

ЗАЯВА

Я, Ждан Юлія Олександрівна
(ПІБ повністю)
Студент групи ВВ2021
(шифр групи)
Спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код та назва спеціальності)
освітньої програми Водопостачання та водовідведення
(наша освітньої програми)

освітнього ступеня підготовки **магістр**

заявляю, що моя випускна кваліфікаційна робота на тему:


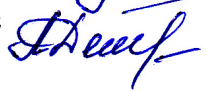
Розробка технології очистки стічних вод на борту космічного апарату

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання.

Прошу перевірити її на наявність академічного плагіату.

Я ознайоmlена з чинним «Порядком перевірки кваліфікаційних випускних робіт здобувачів вищої освіти на виявлення текстових та графічних запозичень засобами перевірки на плагіат», згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску випускної кваліфікаційної роботи до захисту.

Дата
Керівник
доц. Долина Л.Ф.

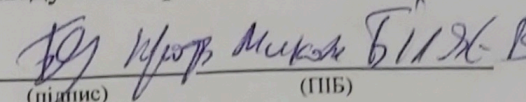
Підпис 
Підпис 

Український державний університет науки і технологій

Кафедра «Гідравліка та водопостачання»

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри


(підпис) (ПІБ)

20 21 р. грудня «21»

ДИПЛОМНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань 19 «Архітектура та будівництво»

Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

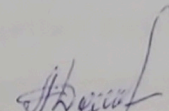
Спеціалізація «Водопостачання та водовідведення»

Тема: «Розробка технології очистки стічних вод на борту космічного апарату»

Theme «Development of wastewater treatment technology on the board of the spacecraft»

Керівник дипломного проекту (роботи)

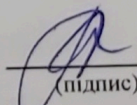
к.т.н., доц.


(підпис)

Леонід ДОЛИНА

Нормоконтролер

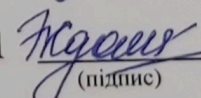
к.т.н., доц.


(підпис)

Олена ГУНЬКО

Студент групи

ВВ 2021


(підпис)

Юлія ЖДАН

Student

Yuliia ZHDAN

Дніпро
2021 р.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	
ВСТУП.....	
РОЗДІЛ 1 МІЖНАРОДНА КОСМІЧНА СТАНЦІЯ.....	
РОЗДІЛ 2 РЕГЕНЕРАЦІЯ ВОДИ.....	
РОЗДІЛ 3 АМЕРИКАНСЬКА ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ОЧИЩЕННЯ СЕЧІ АСТРОНАВТІВ У ПИТНУ ВОДУ.....	
РОЗДІЛ 4 ДАТСЬКА ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД НА БОРТУ КОСМІЧНОГО АПАРАТУ.....	
РОЗДІЛ 5 МЕТОДИ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД.....	
5.1. Механічна очистка стічних вод.....	
5.2. Біологічна очистка.....	
5.3. Фізико-хімічна очистка.....	
5.4. Знезараження.....	
РОЗДІЛ 6 ВИБІР ТЕХНОЛОГІЧНИХ СПОРУД ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД НА БОРТУ КОСМІЧНОГО АПАРАТУ.....	
6.1. Центрифуги.....	
6.1.1. Класифікація центрифуг. Сфери їх застосування.....	
6.1.2. Процеси у відстійних центрифугах.....	
6.2. Реактори.....	
6.3. Знезараження води.....	
РОЗДІЛ 7 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД НА БОРТУ КОСМІЧНОГО АПАРАТУ.....	
7.1. Розрахунок центрифуги.....	
7.2. Розрахунок біологічного реактора.....	
7.3. Розрахунок кошториса запропонованої технологічної схеми.....	
ВИСНОВКИ.....	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	

АНОТАЦІЯ

Актуальність теми. 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 на борту космічного апарату з метою повторного використання води в повному замкненому циклі.

Мета: розроблення технології очищення стічних (використаних) вод на борту космічного апарату.

Об'єкт дослідження: процес очищення стічних вод на борту космічного апарату.

Предмет дослідження: технологічні схеми для очищення стічних і питних вод на борту космічного апарату.

Методи дослідження: дослідження виконані на підставі аналізу українських і зарубіжних наукових джерел і звітних даних про специфіку використання води на борту космічного апарату і способах очищення стічних вод. Для розроблення технології очищення стічних вод на борту космічного апарату, окрім світового досвіду, використані власні дослідження.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблена технологічна схема для очистки стічних вод на борту космічного апарату дає змогу використовувати воду в замкнутому циклі та дозволяє мінімізувати вагу очисного обладнання на борту космічного апарату.

Ключові слова: очищення стічних вод, споруди з очищення стічних вод, космос, технологія очищення вод в умовах космосу, система життєзабезпечення на борту космічного апарату.

SUMMARY

Actuality of theme. 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 delivering water to the ISS is very high, so

it is necessary to improve the technological schemes of wastewater treatment on board the spacecraft in order to reuse water in a complete closed cycle.

Purpose: to develop technology for wastewater (used) on board the spacecraft.

The object of study: the process of wastewater treatment on board the spacecraft.

The subject of research is: technological schemes for wastewater and drinking water treatment on board the spacecraft.

Research methods: the research is based on the analysis of Ukrainian and foreign scientific sources and reporting data on the specifics of water use on board the spacecraft and methods of wastewater treatment. In addition to world experience, our own research has been used to develop wastewater treatment technology on board the spacecraft.

The practical significance of the results obtained. The developed technological scheme for wastewater treatment on board the spacecraft allows the use of water in a closed cycle and minimizes the weight of treatment equipment on board the spacecraft.

Key words: wastewater treatment, wastewater treatment facilities, space, water treatment technology in space, life support system on board the spacecraft.

ВСТУП

Наявність простої хімічної сполуки H_2O – одна з обов'язкових умов життя на нашій планеті. Її відсутність – одна з причин безживності навколишнього світу. Вода є одним з найважливіших елементів зовнішнього середовища. Без води не було б ніякої екосистеми (тварин, птахів, рослин). Ця речовина має велике значення для задоволення фізіологічних, санітарно-гігієнічних та господарських потреб людини.

Вода в організмі людини – є життєвим важливим елементом, який покращує травлення, допомагає регулювати температуру тіла і контролювати власну вагу, очищає від шкідливих токсинів. Також вода заряджає нас енергією, покращує стан шкіри, суглобів і м'язів, а в деяких випадках може використовуватися як засіб для лікування або профілактики певних захворювань.

Роль води в космосі відіграє не менш важливе значення. В умовах тривалого пілотованого космічного польоту істотним фактором є підтримка життєдіяльності та працездатності екіпажу на борту космічного апарату. Забезпечення астронавтів достатньою кількістю питної води – один із найскладніших моментів для визначення довгострокових космічних подорожей. З настанням космічної ери значення води лише зросло, так як від неї в космосі залежить практично все, починаючи від роботи космічного апарату і закінчуючи виробленням кисню. Усю воду наявну на борту космічного апарату доставляють вантажними кораблями. 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). Її витрачають для споживання, гігієнічних процедур, підтримки технічних систем станції.

Техніка прораховує буквально кожен грам зайвої ваги, тому неможливо узяти її із запасом. Отже, на борту з величезною кількістю суперсучасної техніки вчені й інженери працюють в умовах строгої економії води.

Вартість доставки води до космічного апарату дуже висока, тому необхідно вдосконалювати технологічні схеми очищення стічних вод в умовах космосу з метою повторного використання води в повному замкненому циклі. Для розроблення технології очищення стічних вод на борту космічного апарату, окрім світового досвіду, використані власні дослідження. Важливо зазначити, що дане питання на сьогоднішній день не було детально розглянуто та досліджено. Переглянувши та ознайомившись з матеріалом, в даній роботі було розглянуто дві існуючі технологічні схеми: американська технологічна схема очищення сечі астронавтів у питну воду, розроблена в Центрі космічних польотів ім. Маршала НАСА (США) та датська технологічна схема очищення стічних вод з використанням фільтрів на основі білків аквапорину.

Варто зауважити, 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. Тому метою в даній роботі було розроблення технологічної схеми очистки стічних вод на борту космічного апарату. Відстоювання стічних вод не працюватиме в умовах космосу, оскільки відсутня гравітація, але її вдало можна замінити на відстійні центрифуги спеціальної конструкції. Головною спорудою для очищення стічних та питних вод на борту космічного апарату можуть бути різні реактори, а саме мембранні біореактори нового покоління. Основний компонент такого реактора – касети, що складаються з мембранних модулів. Перевагами цих споруд є: компактність, менша кількість споруд, зручність процесу, надійність в експлуатації, можливість цілорічної нітрифікації навіть в умовах холодного клімату. Знезараження води доцільно проводити застосовуючи ультрафіолетові світлодіодні лампи, оскільки використання озону, хлору та інших хімічних реагентів є дуже небезпечними в умовах космосу. Вони можуть не тільки спричинити вибух, але й потрапити до слизової оболонки ока чи інших органів, погіршуючи здоров'я космонавтів. В умовах

відсутності гравітації для руху води пропонується застосовувати насоси нового покоління.

Отже, на борту космічного апарату має бути передбачена система обробки стічних вод і їх замкнутого використання, оскільки постачання станцій новою водою значно здорожує освоєння космічного простору, а якісна вода – це здоров'я і благополучна робота людей на борту космічного апарату.

РОЗДІЛ 1

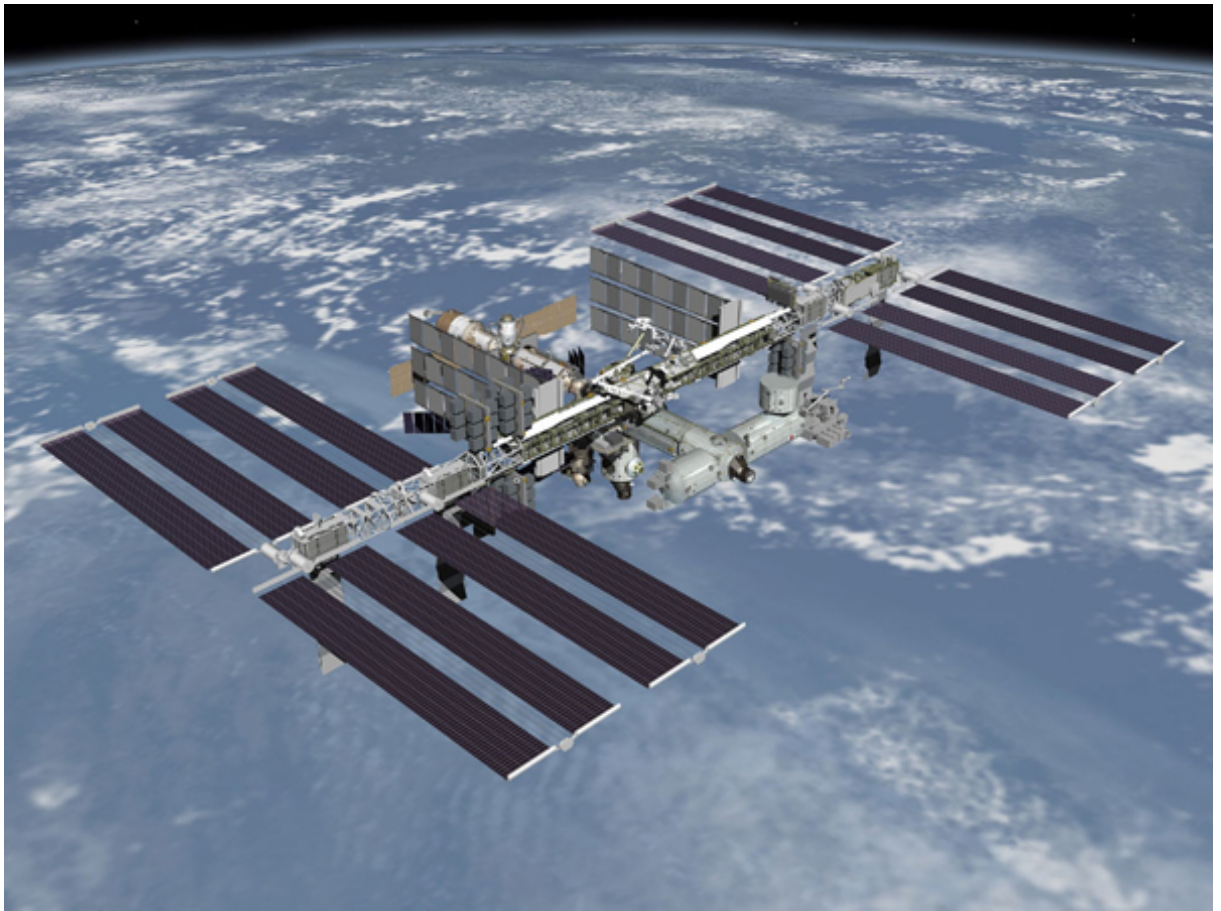
МІЖНАРОДНА КОСМІЧНА СТАНЦІЯ

Більш ніж за півстоліття, що пройшли після першого польоту людини в космос, були запуснені тисячі космічних апаратів, створені унікальні автоматичні і пілотовані науково-дослідні комплекси. Людині вдалося не лише побачити Землю з боку, але і досліджувати її. Стали доступні для вивчення інші планети, зірки і галактики в усьому діапазоні електромагнітних коливань - від жорстких гамма-променів до далекого інфрачервоного і радіовипромінювання. Ученим вдалося отримати важливі дані про поведінку в невагомості усіх класів біологічних об'єктів (від молекул білків, вірусів і бактерій до хребетних тварин), вивчити особливості протікання в космосі фізичних процесів в рідинах і газах, металах і напівпровідниках, в нових конструкційних матеріалах і покриттях.

