- и физико-химических реакторов позволяют устанавливать их в пределах МКС. Процесс очистки прост в управлении и может быть полностью автоматизирован. **Практическая значимость.** Водные проблемы являются главными во всём мире, в том числе и в условиях космоса. На МКС должна быть предусмотрена система по обработке сточных вод и их замкнутому использованию, так как снабжение станций новой водой значительно удорожает освоение космического пространства. Качественная вода – это здоровье и благополучная работа людей в условиях космоса. Поскольку в космосе отсутствует гравитация, для отделения взвешенных частиц от воды нужно использовать центробежные силы (центрифуги).

*Ключевые слова:* очистка сточных вод; космос; сооружения по очистке сточных вод; технология очистки вод в условиях космоса; система жизнеобеспечения в космосе

#### Введение

Вода – это жизнь. Этой мысли тысячи лет, а она до сих пор не утратила своей актуальности.

В условиях длительного пилотируемого космического полёта существенным фактором является поддержание жизнедеятельности

и работоспособности экипажа. Одна из важнейших задач – обеспечение экипажа водой. С наступлением космической эры значение воды лишь возросло, так как от неё в космосе зависит буквально все, начиная от работы самой космической станции и заканчивая выработкой кислорода [8].

---

 ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА
 

---

Космос – очень холодное место. На сильном холоде, как нам известно, вода превращается в лед – кристаллизируется. Но космос – это еще и самый близкий к идеальному вакуум, до которого можно дотянуться. Одна атмосфера эквивалентна давлению  $6 \times 10^{22}$  атомов водорода на квадратный метр. В лучших вакуумных камерах на Земле ученые создают давление в миллиарды раз меньше, а в межзвездном пространстве оно опускается в миллионы и миллиарды раз ниже земных технических рекордов. А при пониженном давлении вода переходит в газообразное состояние – кипит.

По словам астронавтов Международной космической станции (МКС), вода, попадая в открытый космос, сначала мгновенно становится газообразной, а затем замерзает в виде крошечных льдинок, заполняющих межзвездную пустоту [16]. Вообще, жидкости ведут себя в невесомости совсем не так, как на Земле. Под воздействием силы поверхностного натяжения, которая стремится уменьшить площадь поверхности жидкости, вода в безгравитационном пространстве будет плавать по кабине корабля, собравшись в шар.

На рис. 1 представлен снимок капли в невесомости, который сделан на Международной космической станции 24 июня 2012. На заднем плане нидерландский астронавт Андре Кёйперс (AP Photo/NASA, Andre Kuipers).



Рис. 1. Вода в пространстве МКС

Fig. 1. Water in the space of the ISS

Всю воду, имеющуюся на космической станции, доставляют грузовыми кораблями. Её расходуют для питания, гигиенических процедур, поддержки технических систем станции. Техники просчитывают буквально каждый грамм

лишнего веса, поэтому невозможно взять ее с запасом. На борту с огромным количеством суперсовременной техники ученые и инженеры работают в условиях строгой экономии воды.

Ключевым моментом в регенерации является очистка воды. В очистительные системы собирается любая вода: оставшаяся от приготовления пищи, грязная вода от мытья и даже пот космонавтов. Регенерация воды – это повторное её получение. Но невозможно регенерировать воду, если изначально ее не доставить с Земли. Сам процесс регенерации снижает расходы на космические полеты и делает систему МКС менее зависимой от наземных служб [15].

Таким образом, воду, доставляемую с Земли, используют на МКС многократно.

Сейчас на МКС применяют несколько способов регенерации воды:

- конденсация влаги из воздуха;
- очистка использованной воды;
- переработка урины и твердых отходов.

На МКС установлена специальная аппаратура, которая конденсирует влагу из воздуха. Влага в воздухе – это естественно, она есть и в космосе, и на Земле. В процессе жизнедеятельности космонавты могут выделять до 2,5 л жидкости в сутки. Кроме этого, на МКС есть специальные фильтры для очистки использованной воды. Но учитывая то, как моются космонавты, бытовой расход воды значительно отличается от земного. Переработка урины и твердых отходов – это новая разработка, применяемая на МКС лишь с 2010 года.