Наймасштабнішим і найскладнішим міжнародним науковим проектом в історії вивчення космосу є створення Міжнародної космічної станції (рис.1.1).

Міжнародна космічна станція (МКС) – (англ. *International Space Station*, скорочено *ISS*) 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.

Основним завданням фундаментальних досліджень, що проводяться на борту космічного апарату, є отримання нових наукових знань про структуру Всесвіту і матерії, про глобальні чинники, що впливають на нашу планету і навколоземний простір, про клімат і природні ресурси Землі, про організм людини, його протидії несприятливим чинникам зовнішнього середовища і адаптаційним можливостям, про форми еволюції життя в цілому.



(<http://www.gctc.ru/main.php?id=238>)

Рисунок 1.1 Міжнародна космічна станція.

Окрім цього, МКС активно використовується інженерним співтовариством в якості платформи для реалізації прикладних наукових досліджень в наступних цілях:

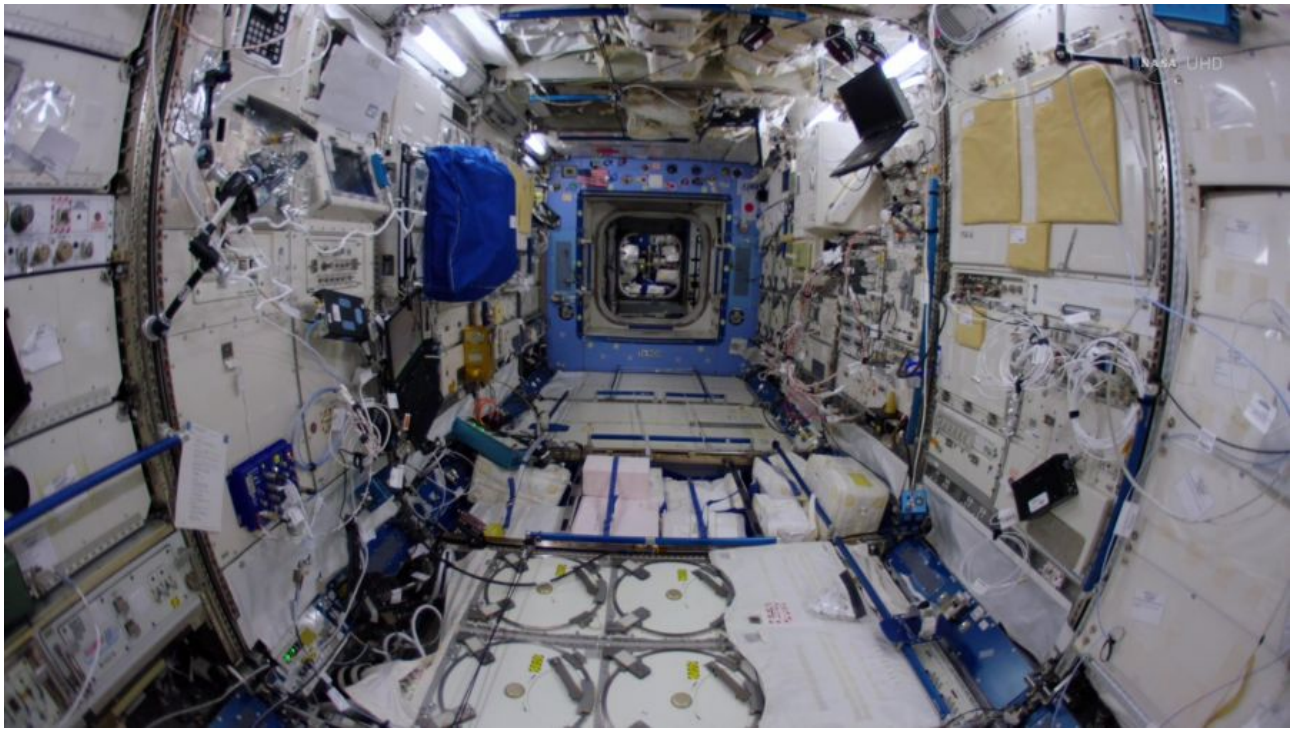
- відпрацювання нових типів бортової цільової апаратури і методів її найбільш ефективного застосування;
- уточнення даних про діючі чинники космічного простору і вивчення умов експлуатації космічних апаратів;
- вдосконалення методів і засобів забезпечення тривалих пілотованих польотів і технологій збору великих міжорбітальних комплексів в інтересах майбутніх планетних досліджень;
- розробки нових космічних технологій і їх використання в промисловості і соціальній сфері на Землі, включаючи безпосереднє отримання зразків

продукції на орбіті.

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. У цьому величезному «будинку», що складається з безлічі модулів, можуть мешкати екіпажі до семи і більше чоловік.

У основу облаштування станції закладений модульний принцип. Складання МКС відбувається шляхом послідовного додавання до комплексу чергового модуля або блоку, який з'єднується із вже доставленим на орбіту.

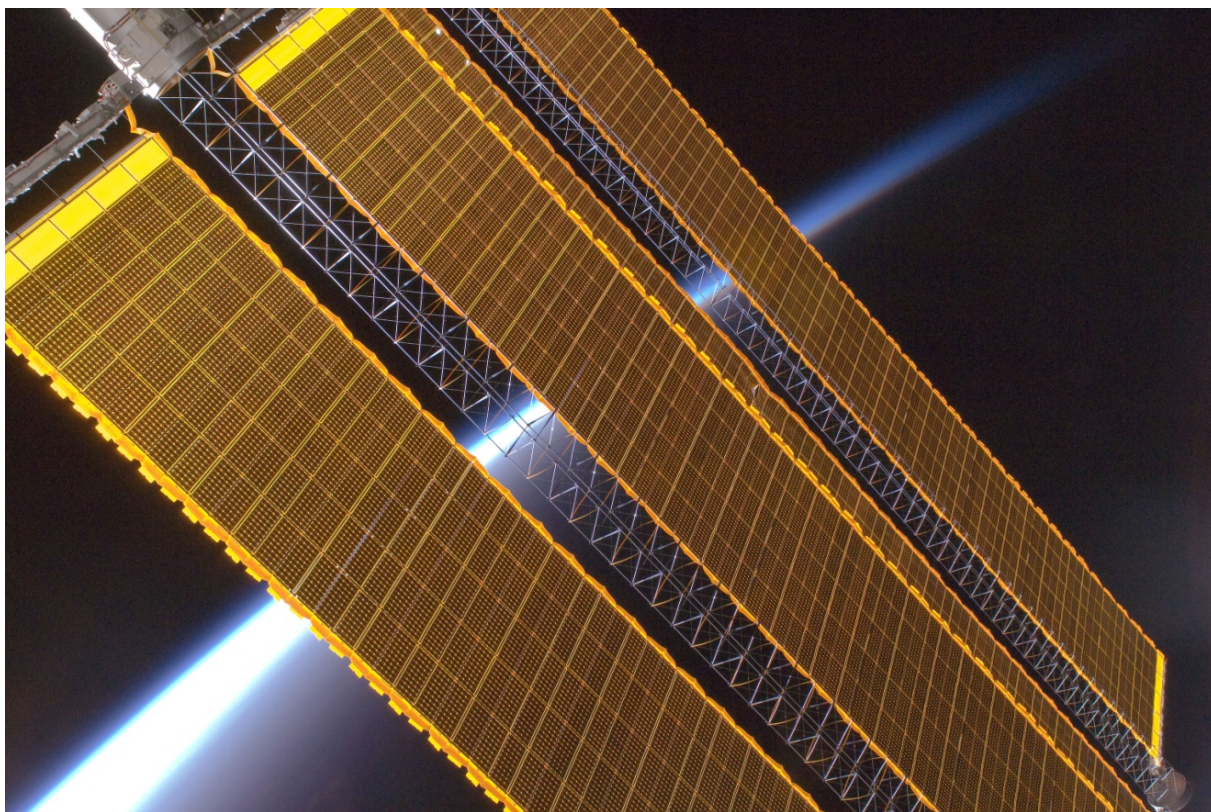
Станом на грудень 2021 року станція складається з 15 основних модулів: російські – «Заря», «Звезда», «Поиск», «Рассвет», «Наука», «Причал»; американські – «Юнити», «Дестини», «Квест», «Гармония», «Транквилити», «Купола», «Леонардо»; європейський «Коламбус»; японський «Кибо», що складається з двох частин, а також експериментальний модуль «ВЕАМ» і шлюзовий модуль для запуску малих супутників «Бишоп», а також 8 стикувальних вузлів для прийому вантажних і пілотованих космічних кораблів і 4 для приєднання в майбутньому нових модулів. На поверхні модулів прокладені електричні, комп'ютерні та гідравлічні комунікації, через які передається електроенергія, проходить питна вода і вода системи охолодження повітря (рис.1.2).



(<https://www.karusel-tv.ru/video/19601/frame?swipeboxvideo=1>)

Рисунок 1.2 Міжнародна космічна станція всередині

Єдиним джерелом електричної енергії для МКС являється Сонце, світло якого сонячні батареї станції перетворюють в електроенергію (рис.1.3).



([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Earth_horizon_and_International_Space_Station_solar_panel_array_\(Expedition_17_crew,_August_2008\).jpg?uselang=ru](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Earth_horizon_and_International_Space_Station_solar_panel_array_(Expedition_17_crew,_August_2008).jpg?uselang=ru))

Рисунок 1.3 Сонячні батареї космічної станції

Стан, близький до невагомості, відіграє важливу роль у наукових дослідженнях, що проводяться на борту МКС (рис.1.4, рис.1.5). 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.



(<https://tass.ru/opinions/11996169>)

Рисунок 1.4 Експеримент вирощування рослин на МКС



(<http://lapsha.ru/a/67>)

Рисунок 1.5 Експеримент «Планета та супутник»

Система життєзабезпечення (СЖЗ) екіпажа космічного літального апарату є однією з найважливіших умов успішного виконання будь-якої

програми пілотованої космонавтики. До складу системи життєзабезпечення космонавта входять наступні системи:

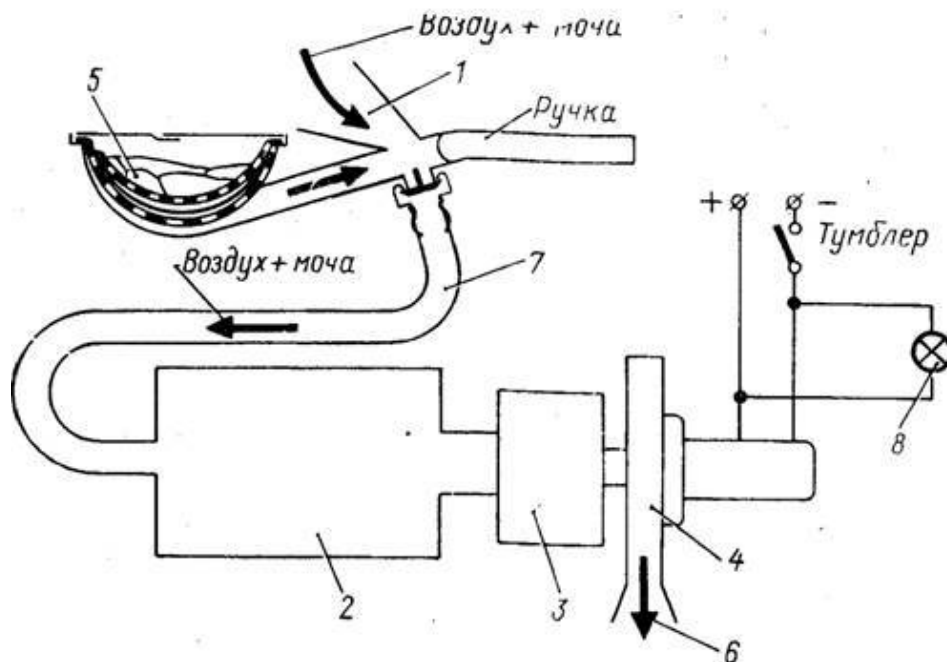
- СЗГС - система забезпечення газового складу,
- СВЗ - система водозабезпечення,
- ССГЗ - система санітарно-гігієнічного забезпечення,
- СЗХ - система забезпечення харчуванням,
- СЗТР - система забезпечення теплового режиму.

Системи життєзабезпечення космонавтів в пілотованому космічному апараті можуть бути створені або на основі запасів речовин, що витрачаються, доставлених із Землі, або на основі процесів регенерації і повернення речовин, що забезпечують кругообіг, або на поєднанні цих систем з переважанням тієї або іншої залежно від тривалості експедиції і енергоозброєності космічного об'єкту.

Саме на одному із модулів Міжнародної космічної станції виконуються усі функції життєзабезпечення космонавтів – «Транквилити» або «Спокійність». Він містить найдосконалішу в історії космонавтики систему життєзабезпечення, здатну переробляти рідкі відходи у воду, придатну для побутового використання, а також виробляти кисень для дихання. Також в "Транквилити" є присутніми додатковий туалет і система очищення повітря, що видаляє забруднення з атмосфери станції і контролюючи її склад, щоб маса модуля складала 15 тонн.