На данный момент для функционирования МКС требуется около 9 000 л воды в год. Это обобщенная цифра, отражающая все расходы. Воду на МКС регенерируют примерно на 93 %, поэтому объемы поставок существенно ниже. Но не стоит забывать, что с каждым полным циклом использования воды ее общий объем уменьшается на 7 %, что делает МКС зависимой от поставок с Земли.

Современные российские системы регенерации воды СРВ–К2М и Электрон–ВМ позволяют обеспечить космонавтов на МКС водой на 63 % [9]. Биохимический анализ показал, что регенерированная вода не утрачивает своих исходных свойств и полностью пригодна для питья. Сейчас российские ученые работают над созданием

## ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

более замкнутой системы, которая позволит обеспечить космонавтов водой на 95 %. Существуют перспективы развития систем очистки, которые обеспечат на 100 % замкнутый цикл.

Американская система регенерации воды ECLSS была разработана в 2008 году. Она дает возможность не только собрать влагу из воздуха, но и регенерировать воду из мочи и твердых отходов. Несмотря на серьезные проблемы и частые поломки на протяжении первых двух лет эксплуатации, сегодня ECLSS может восстановить 100 % влаги из воздуха и 85 % влаги из мочи и твердых отходов. В результате на МКС появился современный аппарат, позволяющий восстановить до 93 % первоначального объема воды.

Вся отработанная вода на МКС собирается в специальный дистиллятор, визуально похожий на бочку. При очистке воды необходимо создать искусственную гравитацию, для этого дистиллятор вращается, прогоняя грязную воду через фильтры. В результате получается чистая питьевая вода, которая по своим качествам даже превосходит питьевую воду во многих уголках Земли [9].

На последнем этапе в воду добавляют йод. Этот химический препарат позволяет предотвратить размножение микробов и бактерий, а также является необходимым элементом для здоровья космонавтов. Любопытный факт, что на Земле йодированную воду считают слишком дорогим удовольствием для массового применения и вместо йода используют хлор. От использования хлора на МКС отказались по причине агрессивности данного элемента и большей пользы от йода.

Австралийское космическое агентство планирует в течение пяти лет отправить на Луну миссию и начать добывать там воду, для этого применить передовой опыт в горном деле в отдалённых и негостеприимных областях [1]. Недавнее исследование НАСА показало, что на полюсах спутника Земли залегают огромные ледники. Именно их хотят взять в разработку австралийцы [11].

Если воду можно будет добывать в космосе, вместо того чтобы отправлять её туда с Земли (а это обходится очень дорого) [9], Луна вполне может стать перевалочным пунктом для миссий на Марс и дальше.

### Цель

Проблема воды очень важна при освоении космического пространства и заселения других планет и спутников Земли.

Целью нашей статьи является разработка технологии очистки сточных (использованных) вод в условиях космоса. В этом направлении делают первые шаги, которые в дальнейшем требуют более детального изучения и исследования.

### Методика

Исследования выполнены на основании анализа украинских и зарубежных научных источников и отчётных данных о специфике использования воды на космических станциях и способах очистки сточных вод. Для разработки технологии очистки сточных вод в условиях космоса, кроме мирового опыта, использованы собственные исследования.

Совершенно очевидно, что в условиях длительных космических полётов применение систем водообеспечения, основанных на запасах, является невозможным. В связи с этим одной из наиболее приоритетных задач является разработка технологической схемы регенерации воды [13].

В космосе используют следующие данные в расчёте воды на 1 человека в сутки [2]:

- 2,2 литра – питье и приготовление пищи;
- 0,2 литра – гигиена;
- 0,3 литра – смыв туалета.

Мы изучили количество загрязняющих воду веществ на одного жителя для определения их концентрации в бытовых сточных водах по табл. 1 [4]. Концентрацию загрязняющих веществ определяют, исходя из удельного водоотведения на одного жителя.