На МКС існує 3 санвузли: європейського, американського і російського виробництва. Вони знаходяться на модулях "Звезда" і "Транквилити". Унітаз на орбітальній станції призначений як для чоловіків, так і для жінок, виглядає точно так, як і на Землі, але має ряд конструктивних особливостей (рис.1.6). Унітаз забезпечений фіксаторами для ніг і утримувачами для стегон, в нього вмонтовані потужні повітряні насоси (рис.1.7). Космонавт пристібається спеціальним пружинним кріпленням до сидіння унітазу, потім включає потужний вентилятор і відкриває всмоктуючий отвір, куди повітряний потік відводить усі відходи. Усі відходи сортуються і деякий час зберігаються на

борту. Сеча всмоктується і збирається в 20-літрові контейнери. Ці контейнери потім перевантажуються на вантажні космічні кораблі "Прогрес", які згорають при вході у верхні шари атмосфери. Для твердих відходів використовуються спеціальні сітчасті пластикові мішки. Через отвори проходить потік повітря, і в результаті усі екскременти опиняються в мішку. Еластичний пакет стягується і скидається в металевий контейнер. Повітря з туалетів перед попаданням в житло обов'язково фільтрується для очищення від бактерій і запаху.



(<https://habr.com/ru/post/377261/>)

Рисунок 1.6 Схематична конструкція космічного туалету:

1 – приймальник, 2 – збірник сечі, 3 – повітряний фільтр, 4 – вентилятор, 5 – збірник калових мас, 6 – вихід чистого повітря, 7 – гнучкий шланг, 8 – сигнальна лампа.



(<https://habr.com/ru/post/377261/>)

Рисунок 1.7 Туалет в модулі «Звезда» та «Destiny»

У грудні 2020 року, кораблем Cygnus CRS NG - 14 на станцію доставлений і встановлений туалет американського виробництва – UWMS (Universal Waste Management System), який встановлений в модулі "Транквилити". З прибуттям в 2021 році на станцію модуля "Наука", кількість туалетів була доведена до чотирьох.

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.

Тому, для того, щоб систему Міжнародної космічної станції зробити менш залежною від наземних служб та знизити витрати на космічні польоти, доцільно використовувати спосіб регенерації води.

РОЗДІЛ 2 РЕГЕНЕРАЦІЯ 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.

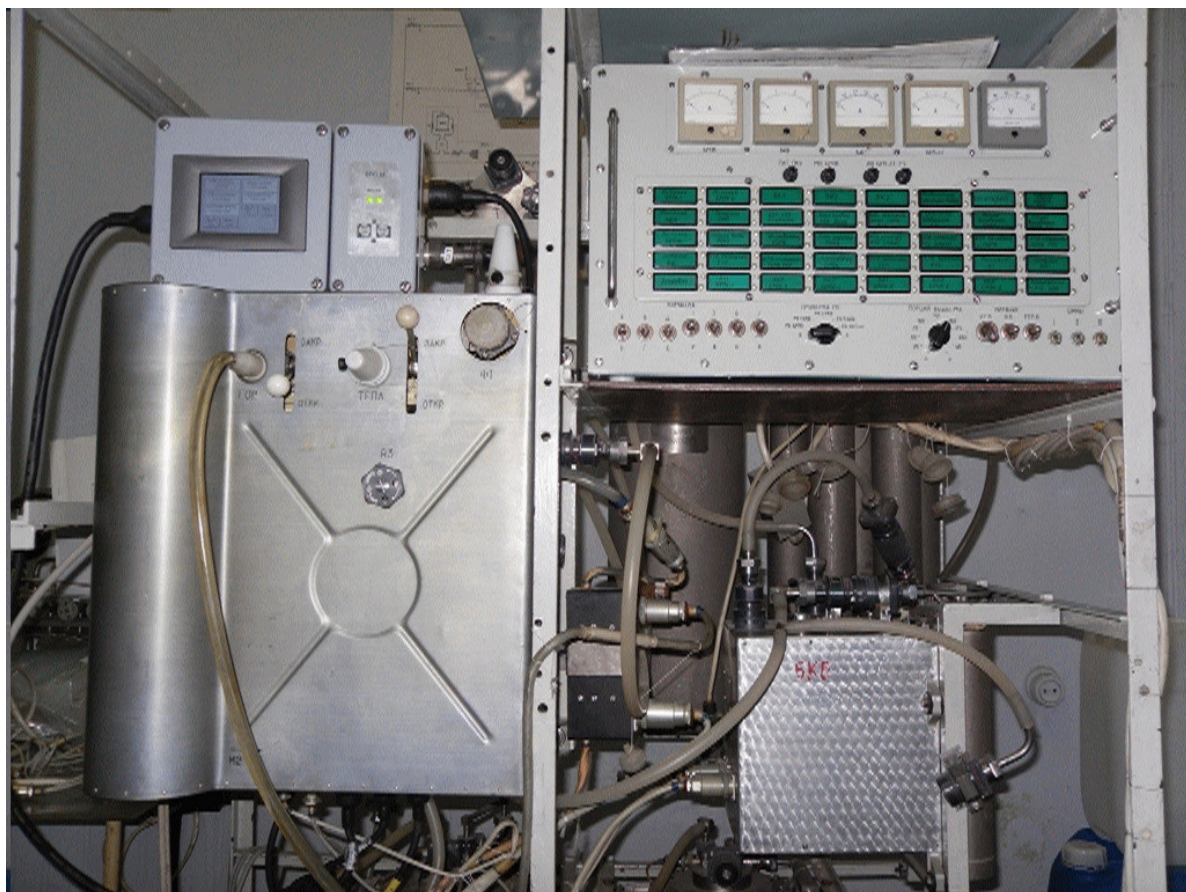
Наразі на борту космічного апарату застосовують декілька способів регенерації води:

- 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-K2М (рис.2.1) та Електрон-ВМ (рис.2.2) дозволяють забезпечити космонавтів на МКС водою на 63 % [3].



(<https://habr.com/ru/post/401893/>)

Рисунок 2.1 Система регенерації води із конденсату атмосферної
вологи CPB-K2M

Біохімічний аналіз показав, що регенована вода не втрачає своїх початкових властивостей і повністю придатна для пиття. Нині вчені працюють над створенням більш замкненої системи, яка дозволить забезпечити космонавтів водою на 95 %. Існують перспективи розвитку систем очищення, які забезпечать на 100 % замкнутий цикл.



(<https://www.niichimmash.ru/projects/elektron-vm/>)

Рисунок 2.2 Система «Електрон-ВМ» - основне джерело кисню для дихання екіпажу на борту МКС з моменту створення станції в 2000 році

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].

РОЗДІЛ 3

АМЕРИКАНСЬКА ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ОЧИЩЕННЯ СЕЧІ АСТРОНАВТІВ У ПИТНУ ВОДУ

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. 3.1) [4].

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 убарабан, 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.

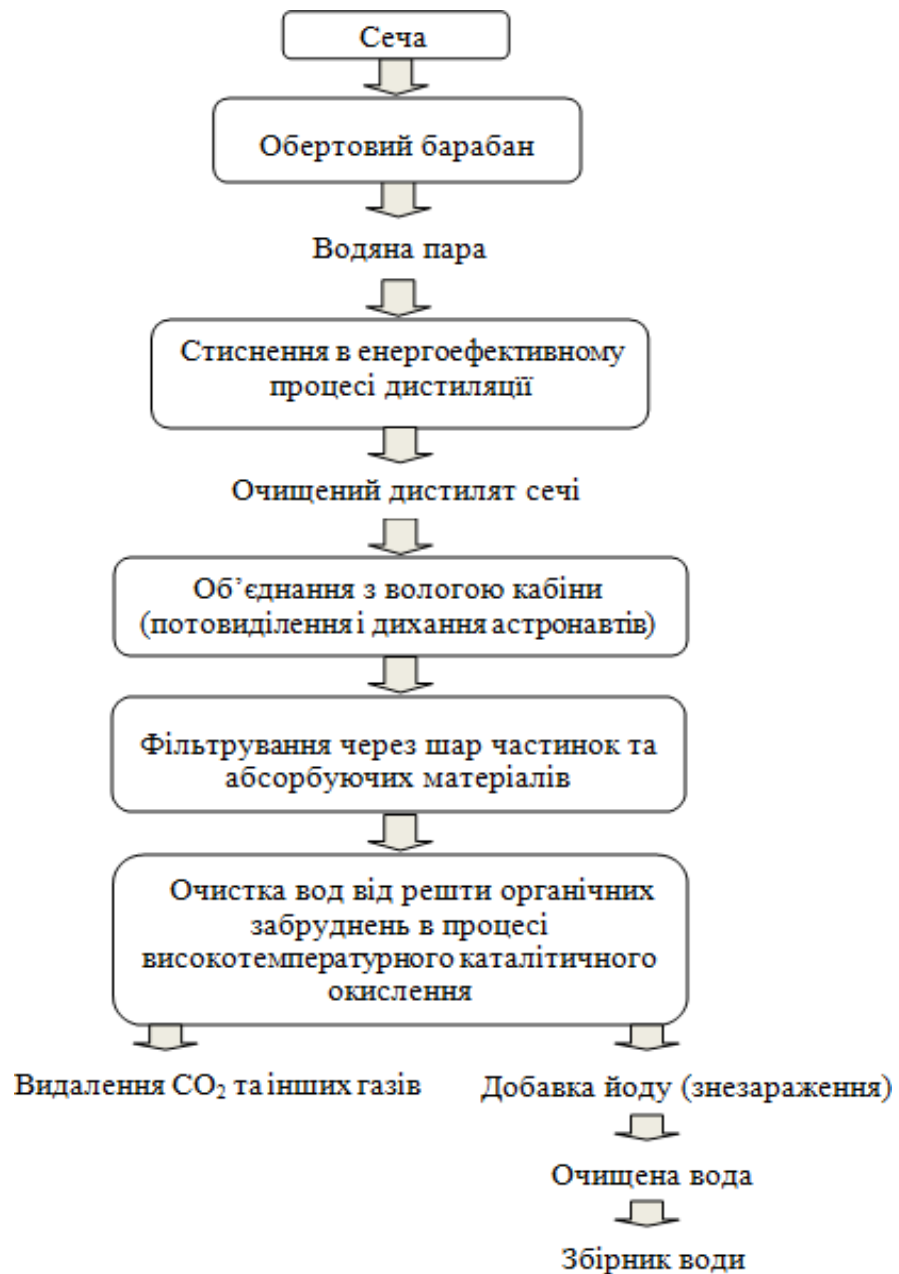


Рисунок. 3.1 Технологічна схема очищення сечі астронавтів у питну воду, розроблена в Центрі космічних польотів ім. Маршала НАСА (США) та встановлена в лабораторії МКС

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 у 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 борту космічного апарату випробовують новий спосіб, який запропонувала датська біотехнологічна компанія «Aquaporin A/S» [6].

РОЗДІЛ 4

ДАТСЬКА ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД НА БОРТУ КОСМІЧНОГО АПАРАТУ

Біотехнологічна компанія «Aquaporin A/S» розробила нову технологічну схему очищення стічних вод на борту космічного апарату (рис. 4.1.).

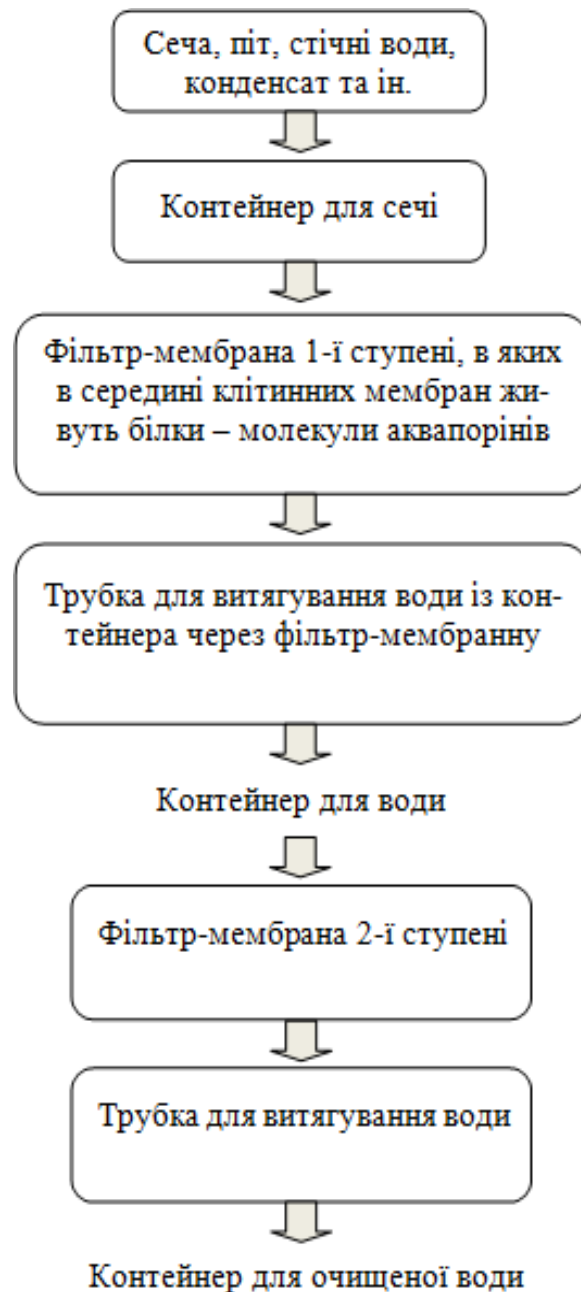


Рисунок 4.1. Технологічна схема очищення стічних вод на МКС, розроблена датською біотехнологічною компанією «Aquaporin A/S»

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.

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.

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

РОЗДІЛ 5 МЕТОДИ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД

Для очистки стічних вод в наш час у світі використовують методи механічної, біологічної і фізико-хімічної очистки, а також знезаражування.

5.1. Механічна очистка стічних вод

Механічна очистка забезпечує видалення із стічних вод частини нерозчинних домішок. Основними методами механічної очистки стічних вод є проціджування, відстоювання, флотація і мікрофільтрування.

Проціджування через решітки (іноді через сита) дозволяє видалити із стічних вод крупне сміття (зважені речовини): тканину, папір, кістки, залишки фруктів, овочів тощо.

В процесі відстоювання стічних вод відбувається їх освітлення шляхом гравітаційного осадження нерозчинних домішок, що мають густину, більшу ніж густина води, і спливання нерозчинних домішок з густиною меншою ніж густина води (жири, масла, нафтопродукти).

Пісок і інші важкі мінеральні домішки затримуються у піскоуловлювачах при короткочасному відстоюванні стічних вод. Основна маса нерозчинних органічних домішок затримується у первинних відстійниках. На відміну від очисних споруд виробничих стічних вод на міських очисних станціях не влаштовуються спеціальні жиро-, нафто- чи смолоуловлювачі. Ці функції виконують первинні відстійники, які обладнуються спеціальними пристроями для збирання і видалення спливаючих домішок.

Флотація – це метод видалення нерозчинних домішок, при якому вони спливають у вигляді флотоагрегатів. Флотоагрегати – це грубодисперсні частинки, що об'єднані з бульбашками газу (найчастіше – повітря). Споруди для очистки стічних вод флотацією називають флотаційними установками чи флотаційними камерами.

При мікрофільтруванні для відділення нерозчинних домішок стічні води фільтрують через спеціальні сітки, тканину чи фільтруюче завантаження. Основні споруди для очистки стічних вод мікрофільтруванням – це барабанні сітки мікрофільтри і фільтри із зернистим завантаженням.

Методами механічної очистки можна виділити із стічних вод до 60% нерозчинних домішок. Залишкові нерозчинні домішки надходять на споруди біологічної очистки стічних вод.

Механічну очистку як самостійний метод можна використовувати у виключних випадках при скиданні стічних вод у потужні водойми на першому етапі будівництва очисних споруд. У більшості випадків механічна очистка розглядається як попередній етап перед біологічною очисткою стічних вод.

5.2. Біологічна очистка

Біологічна очистка стічних вод застосовується для видалення із стічних вод основної маси органічних забруднень, що знаходяться у розчинній, колоїдній і нерозчинній формі (тих, що лишилися у стічних водах після механічної очистки). Однак існують технології, у яких попереднє освітлення стічних вод не здійснюється, тобто на біологічну очистку надходять всі забруднення, що знаходяться у стічних водах.

Біологічна очистка стічних вод полягає у мінералізації (окисленні) органічних забруднень аеробними мікроорганізмами, для яких ці речовини є джерелом живлення. При очистці міських стічних вод використовуються тільки аеробні методи біологічної очистки; при очистці висококонцентрованих виробничих стічних вод можна застосовувати як аеробні, так і анаеробні методи.

Споруди для біологічної очистки стічних вод поділяють на дві групи:

1. Споруди, в яких біологічна очистка стічних вод відбувається в умовах, близьких до природних (природна очистка стічних вод): поля фільтрації,

поля зрошення і біологічні ставки;

2. Споруди, в яких біологічна очистка стічних вод відбувається в штучно створених умовах (штучна біологічна очистка стічних вод): біофільтри, аеротенки, а також комбіновані споруди.

Біологічна очистка стічних вод може бути повною чи неповною. При повній біологічній очистці залишкова БПК_{повн} стічних вод складає 15-20 мг/л. При цьому із міських стічних вод видаляється більше 85% органічних забруднень. При неповній біологічній очистці залишкова БПК стічних вод перевищує 20 мг/л, а концентрації органічних забруднень знижуються на 50-75%.

Традиційні споруди для штучної біологічної очистки стічних вод (аеротенки, біофільтри) у кращому випадку забезпечують зниження БПК_{повн} до 15 мг/л, менших концентрацій досягнути практично неможливо. У таких випадках, коли необхідна БПК_{повн} менша 15 мг/л, стічні води доочищують.

5.3. Фізико-хімічна очистка

Фізико-хімічна очистка може використовуватись, коли у міських стічних водах більше 50% складають виробничі стічні води, а у складі їх забруднюючих речовин багато таких, що не окислюються біохімічним шляхом.

До методів фізико-хімічної очистки стічних вод відносяться: реагент на очистка, сорбція, екстракція, хімічне окислення, електрохімічні методи.

Найчастіше для фізико-хімічної очистки стічних вод застосовують реагентні методи з використанням традиційних коагулянтів $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, $Fe_2(SO_4)_3$, $FeSO_4$, CaO . Можуть використовуватись також синтетичні флокулянти – катіонні, аніонні, неіоногенні, що покращують процеси коагуляції грубо дисперсних і колоїдних домішок стічних вод. В результаті реагентної обробки відбувається коагуляція забруднень, що знаходяться у грубодисперсній і колоїдній формах, і одночасно сорбція на утворюваних

пластівцях частини нерозчинних органічних сполук, а також іонів важких металів, нафтопродуктів, ПАР тощо. Відділення утворюваного осаду здійснюється у відстійниках, освітлювачах із завислим шаром осаду, флотаційних камерах, фільтрах і інших спорудах.

Реагентна обробка не забезпечує зниження БПК до 15-20 мг/л, тобто до рівня повної біологічної очистки, тому після реагентної обробки необхідна доочистка стічних вод, яка полягає у вилученні органічних і інших забруднень, що залишилися у воді. З цією метою найчастіше використовують сорбційні методи. Як сорбент використовується звичайно активоване вугілля. Крім дорогого і дефіцитного активованого вугілля можна використовувати також золу котельних, деякі види глини і відходів виробництва.

Хімічне окислення також використовується для видалення із стічних вод залишкових, переважно органічних забруднень після будь-якої попередньої очистки стічних вод. Використовуються сильні хімічні окислювачі: хлор, озон, перекис водню, перманганат калію. Для фізико-хімічної очистки стічних вод використовуються також електрохімічні методи – електрокоагуляція, електрофлотація, анодне окислення.

Фізико-хімічними методами можна здійснити глибоку очистку стічних вод із зниженням БПК_{повн} до 3 мг/л і менше, з повним видаленням біологічно неокислюваних забруднень, завислих речовин, фосфатів, іонів важких металів, ПАР.

5.4. Знезаражування

Знезаражування використовується для знищення збудників різноманітних захворювань (патогенної мікрофлори), що лишилися в очищених стічних водах. Для знезаражування міських стічних вод найчастіше використовують хлорування з використанням хлору чи хлорного вапна. Можливе використання також озонування, ультрафіолетової, ультразвукової, радіаційної обробки й інших методів.

Останнім часом зросли вимоги до охорони водойм від забруднення, і необхідний ступінь очистки часто перевищує можливості біологічного методу очистки стічних вод. Наприклад, БПК стічних вод, що скидаються у рибогосподарські водойми, в деяких випадках повинна складати 3-6 мг/л. Обмежений скид у водойми також біогенних елементів (азоту, фосфору), оскільки це призводить до евтрофікації водойм – тобто до інтенсивного розвитку водоростей. Доочистка біологічно очищених стічних вод необхідна у багатьох випадках для видалення важкоокислюваних і неокислюваних органічних забруднень, іонів важких металів і інших забруднень, що не видаляються біохімічним шляхом.

Для доочистки біологічно очищених стічних вод використовуються такі основні методи:

1. Фільтрування через сітчасті фільтри (мікрофільтри, барабанні сітки);
2. Фільтрування через зернисті завантаження (пісок, керамзит, антрацит, вугілля, спінений полістирол);
3. Доочистка в біоствах;
4. Фізико-хімічна доочистка, для якої, крім вже згаданих вище методів фізико-хімічної очистки стічних вод, застосовують також методи іонного обміну і гіперфільтрації.

Ефективність різних способів очистки стічних вод наведена в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 Ефективність різних способів очистки стічних вод

Споруди	Зменшення, %		
	БПК _{повн} збовтаних проб	концентрацій завислих речовин	вмісту бактерій
Решітки	5-10	5-20	10-20
Відстійники	25-40	40-70	27-75
Високонавантажувані біофільтри	65-90	65-92	70-90
Краплинні біофільтри	80-95	70-92	90-95
Аеротенки на неповну очистку	50-75	80	70-90
Аеротенки на повну очистку	85-95	85-95	90-98
Поля фільтрації	90-95	85-95	95-98
Хлорування біологічно очищених стічних вод	-	-	98-99

РОЗДІЛ 6

ВИБІР ТЕХНОЛОГІЧНИХ СПОРУД ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД НА БОРТУ КОСМІЧНОГО АПАРАТУ

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.

Кількість речовин, що забруднюють воду, на одного жителя для визначення їх концентрації в побутових стічних водах на борту МКС наведені у таблиці 6.1. Концентрацію забруднювальних речовин визначають виходячи з питомого водовідведення на одного жителя.

Найпростішим, найменш енергоємним і найдешевшим, а тому широко розповсюдженим в технології очистки стічних вод способом виділення завислих речовин із стічних вод на Землі є гравітаційне відстоювання, під час якого завислі частинки осідають на дно споруди або спливають на її поверхню. Відстоювання здійснюють у відстійниках, які відрізняються за призначенням, режимом роботи, напрямком руху рідини і формою.

Робота відстійників полягає у використанні явища осадження (седиментації) частинок зависі під дією сили тяжіння. Осадження частинок може бути вільним чи стисненим.

Проте, відстоювання використаних стічних вод на борту космічного апарату не відбуватиметься, оскільки в умовах космосу відсутня гравітація. Але, її успішно можна замінити на відстійні центрифуги спеціальної конструкції.

Таблиця 6.1. Кількість речовин, що забруднюють воду 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

6.1. Центрифуги

Центрифугування - процес розділення суспензій або емульсій на окремі фази (дисперсну і дисперсійну) в центрифугах.

Центрифуги являють собою машини для фільтрування суспензій або осадження фаз із суспензій і емульсій під дією відцентрових сил. Відцентрові сили в центрифугі виникають внаслідок обертання її ротора. При центрифугуванні дисперсну систему, що розділяється, поміщають, як правило, в порожнистий циліндричний або конічний ротор. Стінки ротора можуть бути суцільними або перфорованими. У роторах з суцільними стінками при їх обертанні відбувається відстоювання суспензії або емульсії, в

роторах з перфорованими стінками - фільтрування суспензії. При обертанні ротора спільно з ним розкручується рідке середовище (емульсія або суспензія), що знаходиться в ній, і на неї діють відцентрові сили. У відстійних центрифугах дія відцентрових сил (за аналогією сили тяжіння) викликає відстоювання, внаслідок якого відбувається витіснення важкої фази на периферію ротора, а легкої - до його центру. У фільтруючих центрифугах дія відцентрових сил викликає перепад тисків на перфорованій стінці барабана фільтрувальної перегородці, за рахунок чого середовище, що розділяється, фільтрується. Таким чином, процеси в центрифугах схожі з процесами у відстійниках і фільтрах. Проте вони протікають з більшою швидкістю, оскільки в центрифугах вдається досягти великих значень рушійних сил. Проте процеси в центрифугах в описі складніше внаслідок великих значень рушійної сили, криволінійних поверхонь рідини, які перетинають при осадженні частинки і т.д.

Центрифугування емульсій у відстійних центрифугах називають сепарацією, а центрифуги для розділення емульсій - сепараторами.

При розділенні суспензій у відстійних центрифугах розрізняють відцентрове освітлення (видалення твердих домішок, що містяться в невеликих кількостях) і відцентрове відстоювання (розділення висококонцентрованих суспензій).

Розділення у фільтруючих центрифугах, називають ще відцентровим фільтруванням. При цьому можуть здійснюватися, як і при фільтруванні, такі стадії як промивання, віджимання і так далі.

Відцентровий чинник розділення для центрифуг $K_{ц}$ може бути виражений через частоту обертання ротора n , c^{-1} , (число оборотів в одиницю часу). Відомо, що окружна швидкість w , м/с, пов'язана з кутовою частотою обертання таким чином:

$$w = 2\pi nR \quad (6.1)$$

Відцентровий чинник розділення для центрифуги обчислюється за залежністю:

$$K_{\text{ц}} = \frac{40n^2R}{g} \approx 4n^2R .$$

З рівняння видно, що відцентровий чинник розділення росте швидше із зростанням частоти обертання ротора n , при збільшенні його діаметру D .

6.1.1. Класифікація центрифуг. Сфери їх застосування.