Впервые регенерация воды в космосе была осуществлена на космической станции «Салют-4» в январе 1975 года. В системе регенерации воды из конденсата (СРВ-К) регенерировали воду из атмосферной влаги до кондиции питьевой воды. В дальнейшем аналогичные системы работали на станциях «Салют-6», «Салют-7», «Мир». На станции «Мир» работала также система регенерации воды из мочи и проходила апробация система регенерации санитарно-гигиенической воды [8].

## ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

Важно отметить, что из-за влияния космических условий в моче астронавтов сильно повышается кальций. Фильтры для переработки урины, спроектированные на Земле, не рассчитаны на такой биохимический состав мочи и поэтому быстро приходят в негодность.

Отстаивание использованных вод не будет работать в условиях космоса, так как нет гравитации, но её успешно можно заменить на устойчивые центрифуги.

Сооружениями для очистки сточных и питьевых вод в условиях невесомости (космоса) могут быть различные реакторы. Такие реакторы можно выполнить из различных материалов (металл,

пластик и др.), они не содержат нестандартного оборудования, которое требует заводского изготовления [3]. Компактность, полная герметичность и небольшие габариты био- и физико-химических реакторов позволяют устанавливать их в пределах МКС. Процесс очистки прост в управлении и может быть полностью автоматизирован. Количество необходимых контролируемых параметров минимально, например, для аэробных биореакторов – это температура, водородный показатель (рН) и химическое потребление кислорода (ХПК) очищенного стока. Процесс устойчив и к пиковым нагрузкам, и к изменению качества поступающих вод.

Таблица 1

## Количество загрязняющих веществ на одного жителя

Table 1

## The amount of pollutants per inhabitant

Показатель	Количество загрязняющих веществ на одного жителя, г/сутки
Взвешенные вещества	65
Биологическое потребление кислорода (БПК <sub>5</sub> ) неосветлённой жидкости	54
Биологическое потребление кислорода (БПК <sub>полн</sub> ) осветлённой жидкости	75
Химическое потребление кислорода (ХПК) неосветлённой жидкости	87
Азот общий (N), в том числе азот аммонийных солей	11 8
Фосфор общий (P), в том числе фосфор фосфатов	1,8 1,44
Хлориды (Cl)	9
Поверхностно-активные вещества (ПАВ)	2,5

Примечание 1. Количество загрязняющих веществ от населения, проживающего в не канализованных районах, при наличии сливных станций принимают в размере 33 % от приведенных в таблице.

Примечание 2. При сбросе хозяйственно-бытовых сточных вод промышленных предприятий в канализацию населенного пункта количество загрязняющих веществ от эксплуатационного персонала можно дополнительно не учитывать.

Примечание 3. Директивой Совета Европы БПК<sub>5</sub> неосветлённой жидкости нормировано как международная норма государств ЕЭС в количестве 60 мг/сутки на одного жителя.

## ЭКОЛОГИЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

По методу очистки сточных вод реакторы делятся на [12]:

1. Биологические, которые в свою очередь классифицируют:

1.1 По подаче воздуха.

1.2 По иммобилизации микроорганизмов в аппарате.

1.3. По конструктивным особенностям.

1.4. По конструктивно-технологическим признакам.

2. Физико-химические (химические, электрохимические, физические и др.).

3. Биофизико-химические (мембранные биореакторы).

На МКС использование газов (хлора, озона и др.) при обеззараживании вод представляет опасность для космонавтов в случае их утечки.

В настоящее время в пассажирских самолётах для обеззараживания питьевой воды используют дорогостоящую установку дезинфекции воды на основе специальных ультрафиолетовых ламп [3]. Такие системы требуют замены ламп каждые 3 000 часов работы, что приводит к значительным затратам.

В новой системе обеззараживания воды, разработанной канадской компанией International Water Guards, используют ультрафиолетовые светодиоды [14]. Таким образом удалось снизить стоимость системы по сравнению с системой на ультрафиолетовых лампах. Поэтому мы рекомендуем для обеззараживания сточных и питьевых вод на МКС эту систему.

### Результаты

Вышеизложенное подчёркивает тезис и о необходимости, и о возможности регенерации воды на Международных космических станциях. Разработанная авторами технологическая схема (рис. 2) предусматривает обработку сточных вод на МКС и их замкнутое использование.

Как отмечалось выше, в условиях космоса и отсутствия гравитации использование отстойников бесполезно. Поэтому мы предлагаем для отстаивания сточных вод и удаления песка устанавливать осадительные центрифуги [10, 12]. Для очистки вод от растворённых веществ мы предлагаем реакторы, а точнее мембранные биореакторы нового поколения.

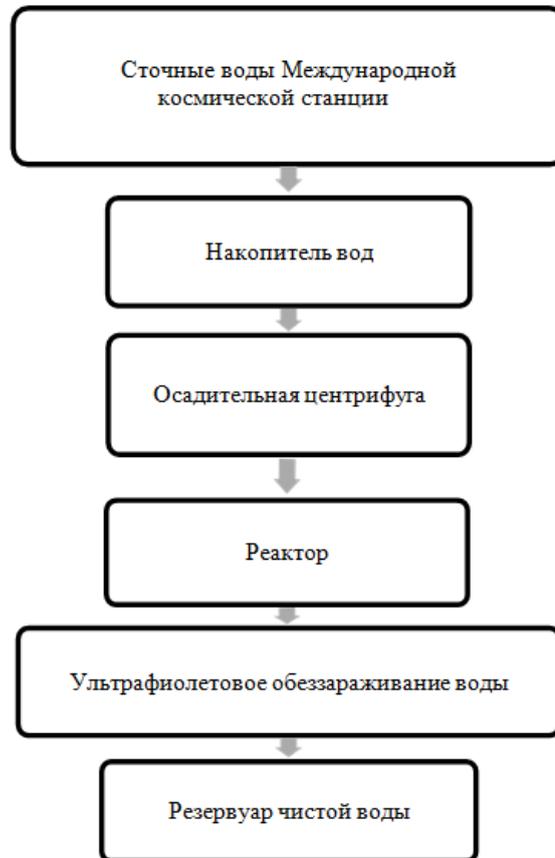


Рис. 2. Технологическая схема очистки сточных вод на Международной космической станции

Fig. 2. The technological scheme of wastewater treatment at the International Space Station

Мембранные биореакторы (МБР) являются современными высокоинтенсивными сооружениями биологической очистки [7]. В отличие от классической схемы биологической очистки с разделением иловой смеси во вторичных отстойниках, в мембранных биореакторах отделение хлопьев активного ила от очищенных сточных вод достигается за счет фильтрации иловой смеси через ультрафильтрационную или микрофильтрационную мембрану с размером пор в диапазоне от 0,04 до 0,4 микрон. Основным компонентом МБР являются кассеты, состоящие из мембранных модулей. Мембраны могут иметь форму полого волокна или двух плоских листов с подложкой из полимерного материала [5, 6]. Кассеты погружены непосредственно в иловую смесь. С помощью самовсасывающего насоса на внутренней поверхности мембран создается отрицательное давление. Таким образом,

из-за разницы давлений на внешней и внутренней поверхности мембраны сточные воды фильтруются через мембранный слой. Полученная чистая вода (пермеат) отводится насосом фильтра. Отдельные микроорганизмы (бактерии) активного ила имеют размер, на порядок превышающий размер пор мембраны. Поэтому мембрана задерживает хлопья активного ила, свободно плавающие в процессе фильтрации микроорганизмы и инертные взвешенные вещества, а удаляют их с поверхности мембраны с помощью системы аэрации.