Центрифуги класифікують:

- за принципом розділення на відстійні і фільтруючі;
- за режимом роботи в часі на ті, що безперервно діють та періодичні;
- за чинником розділення на нормальні ($K_{\text{ц}} < 4000$) і надцентрифуги ($K_{\text{ц}} > 4000$);
- за розташуванням ротора на горизонтальні і вертикальні;
- за способом вивантаження осаду на апарати з механізованим і ручним вивантаження, а вони в свою чергу поділяються на:
 - з ручним вивантаженням осаду (через борт, через днище з розбиранням та без розбирання);
 - з гравітаційним вивантаженням (самовивантажуючі); осад вивантажується під дією власної ваги під час зупинки ротора;
 - із шнековим вивантаженням – за допомогою шнека, який обертається відносно ротора безперервно при безперервній роботі машини;
 - з ножовим вивантаженням; осад вивантажується ножом або скребком спеціального механізму на ходу при повному або зменшеному числі обертів ротора і з одночасним виведенням осаду через бункер, а також пневматичним механічним транспортером;
 - з поршневым вивантаженням осаду товкачем, який здійснює зворотно-

поступальний (пульсуючий) рух уздовж осі ротора при безперервній роботі машини;

- з відцентровим (інерційним) вивантаженням; осад вивантажується під дією відцентрових сил безперервно, при безперервній роботі машини;
 - з вібраційним вивантаженням; осад вивантажується безперервно під дією коливань ротора, що обертається;
 - з гідравлічним вивантаженням; вологий осад і рідка фракція вивантажуються через сопла або отвори ротора при робочій швидкості останнього.
- за розділенням середовища на центрифуги для розділення суспензій і емульсій.

Центрифуги можна також класифікувати за такими конструктивними ознаками як форма ротора (циліндричний, конічний, трубчастий, тарілчастий), виконання пристрою для знімання осаду (з ножовим, шнековим, пульсуючим поршнем, з інерційним вивантаженням осаду). Вивантаження осаду у безперервно діючих центрифугах може здійснюватися як безперервно, так і періодично.

Відстійні центрифуги застосовують для розділення суспензій при помітній різниці щільності рідкої і твердої фаз при виділенні часток розміром менше 100 мкм. При цьому початкова суспензія може містити до 40% об'ємної твердої фази (рис. 6.1.1.1).

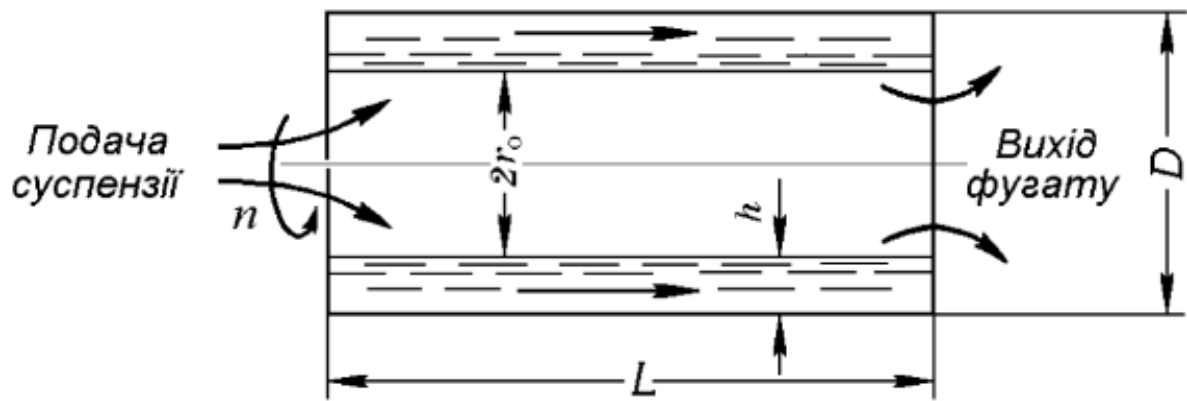


Рисунок 6.1.1.1 Схема роботи відстійної центрифуги

Фільтруючі центрифуги використовують при розділенні суспензій для відділення твердих часток розміром до 10 мм, при об'ємній концентрації твердої фази в початковій суспензії від 1 до 60 %, а також при необхідності отримання осаду невисокої кінцевої вологості або високої чистоти (необхідності його промивання) (рис.6.1.1.2).

Періодичні центрифуги застосовують в малотоннажних виробництвах, при низьких концентраціях твердої фази в початковій суспензії (що як правило не перевищують 3 - 5 % об'ємних).

Нормальні центрифуги застосовують для розділення досить грубих суспензій, нестійких емульсій. Надцентрифуги використовують для розділення тонких суспензій, суспензій з малою різницею щільності твердої і рідкої фаз, а також стійких емульсій.

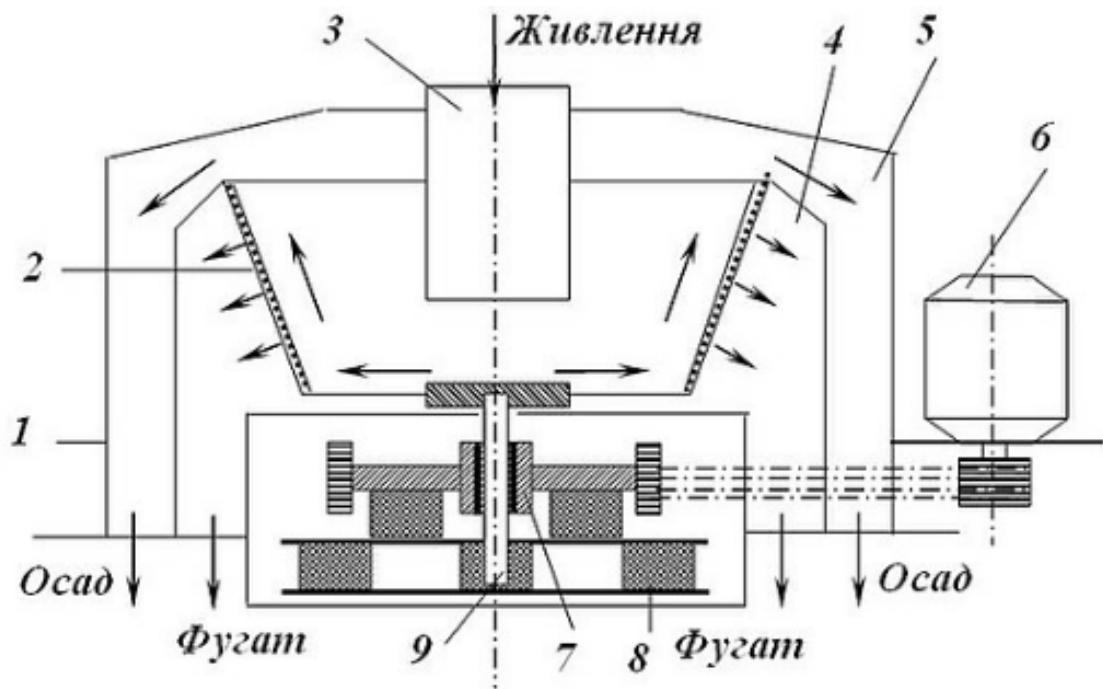


Рисунок 6.1.1.2 Схема фільтруючої центрифуги з інерційним вивантаженням осаду: 1 – корпус, 2 – ротор, 3 – живильний пристрій, 4 – збірник фугату, 5 – збірник осаду, 6 – електродвигун, 7 – шків, 8 – пружинні опори 9 – вал.

Горизонтальні центрифуги переважно є такими, що безперервно діють, оскільки при такому розташуванні ротора простіше організувати безперервне відведення осаду і фугату з їх роторів. З вертикальних центрифуг безперервно діючими є ті, що фільтрують з шнековим зніманням осаду, а також тарілчасті сепаратори і надцентрифуги для розділення емульсій (рисунок 6.1.1.3).

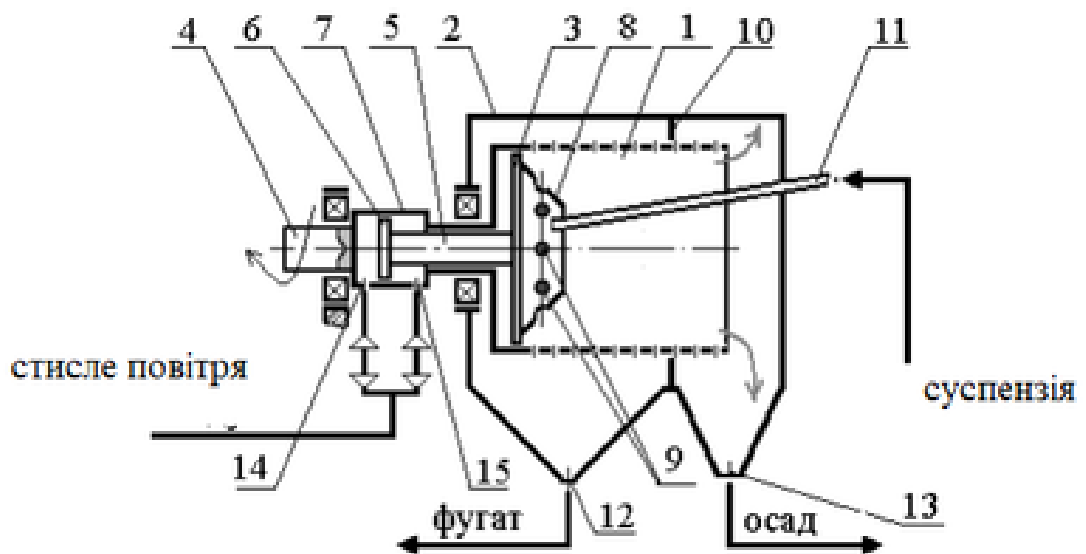


Рисунок 6.1.1.3 Горизонтальна фільтрувальна центрифуга з поршневым вивантаженням осаду: 1 – ротор, 2 – кожух, 3 – поршень, 4 – вал, 5 – шток, 6 – диск, 7 – циліндр, 8 – розподільний конус, 9 – отвір в стінці конуса, 10 – вертикальна перегородка, 11 – труба для підведення суспензії, 12 – штуцер для відводу фугату, 13 – штуцер для відводу осаду, 14 і 15 – отвори для підведення і відведення стисненого повітря.

Відстійні центрифуги забезпечують механізованим вивантаженням осаду при концентраціях твердої фази в них вище 5 % об'ємних, тобто в тих випадках, коли осад накопичується швидко і потрібне його постійне або періодичне (без зупинки ротора) знімання.

6.1.2. Процеси у відстійних центрифугах

При розділенні суспензій у відстійних центрифугах під дією відцентрової сили відбувається спочатку осадження твердих часток на стінці ротора, а потім ущільнення осаду. Перша стадія протікає за законами гідродинаміки, друга ж - за законами механіки пористих середовищ. При

невеликих концентраціях твердої фази в початковій суспензії (приблизно до 4 % об'ємних) в роторі спостерігається вільне осадження часток без утворення чіткої межі розділу між чистою рідиною (фугатом) і суспензією. При підвищених концентраціях твердої фази в роторі утворюється ясно видима їх межа розділу із-за обмеженого осадження.

Процеси в центрифугах і відстійниках істотно розрізняються, оскільки частка, віддаляючись від центру, випробовує дію великих відцентрових сил і внаслідок цього увесь час прискорюється (рух в умовах динамічної рівноваги не спостерігається). Крім того потік часток рухаючись від центру до стінки проходить через збільшуючий поперечний переріз через криволінійну форму поверхонь осадження.

Розподільну здатність відстійних центрифуг характеризують індексом продуктивності Σ . Для ламінарного режиму осадження значення його пропорційно чиннику розділення, оскільки швидкість осадження у такому разі пропорційна відцентровій силі і поверхні осадження :

$$\Sigma = FK_{\text{ц}}$$

де F - поверхня осадження в роторі, м^2 .

Для циліндричного ротора центрифуги з внутрішнім діаметром D , м , (рис.6.1.2.1) приймемо умову, що товщина шару рідини в нім h , м , значно менше діаметру ротора. Тоді індекс продуктивності можна віднести до поверхні середнього шару рідини, що має діаметр $D_{\text{ср}}$, м :

$$D_{\text{ср}} = D - h$$

При цьому поверхність осадження визначається за формулою:

$$F = \pi (D - h) * L$$

де L – довжина ротора, м.