Преимущества использования МБР:

1) меньшее количество сооружений – МБР заменяет вторичные отстойники, аэротенки и песчаные фильтры;

2) компактность – концентрация активного ила в МБР в несколько раз выше, чем в традиционных сооружениях, соответственно, в такое же количество раз меньше объем сооружений;

3) возможность круглогодичной нитрификации даже в условиях холодного климата – в традиционных сооружениях со снижением температуры скорость роста нитрификаторов снижается, и они вымываются из реактора;

4) селекция микроорганизмов, которые способны окислять биорезистентные вещества, – микроорганизмы, медленно растущие и обладающие такой способностью, благодаря мембране не вымываются из реактора. Значит, эффективность очистки по трудноокисляемым веществам в МБР значительно выше, чем в системе аэротенк – отстойник;

5) удобство автоматизации процесса – процесс полностью автоматизирован;

6) надёжная эксплуатация – работа сооружений не зависит от осаждаемости ила (илового индекса), его вспухания и т. д.;

7) обеззараживание сточных вод – поры мембран меньше размера бактерий.

И в заключение мы предлагаем для обеззараживания вод применять УФ–светодиодные лампы. В условиях космоса и отсутствия гравитации для движения воды мы предлагаем насосы нового поколения.

### Научная новизна и практическая значимость

Авторы статьи провели анализ работы существующих сооружений по очистке сточных вод в условиях космоса и представили рекомендации по их использованию на МКС. Разработанная технология для очистки сточных и питьевых вод в условиях невесомости (космоса) основывается на использовании различных реакторов. Благодаря таким характеристикам, как компактность, герметичность и небольшие габариты, реакторы могут быть установлены на МКС. Важно и то, что процесс очистки вод полностью автоматизирован.

Регенерация воды на МКС приводит к её замкнутому использованию и исключает дорогостоящую доставку новой воды с Земли. Поскольку в космосе отсутствует гравитация, для отделения взвешенных частиц от воды нужно использовать центробежные силы (центрифуги).

### Выводы

На борту МКС воду используют не только для питья, но и для обеспечения жизнедеятельности экипажа и функционирования систем станции. Вода – это необходимый компонент для восстановления сублимированных продуктов питания.

Мы разработали технологию и предложили схему по очистке сточных вод в условиях космоса. Также проанализировали работу существующих сооружений по очистке сточных вод в условиях космоса и разработали рекомендации по их использованию на МКС.

На МКС должна быть предусмотрена система по обработке сточных вод и их замкнутому использованию, так как снабжение станций новой водой значительно удорожает освоение космического пространства, а качественная вода – это здоровье и благополучная работа людей в условиях космоса.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Австралия планирует добывать воду на Луне. *Naked Science*. 2019. № 46. URL: <https://naked-science.ru/article/cosmonautics/avstraliya-planiruet-dobuvat> (дата обращения 09.01.2020)
2. Аристов Н. И. Космическое питание. Технологии. История и современность. *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. 2017. Т. 3. С.980–982.
3. Водные хроники : Научные новости. *Вода и водные технологии*. 2019. № 2 (92). 22 с.
4. ДБН В.2.5-75-2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [На заміну СНиП 2.04.03-85; чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : МінрегіонУкраїни, 2013. 128 с.
5. Долина Л. Ф. *Новые методы и оборудования для обеззараживания сточных и природных вод* : монография. Днепропетровск : Континент, 2003. 218 с.
6. Долина Л. Ф. *Очистка сточных вод от биогенных элементов* : монография. Днепропетровск: Континент, 2011. 115 с.
7. Долина Л. Ф. *Современная техника и технология для очистки сточных вод от солей тяжёлых металлов*: монография. Днепропетровск : Континент, 2008. 254 с.
8. Сальников Н. А. Исследование очистки санитарно-гигиенической воды в замкнутой системе водообеспечения летательных аппаратов. *Научный вестник МГТУ ГА*. 2016. Т. 19, № 3. С. 157–165.
9. Синяк Ю. Е. *Актовая речь. Системы жизнеобеспечения обитаемых космических объектов*. Москва : ИБМП РАН, 2008. С. 3–28.
10. Anderson N. G. Zonal Centrifuges and Other Separation Systems. *Science*. 1966. Vol. 154, Iss. 3745. P. 103–112. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.154.3745.103>
11. Bagrov A. V., Leonov V. A., Kislitsky M. I. Industrial Mining of water ice in space. *Aerospace Sphere Journal*. 2019. № 1 (98). P. 76–81. DOI: <https://doi.org/10.30981/2587-7992-2019-98-1-76-81>
12. Giorno L., Drioli E. Biocatalytic membrane reactors: applications and perspectives. *Trends of biotechnology*. 2000. Vol. 18. Iss. 8. P. 339–349. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-7799\(00\)01472-4](https://doi.org/10.1016/S0167-7799(00)01472-4)
13. 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, No 1. P. 81–100. DOI: <https://doi.org/10.14267/CJSSP.2018.1.04>
14. 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> (дата обращения 09.01.2020)
15. Wang Y., Pham H. Water Treatment Plant Ancillary Facilities: Unsung Heroes of Hurricane Harvey. *Journal–American Water Works Association*. 2019. Vol. 111. Iss. 8. P. 81–100. DOI: <https://doi.org/10.1002/awwa.1339>
16. Westall F., Brack, A. The Importance of Water for Life. *Space Science Review*. 2018. Vol. 214. Iss. 2. P. 1–23. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11214-018-0476-7>