Відцентровий чинник розділення для описуваного випадку обчислюється таким чином:

$$K_{\text{ц}} = 4 n^2 \frac{D - h}{2} = 2 n^2 (D - h)$$

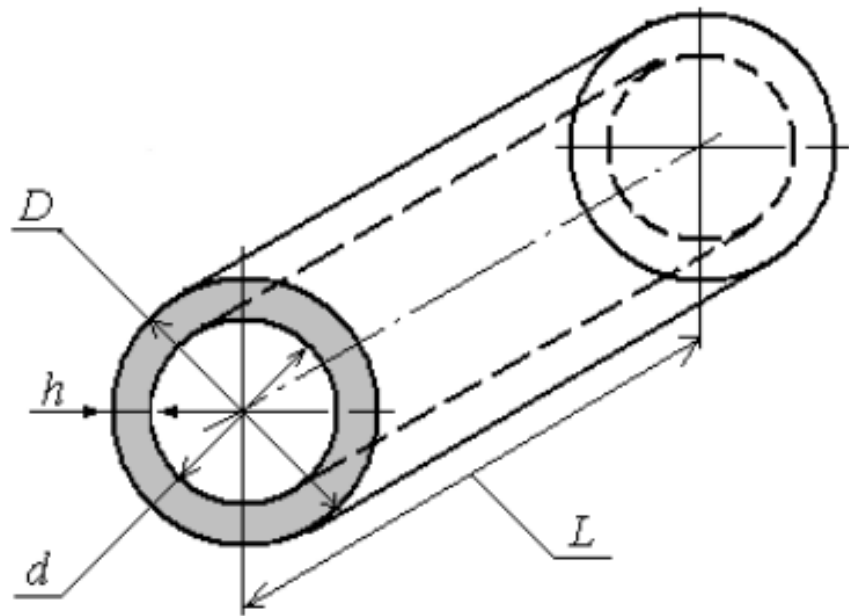


Рисунок 6.1.2.1 Схема ротора центрифуги

У результаті індекс продуктивності центрифуги при ламінарному режимі осадження можна вчислити, використовуючи рівняння:

$$\Sigma = 2\pi n^2 (D - h)^2 L$$

Якщо ж за поверхню осадження прийняти поверхню зливного циліндра, тобто внутрішню поверхню шару рідини в роторі центрифуги діаметром d_0 , то чинник розділення, поверхня осадження і індекс

продуктивності для ламінарного режиму визначають за наступними формулами:

$$K_{\text{ц}} = \frac{4n^2 d_0}{2} = 2n^2 d_0,$$

$$F = \pi d_0 L,$$

$$\Sigma = 2\pi n^2 d_0^2 L.$$

Для перехідної області турбулентного режиму швидкість осаджування пропорційна відцентровій силі в ступені 0,715. Звідси, для перехідної області турбулентного режиму можна прийняти наступне:

$$\Sigma = F * K_{\text{ц}}^{0,715}$$

За аналогією для автономодельної області турбулентного режиму осадження в центрифугі приймаємо:

$$\Sigma = F \cdot K_{\text{ц}}^{0,5}$$

На практиці ж індекс продуктивності дозволяє лише приблизно оцінити збільшення продуктивності центрифуги в порівнянні з відстійником за умови рівності їх поверхонь осадження. У центрифугах в порівнянні з відстійниками завдання за розрахунком продуктивності ще більше ускладнюється при відхиленні форми ротора від циліндричної, із-за дії пристрою для знімання осаду на середовище, що розділяється, зміни швидкості течії фугату по довжині ротора і інших чинників. Тому для інженерних розрахунків продуктивності відстійних центрифуг використовують рівняння, виведені при обробці досвідчених даних. Ці дані

отримують в результаті випробування конкретного типу центрифуги. Наприклад, для центрифуг БОГШ (безперервно діючих осаджувальних горизонтальних з шнековим зніманням осаду) продуктивність по суспензії V , м³/с, може бути розрахована за наступною формулою:

$$V = 3,5 d_0 L (\rho - \rho_{\text{ж}}) \frac{d^2 n^2}{\mu},$$

де ρ і $\rho_{\text{ж}}$ - щільність твердих частин і рідини відповідно, кг/м³;

d – діаметр частинок твердої фази, м;

μ - динамічна в'язкість рідини, Па·с.

Отже, так як на борту космічного апарату відсутня гравітація, використання відстійників є не доцільним способом їх використання в умовах космосу. Але їх успішно можна замінити на центрифуги відстійного типу спеціальної конструкції.

6.2. Реактори

Реактор – це апарат, в якому відбуваються різні процеси, - реакції (біохімічні, хімічні, ядерні, фізико-хімічні та ін.).

Хімічний реактор – це апарат для проведення хімічних реакції при заданих температурах і тисках. Біологічний реактор - це апарат для проведення біохімічних реакцій (процесів) в аеробному або анаеробному середовищі при заданій температурі, тиску, рН і інших чинників за допомогою спеціальних мікроорганізмів.

За методом очищення стічних вод реактори поділяються на:

1. Біологічні ;
2. Фізико-хімічні;
3. Хімічні.

Біологічні реактори у свою чергу класифікуються за такими ознаками:

- за подачею повітря :
 - ✓ аеробні;
 - ✓ анаеробні;
 - ✓ аеробно-анаеробні.
- за іммобілізацією мікроорганізмів в апараті:
 - ✓ з прикріпленими мікроорганізмами на завантаженні;
 - ✓ з плаваючою мікрофлорою:
 - в робочому об'ємі;
 - в робочому шарі.
 - ✓ комбіновані.
- за конструктивними особливостями:
 - ✓ з прикріпленою насадкою;
 - ✓ з насадкою, що обертається;
 - ✓ з псевдозрідженим шаром.
- за конструктивно-технологічними ознаками або комбіновані споруди-реактори:
 - ✓ біофільтри;
 - ✓ біосорбери;
 - ✓ біотенки;
 - ✓ фільтр-біореактор;
 - ✓ флототенки.
- за іншими ознаками:
 - ✓ за видом завантаження (плоскі, об'ємні і ін.);
 - ✓ за формою реактора (конічні, циліндро-конічні, пірамідальні, тороїдальні і ін.)

Фізико-хімічні реактори бувають:

- хімічні (реактори нейтралізації) та ін.
- електрохімічні (плазмохімічні) та ін.
- фізичні (реактор - змішувач) та ін.

Однією з самих передових технологій очищення стічних вод, які динамічно розвиваються, є технологія мембранного біологічного реактора (МБР) (рис.6.2.1). Мембранний біореактор поєднує біологічну обробку активним мулом з механічною мембранною фільтрацією. Забруднені води, після первинного очищення від крупних зважених твердих часток, подаються в біореактор, де аеровані органічні компоненти окислюються активним мулом. Потім водний розчин активного мула проходить через блок мікро- або ультра- фільтрації, який є касетами порожнистих фільтруючих мембран.

Мембранний модуль, занурений всередину біореактора, складається з декількох касет, в кожній з яких розташовуються від 5 до 15 пучків мембранних волокон. Волоконна мембрана являє собою порожнисту нитку зовнішнім діаметром близько 2 мм і завдовжки до 2 м. Поверхня нитки є ультрафільтраційною мембраною з розміром пор 0,03 - 0,1 мкм. Настільки малий розмір пор є фізичним бар'єром для проникнення організмів активного мула, що мають розмір більше 0,5 мкм, що дозволяє повністю відокремити активний мул від стічної води і понизити концентрацію зважених речовин в очищеній воді до 1 мг/л і менше.

Кожен пучок складається з 100-1000 мембранних волокон і обладнаний загальним патрубком відведення відфільтрованої води. Фільтрація відбувається під дією вакууму, що створюється на внутрішній поверхні мембранного волокна самовсмоктуючим насосом фільтрації. Очищена вода поступає по напірних трубопроводах на наступну стадію очищення, а активний мул залишається в мембранному резервуарі і підтримується в зваженому стані за допомогою системи аерації, вбудованої в мембранний модуль. Концентрацією біомаси усередині МБР і конкретно кожного мікроорганізму можна керувати для досягнення ефективності біологічного очищення.

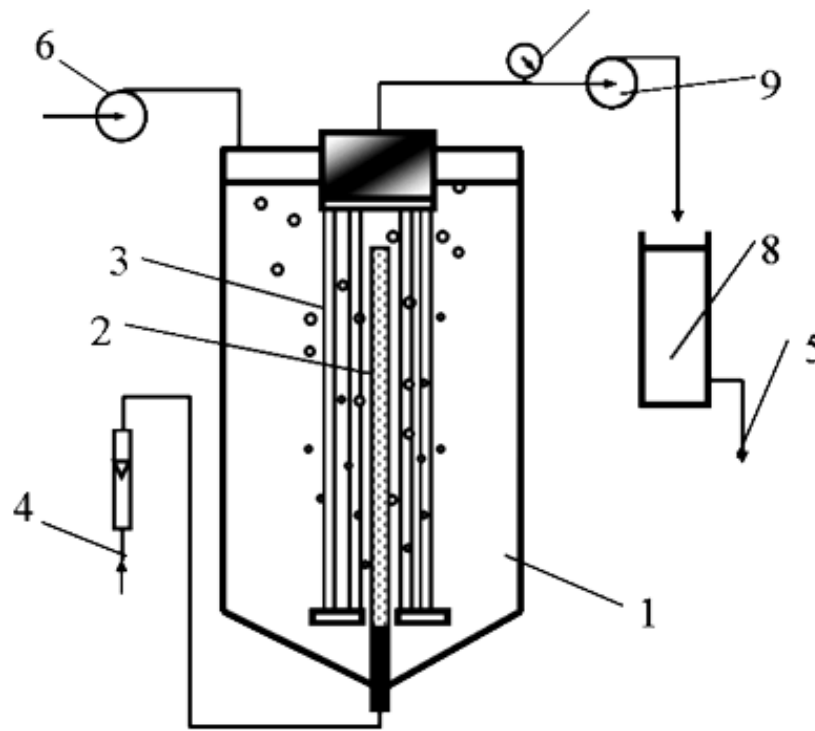


Рисунок 6.2.1 Схема мембранного біореактора: 1 – реактор, 2 – аератор, 3 – поволоконні мембрани, 4 – повітря, 5 – очищена вода, 6,9 – насоси, 7 – манометр, 8 – фільтрат.

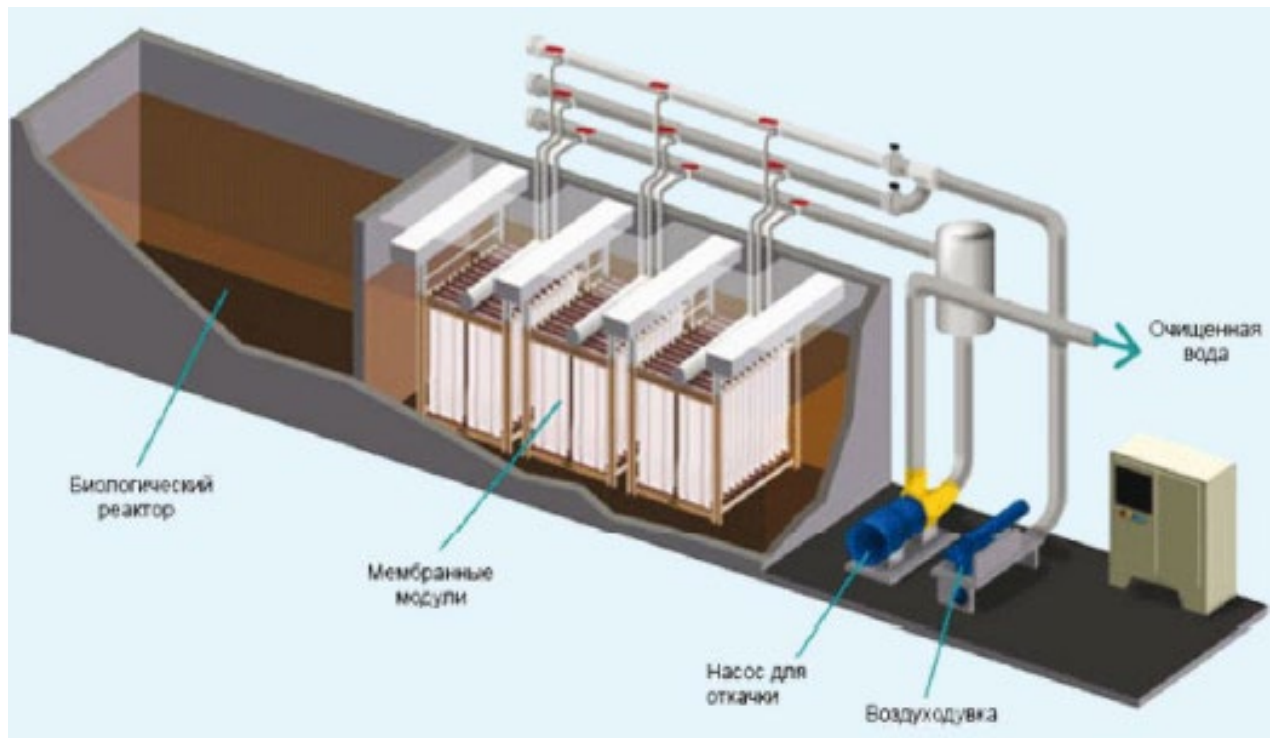
В зарубіжній практиці останніми роками велика увага приділяється альтернативним технологіям для удосконалення традиційних систем біологічного очищення стічних вод з активним мулом – мембранним біореакторам для очищення стічних вод на базі мікро- і ультрафільтраційних мембран.

Залежно від технологічних завдань може використовуватися як на етапі фінішного очищення (до стадії знезараження) так і для передочищення перед нанофільтрацією і зворотним осмосом при необхідності знесолювання очищеної води (рис. 6.2.2).[24]

Застосування мембранних реакторів:

- Очищення стічних вод промислових підприємств
- Очищення стічних вод молокозаводів і маслосирзаводів
- Очищення поверхових стічних вод

- Промислове очищення води текстильного виробництва
- Очищення стічних вод птицефабрик



(https://hydropark.ru/projects/membrane_bioreactor.htm)

Рисунок 6.2.2 – Мембранный біореактор (МБР)

Основні переваги впровадження технологій мембранних реакторів:

- Підвищення ефективності та надійності очисних споруд;
- Підвищення продуктивності очисних засобів для збільшення концентрації активного мулу в аеротенках;
- Створення компактних очисних споруд завдяки заміні вторинного відстоювання та фільтрації на фільтрах різного типу на мембранну доочистку;
- Зниження об'єму надлишкового активного мулу.