Л. Ф. ДОЛИНА<sup>1\*</sup>, Ю. О. ЖДАН<sup>2\*</sup>, Д. А. ДОЛИНА<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Гідравліка та водопостачання», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, ел. пошта [gidravlika2013@mail.ru](mailto:gidravlika2013@mail.ru), ORCID 0000-0001-6082-7091

<sup>2\*</sup>Каф. «Гідравліка та водопостачання», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (096) 860 30 84, ел. пошта [yulia7799@i.ua](mailto:yulia7799@i.ua), ORCID 0000-0002-0837-642X

<sup>3\*</sup>Головне управління Державної фіскальної служби, вул. Шолуденка, 33, Київ, Україна, 04116, тел. +38 (056) 164 22 32, ел. пошта [dogni06@gmail.com](mailto:dogni06@gmail.com), ORCID 0000-0000-0002-2962-2722

## ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД В УМОВАХ КОСМОСУ

**Мета.** Основна мета статті – розробити технологію очищення стічних вод в умовах космосу. **Методика.** 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 розробки технології очищення стічних вод в умовах космосу, окрім світового досвіду, використано власні дослідження. **Результати.** Комплексний розгляд питань, пов'язаних з очищенням стічних вод в умовах космосу, дозволяє зробити висновок про необхідність регенерації води на Міжнародних космічних станціях (МКС).

## ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

Адже для забезпечення життєдіяльності космонавтів потрібна величезна кількість води, а її доставляння на МКС із Землі дороге коштує. **Наукова новизна.** Автори статті провели аналіз роботи наявних споруд з очищення стічних вод в умовах космосу і подали рекомендації щодо їх використання на МКС. Розроблена технологія для очищення стічних і питних вод в умовах невагомості (космосу) ґрунтується на використанні різних 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- й фізико-хімічних реакторів дозволяють установлювати їх у межах МКС. Процес очищення простий в управлінні й може бути повністю автоматизований. **Практична значимість.** Водні проблеми є головними у всьому світі, у тому числі й в умовах космосу. На МКС має бути передбачена система обробки стічних вод і їх замкнутого використання, тому що постачання станцій новою водою значно здорожує освоєння космічного простору. Якісна вода – це здоров'я й успішна робота людей в умовах космосу. Оскільки в космосі відсутня гравітація, для відділення зважених часток від води потрібно використовувати відцентрові сили (центрифуги).

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

L. F. DOLYNA<sup>1\*</sup>, Y. O. ZHDAN<sup>2\*</sup>, D. A. DOLYNA<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Hydraulics and Water Supply», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 273 15 09, e-mail gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0001-6082-7091

<sup>2\*</sup>Dep. «Hydraulics and Water Supply», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (096) 860 30 84, e-mail yulia7799@i.ua, ORCID 0000-0002-0837-642X

<sup>3\*</sup>Head Office of State Fiscal Service, Sholudenka St., 33, Kyiv, Ukraine, 04116, tel. +38 (056) 164 22 32, e-mail dogni06@gmail.com, ORCID 0000-0000-0002-2962-2722

## WASTE WATER TREATMENT IN SPACE CONDITIONS

**Purpose.** The main purpose of the article is to develop a technology for wastewater treatment in space. **Methodology.** 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. **Findings.** 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. **Originality.** 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 value.** 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.

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

## REFERENCES

1. Avstraliya planiruet dobyvat vodu na Lune. (2019). *Naked Science*, 46. Retrieved from <https://naked-science.ru/article/cosmonautics/avstraliya-planiruet-dobyvat>. (in Russian)
2. Aristov, N. I. (2017). Space food. Technologies. History and present. *Aktualnyye problemy aviatsii i kosmonavtiki*, 3, 980-982. (in Russian)

## ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

3. Vodnye khroniki: Nauchnye novosti. (2019). *Voda i vodnye tekhnologii*, 2(92), 22. (in Russian)
4. Kanalizatsiia. Zovnishni merezhi ta sporudy. Osnovni polozhennia proektuvannia, 128 DBN V.2.5-75-2013. (2013). (in Ukrainian)
5. Dolina, L. F. (2003). *Novye metody i oborudovaniya dlya obezrazhivaniya stochnykh i prirodnykh vod: monografiya*. Dnepropetrovsk: Kontinent. (in Russian)
6. Dolina, L. F. (2011). *Ochistka stochnykh vod ot biogennykh elementov: monografiya*. Dnepropetrovsk: Kontinent. (in Russian)
7. Dolina, L. F. (2008). *Sovremennaya tekhnika i tekhnologiya dlya ochistki stochnykh vod ot soley tyazhelykhmetallov: monografiya*. Dnipropetrovsk: Kontinent. (in Russian)
8. Salnikov, N. A., & Nikolaykina, N. E. (2016). Sanitary and hygienic water purification research for the water supply closed system of the flying apparatus. *Civil Aviation High Technologies*, 19(3), 157-165. (in Russian)
9. Sinyak, Yu. Ye. (2008). *Aktovaya rech. Sistemy zhizneobespecheniya obitaemykh kosmicheskikh obektov*. Moscow: IBMP RAN, 3-28. (in Russian)
10. Anderson, N. G. (1966). Zonal Centrifuges and Other Separation Systems. *Science*, 154(3745), 103-112. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.154.3745.103> (in English)
11. Bagrov, A. V., Leonov, V. A., & Kislitsky, M. I. (2019). Industrial mining of water ice in space. *Aerospace Sphere Journal*, 1(98), 76-81. DOI: <https://doi.org/10.30981/2587-7992-2019-98-1-76-81> (in English)
12. Giorno, L., & Drioli, E. (2000). Biocatalytic membrane reactors: applications and perspectives. *Trends of biotechnology*, 18(8), 339-349. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-7799\(00\)01472-4](https://doi.org/10.1016/S0167-7799(00)01472-4) (in English)
13. Gupta, G. & Orbán, S. A. (2018). Water is life, life is water: (Un) sustainable use and management of water in the 21st century. *Corvinus Journal of Sociology and Social Policy*, 9(1), 81-100. DOI: <https://doi.org/10.14267/CJSSP.2018.1.04> (in English)
14. LED light technology to purify water on airliners. (2019). *Flight Global*. Retrieved from <https://www.flightglobal.com/systems-and-interiors/aix-led-light-technology-to-purify-water-on-airliners/132154.article> (in English)
15. Wang, Y., & Pham, H. (2019). Water Treatment Plant Ancillary Facilities: Unsung Heroes of Hurricane Harvey. *Journal-American Water Works Association*, 111(8), 26-32. DOI: <https://doi.org/10.1002/awwa.1339> (in English)
16. Westall, F., & Brack, A. (2018). The Importance of Water for Life. *Space Science Reviews*, 214(2), 1-23. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11214-018-0476-7> (in English)

Поступила в редколлегию: 02.12.2019

Принята в печать: 03.04.2020