Матеріали, які служать для виробництва мембрани, відрізняються своєю фізичною структурою і хімічним складом. В основі класифікації

мембрани покладена фундаментальна властивість – механічне розділення речовин. В МБР використовують мікрофільтрацію та ультрафільтрацію, де застосовуються пористі мембрани. Пористі мембрани представлені двома типами (рис.6.2.3, рис.6.2.4).

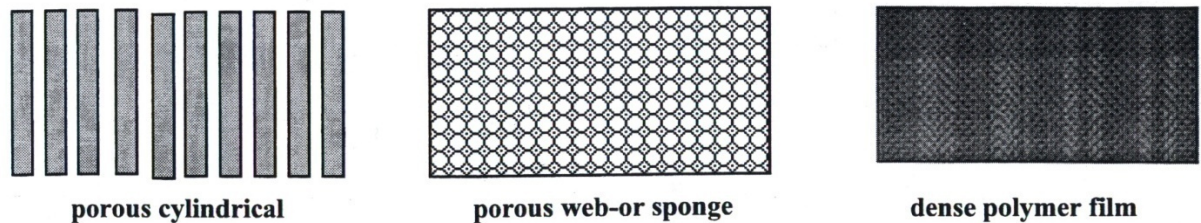


Рисунок 6.2.3 – Симетричні мембрани

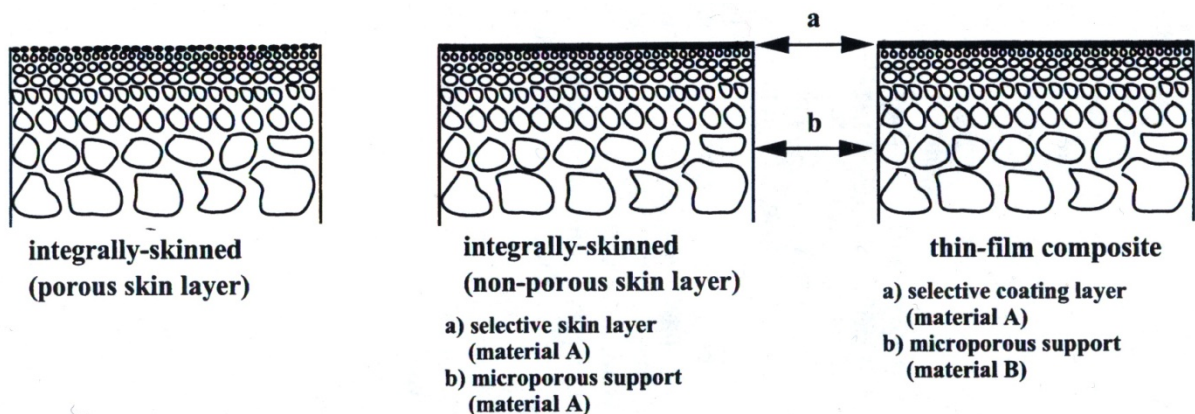


Рисунок 6.2.4 – Асиметричні мембрани

1. Асиметричні мембрани – використовується градієнт зміни розміру пор по товщині, тобто пори у верхньому шарі мають розмір відмінний від розміру пор в нижньому шарі;

2. Симетричні мембрани – пори розташовані рівномірно по всьому об'єму.

Частіше мікрофільтраційні мембрани мають асиметричну структуру з пористим поверхностійким шаром. При виборі мембрани слід враховувати

те, що вона повинна володіти максимальною продуктивністю при селективності, забезпечуючи виконання вимог до якості пермеата (відповідність санітарним нормам або нормам на технічну воду, допустима втрата розчиненої речовини і т.п.). Крім того, мембрана повинна володіти високою хімічною стійкістю по відношенню до розділяючого розчину і реагентам, використаним для розчину осадів, що утворюються в процесі експлуатації на поверхні мембрани з розподільного розчину.

Отже, спорудами для очищення стічних і питних вод на борту космічного апарату можуть бути різні реактори. Їх 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 Міжнародній космічній станції. 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 (ХСК)очищеного стоку. Процес стійкий і до пікових навантажень, і до зміни якості вод, що надходять.

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 пору 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 (рис.6.2.5) [11; 17].

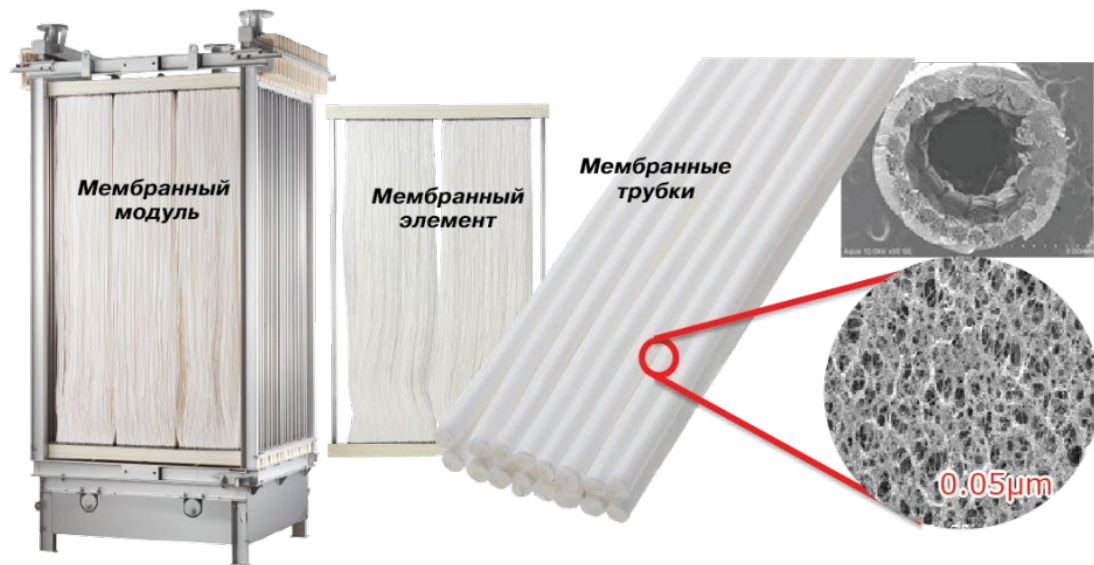


Рисунок 6.2.5 – Мембранный модуль

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 мембранный 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.

6.3. Знезараження води

Ефективне знезараження питної води – один із найважливіших компонентів у забезпеченні санітарно-епідеміологічного благополуччя населення. Обеззараження очищених стічних вод здійснюється для знищення патогенних бактерій та зниження бактеріологічної небезпеки стічної води. При виборі способу знезараження враховуються кількість і якість стічної води, що очищається, вимоги до очищеної води, а також умови постачання та зберігання реагентів, наявність можливості автоматизації процесу.

В даний час запропоновані різні реагентні (хімічні) та безреагентні (фізичні) методи знезараження, тому при гігієнічній оцінці того чи іншого методу слід враховувати як їх ефективність, так і комплекс показників безпеки. Серед реагентних методів найширше застосовуються як засоби знезараження води препарати хлору (газоподібний і рідкий хлор), а також хлорне вапно – гіпохлорит натрію (ГПХН) та кальцію (ГПХК).

Основна характеристика засобів знезараження води – це співвідношення концентрацій діючих речовин, що надходять із водою до споживача, тобто бактеріостатичних, та їх безпечних концентрацій (ГДК).

Саме цей показник не дозволяє розширити сферу застосування багатьох дезінфікуючих засобів для знезараження води.

ГДК є важливим показником при знезараженні стічних вод або скиданні у водні об'єкти. У разі знезараження питних вод та води басейнів такий показник не має значення і доцільніше зіставляти ефективні концентрації з максимальними недіючими концентраціями впливу на організм. Наприклад, діоксид хлору та срібло – найбільш небезпечні речовини при попаданні в організм людини, тому цей критерій служить перешкодою для можливості реєстрації препаратів на основі пероксиду водню та інших засобів, званих у торгівлі «активним киснем», як засоби знезараження води, тому що їх ефективна концентрація становить 30 мг/л, а ГДК встановлена на рівні 0,1 мг/л.

Для умов праці при водопідготовці найбільшу небезпеку становлять газоподібні хлор, діоксид хлору та озон. Небезпека визначається їх токсичністю при інгаляційному впливі, місцевою подразнювальною дією, а також вибухонебезпечністю. Що стосується хлорованих ізоціануратів, то при нанесенні на шкіру у сухому вигляді відносяться до малонебезпечних речовин (4 клас безпеки), а при зволоженні мають місцеву подразнюючу дію на шкіру, слизові оболонки очей, верхніх дихальних шляхів. Такий вплив на організм людини обумовлюється порівняно легкою гідролізною, що супроводжується виділенням вільного хлору. Таким чином, зберігається і небезпека інгаляційного отруєння. Як для хлоровмісних, так і для засобів, що належать до інших хімічних класів, найбільшу небезпеку при водокористуванні має не гостра, а хронічна токсичність, у т. ч. обумовлена наявністю небезпечних домішок (мономірів).

При виборі окислювача необхідно враховувати фактори, що впливають на ефективність очищення, у тому числі здатність окислювачів до реакцій заміщення, внаслідок яких можуть утворюватися токсичні речовини. Особлива увага при хлоруванні стічних вод необхідно приділяти ймовірності утворення та накопичення у воді водойм галогенізованих вуглеводнів,

несприятливі наслідки впливу яких на населення та біоценоз у багато разів вище епідемічної небезпеки мікробного забруднення води. В даний час доведено зв'язок зростання онкологічних захворювань із хлоруванням води, встановлена токсична, канцерогенна дія хлорорганічних сполук на організм людини [11].

З фізичних способів найбільш поширене знезараження стічних вод УФ-випромінювання. Можливе також застосування комбінованих способів знезараження. Підвищення вимог щодо безпеки зберігання та використання хлору дало в останні роки новий поштовх до вдосконалення способів електрохлорування, а також безреагентних та синергетичних способів знезараження (УФ-опромінення та обробка прискореними електронами із застосуванням фотолітичного озону), які характеризуються меншою ймовірністю негативних наслідків в екосистемах водойм - приймачів стічних вод.

Порівняльна характеристика техніко-економічних та екологічних характеристик деяких способів знезараження стічної води наведено у таблиці 6.3.1

Технологія дезінфекції за допомогою ультрафіолетового випромінювання прийнята у всьому світі як надійний і безпечний спосіб знезараження води. Ультрафіолетове знезараження води – сьогодні це один із найефективніших методів дезінфекції, який довів свою високу надійність у процесі дезактивації шкідливих бактерій та мікроорганізмів, які, до всього іншого, сприяють погіршенню смаку води [12].

Таблиця 6.3.1 Особливості різних методів знезараження стічних вод

Спосіб знезара- жування	Тривалість процесу, хв.	Наслі- док, доб	Органо- лептичні якості води	Конструк- тивна складність	Ймовірність сублетальних ушкоджень, імутагенний ефект
Хлорування	30-60	1-5	погіршує	висока при використа- нні рідкого хлору	низька
Озонування	5-30	—	покращує	середня	низька
УФ- знезараження	1-15	—	не впливає	низька	середня
γ- випромінюван ня	1-15	—	не впливає	висока	середня
Випроміню- вання прискореними електронами	1-15	—	не впливає	висока	середня

Очищення води має на увазі широкий спектр технологічних процесів. Перша стадія – очищення води від механічних домішок, піску та іржі. Друга стадія – очищення води від нерозчиненого, а далі від розчиненого заліза та залізобактерій. Третя стадія – очищення води від солей, карбонатної та некарбонатної жорсткості. Четверта стадія, як правило, це – очищення води

шляхом знезараження води ультрафільтраційними системами або шляхом дозації знезаражуючими реагентами з подальшим видаленням осаду шляхом адсорбції на вугільних фільтрах води [5].

Порівнюючи ультрафіолетове знезараження води з іншими популярними методами дезінфекції, такими як озонування, хлорування, то його безумовною перевагою є те, що при такій обробці води не тільки знешкоджуються від усіх шкідливих бактерій, але й утворюються нові мікроби. При хлоруванні на практиці ефективність знезараження у ряді випадків намагаються забезпечити за рахунок збільшення доз хлору до більших значень, ніж потрібно за нормами. Однак і такі заходи найчастіше не забезпечують необхідного ступеня інактивації вірусів та найпростіших, а подача первинного хлору у надмірно великих кількостях є причиною виникнення хлоровмісних органічних сполук, що згубно впливають на здоров'я, як людей, так і тварин.

Метод озонування на відміну хлорування технічно складний й у реалізації необхідно виконання низки послідовних технологічних операцій. Також озон – токсичний газ, тому будь-яке його використання вимагає ретельного контролю техніки безпеки.

Устаткування для усунення шкідливих бактерій із води УФ-способом має досить просту конструкцію. У спеціальних трубках з металу розміщують УФ-лампи, розташовані в міцних і надійних кварцових чохлах. Вони необхідні для того, щоб захистити освітлювальні елементи від попадання води та короткого замикання.

Вода, що очищається, протікає через ультрафіолетовий фільтр і стикається з чохлам з кварцу. Ультрафіолетові промені пронизують воду та знищують патогенні бактерії (рис. 6.3.1).



(<http://vodopodgotovka-vodi.ru/obezzarazhivanie-vody/ustanovka-obezzarazhivaniya-vody>)

Рисунок 6.3.1 – Технологія роботи УФ-установки

Найважливіша частина установки УФ-обробки води – це лампа. Усередині неї відбувається випаровування металу, внаслідок чого утворюються ультрафіолетові промені. Найчастіше як приклад такого металу використовують ртуть.

Відповідно до висоти тиску виділяють три види знезаражувальних ламп:

- високого;
- середнього;
- низького

Для ефективної ліквідації бактерій із води використовують лише лампи із середнім та низьким тиском. Найбільш популярні лампи низького тиску – саме вони дають промені з довжиною хвилі 260 нанометрів, а також менш енерговитратні та дуже довговічні.

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 так як на МКС використання газів (хлору, озону та ін.) для знезараження води становить небезпеку для космонавтів у разі їх витоку, ми рекомендуємо для знезараження стічних і питних вод на МКС саме цю систему з використанням світлодіодних ламп.

Метою даної роботи була розробка технологічної схеми очищення стічних вод на борту космічного апарату (рис. 6.3.2). Враховуючі усі вище розглянуті споруди для очистки стічних вод, доцільно встановлювати осаджувальні центрифуги спеціальної конструкції для відстоювання стічних вод та видалення піску. Для очищення вод від розчинених речовин ми пропонуємо реактори, а точніше, мембранні біореактори нового покоління. Знезараження води необхідно виконувати УФ- світлодіодними лампами.

РОЗДІЛ 7

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД НА БОРТУ КОСМІЧНОГО АППАРАТУ

Для очистки стічних вод на борту космічного апарату пропонується наступна схема (рис. 7.1)

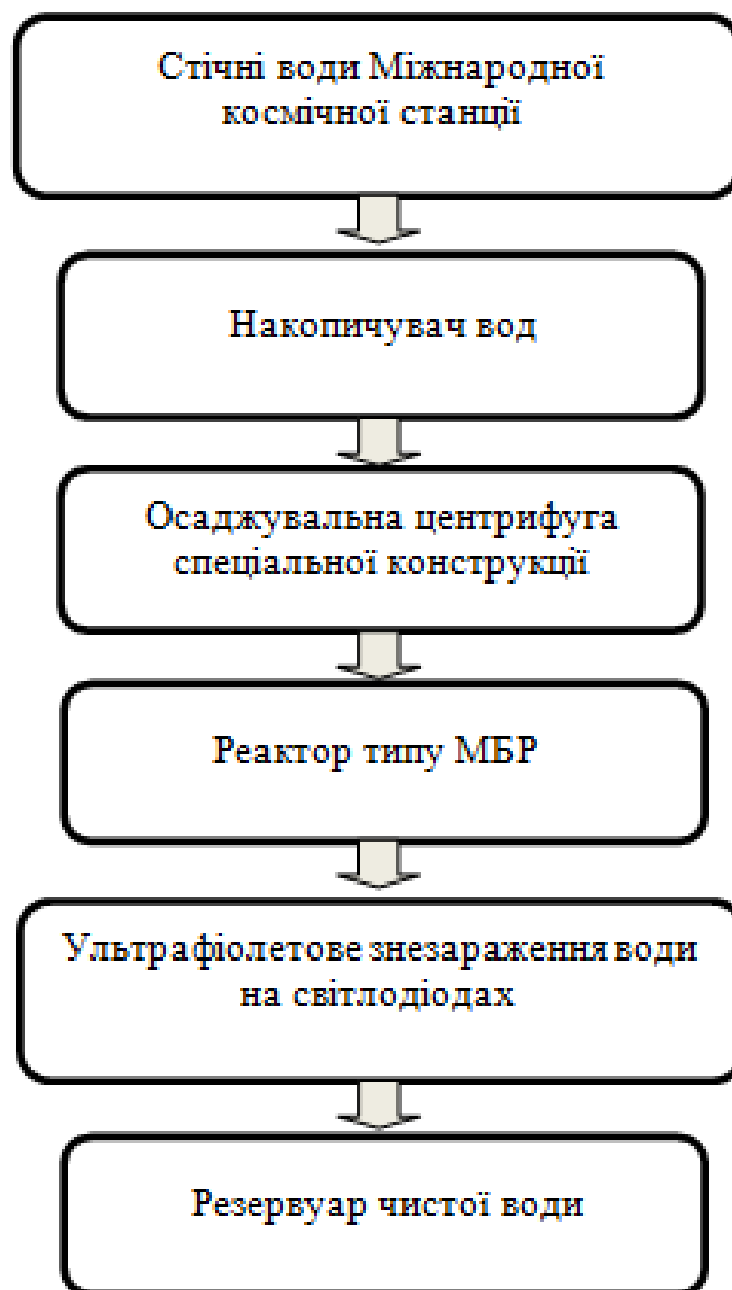


Рисунок 6.3.2 – Технологічна схема очищення стічних вод на борту космічного апарату

Накопичувач стічних вод служить для збору використаної води. Запропонований резервуар для збору стічних вод на борту космічного апарату зображений на рис. 7.1. Його ємність складає 85 літрів. Виготовляє такі баки завод пластикових виробів «LITOLAN».



(<https://litolan.ua/product/tehnicheskaya-yomkost-pryamougolnaya-na-85-litrov/>)

Рисунок 7.1 Резервуар-накопичувач для збору стічних вод

Пластикові накопичувальні резервуари дуже популярні серед споживачів. Місткі ємності для стічних вод широко застосовуються як у виробничій сфері, так і в побуті. У замських будинках, на дачах баки використовуються для накопичення побутових та каналізаційних стоків. Матеріал виготовлення резервуарів – міцний поліетилен, який має такі переваги:

- високий рівень міцності при невеликій масі;
- хімічна нейтральність;
- виражений антистатичний ефект;
- резистентність до корозії, УФ-променів, біологічних середовищ.

Для відстоювання стічних вод на борту космічного апарату пропонується використовувати осаджувальну центрифугу. Вона слугує для розподілу гідросумішей на тверду та рідку фази під дією відцентрових сил. Конструктивно являє собою центрифугу з горизонтальним суцільним ротором, на внутрішні стінки якого випадає осад з суспензії при її згущенні у відцентровому полі. Осад вивантажується примусово за допомогою шнекового пристрою. Центрифуги осаджувальні шнекові застосовуються для зневоднення тонких незбагачених шламів, флотаційних концентратів і, в окремих випадках, відходів флотації. Запропонована центрифуга типу: центрифуга осаджуюча, з горизонтально розташованим ротором, зі шнековим вивантаженням осаду зображена на рис. 7.2.

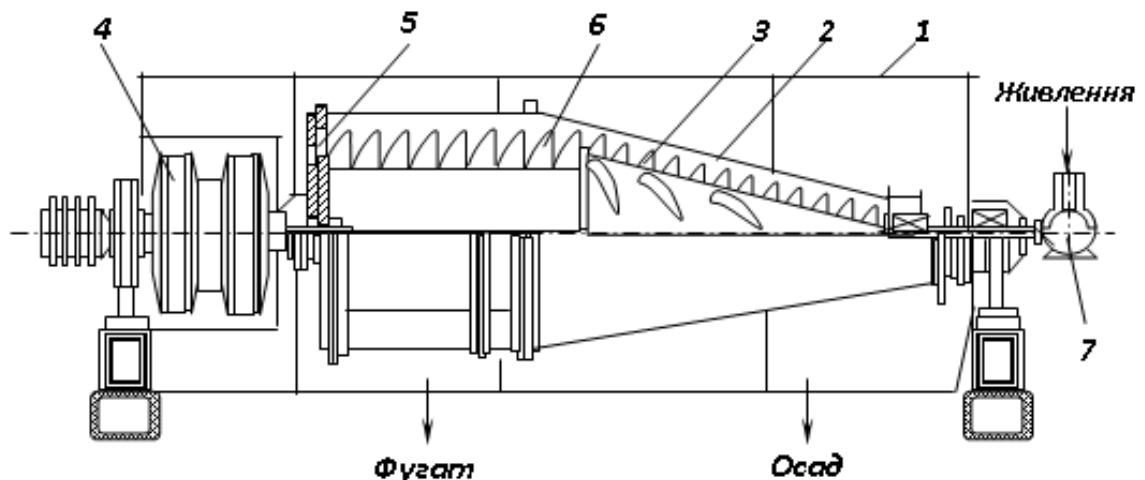


Рисунок 7.2 Осаджувальна шнекова центрифуга типу ОГШ: 1 – корпус, 2 – ротор, 3 – шнек, 4 – планетарний редуктор, 5 – зливні вікна, 6 – спіраль, 7 – завантажувальний пристрій.

Для повної біологічної очистки стічних вод на борту космічного апарату пропонується використовувати мембранні біореактори нового покоління (рис. 7.3).



(https://www.alibaba.com/product-detail/Sewage-Treatment-Plant-MBR-Membrane-Bioreactor_60044850142.html)

Рисунок 7.3 Мембранний біологічний реактор

Мембранний біореактор - це висока ефективність очищення стічних вод; технологія, яка поєднує в собі біологічний процес та мембранну фільтрацію. Має компактні розміри і простоту в обслуговуванні.

Переваги технології мембранних біореакторів:

- простота та компактність конструкції;
- невисока вартість технологічного процесу;
- постійне вдосконалення мембранної технології та установок.

Ультрафіолетове знезараження води світлодіодними лампами слугує для повної дезінфекції води перед використанням її для певних цілей. Ультрафіолетове знезараження води – один з найбільш популярних та практичних методів для очищення від бактерій, вірусів та патогенних мікроорганізмів. Запропонована установка зображена на рис.7.4.



(<http://www.softwave.com.ua/baktericidna-obrobka-vodi-ultraf%D1%96oletov%D1%96-lampi/>)

Рисунок 7.4 Ультрафіолетова світлодіодна лампа

Стандартна УФ лампа складається з корпусу із нержавіючої сталі (камери знезараження) і пускового блоку. В корпус УФ лампи герметично встановлена кварцова трубка, через яку транспортується під тиском вода. Ультрафіолетовий бактерицидний випромінювач встановлений в кварцову трубку, не має контакту з водою і легко замінюється.

7.1. Розрахунок центрифуги.

Вихідні дані:

- добова витрата води на одну людину – 2,7 л;

- діаметр барабана, $D = 320$ мм;
- відношення $L/D = 1,6$;
- максимальна частота обороту ротора, $1/\text{с} = 58,3$;
- фактор розподілу $Fr = 2200$;
- розрахункова продуктивність за твердою фазою, $G_T = 500$ кг/год

Продуктивність відстійної центрифуги за суспензією, що подається V_c ($\text{м}^3/\text{с}$) розраховується за рівнянням:

$$V_c = \pi D_{\text{cp}} l \omega_0 Fr_{\text{cp}} \eta_{\text{з}}$$

де: D_{cp} – середній діаметр потоку рідини в барабані центрифуги, м;

l – довжина шляху осадження, м;

Fr_{cp} – фактор розподілу, розрахований за середнім діаметром;

$\eta_{\text{з}}$ – коефіцієнт ефективності розподілу, ($\eta_{\text{з}} = 0,2 \div 0,25$ – для центрифуг безперервної дії типу ОГШ);

ω_0 – швидкість вільного гравітаційного осаду твердих частинок з розміром, рівним заданій крупності розподілу δ_k .

Середній діаметр потоку рідини в барабані центрифуги визначають із виразу:

$$D_{\text{cp}} = (D_{\text{в}} + D_{\text{г}})/2$$

де: $D_{\text{в}}$ – внутрішній діаметр барабана центрифуги, м;

$D_{\text{г}}$ – діаметр зливу рідини, м.

$$D_{\text{cp}} = (280 + 90)/2 = 185$$

Для центрифуг типу ОГШ, які мають циліндро-конічний барабан, за

довжину шляху осадження приймають довжину циліндричної частини барабана: $l = L_{ц.} = 1,6$ м.

Фактор розподілу, відповідний середньому діаметру, визначається залежністю:

$$Fr_{cp} = \frac{\omega^2 D_{cp}}{2g} = \frac{2\pi^2 n^2 D_{cp}}{g},$$

де: n – частота обертоту ротора центрифуги, c^{-1} .

$$Fr_{cp} = \frac{2 * 3,14^2 * 58,3^2 * 185}{9,81} = 68,3$$

$$V_c = 3,14 * 185 * 1,6 * 68,3 * 0,25 = 15,87 \text{ м}^3/\text{с}$$

Кінцевим етапом розрахунку центрифуги типу ОГШ є перевірка її пропускної здатності по осаду. Максимальна пропускна спроможність за твердою фазою $G_{T \max} = 500$ кг/год.

Продуктивність осаджуючої центрифуги за твердою фазою рівна:

$$G_T = V_c \rho_c x_m$$

де: V_c – розрахункова продуктивність центрифуги за суспензією, $V_c = 15,87 \text{ м}^3/\text{с}$; x_m – масова концентрація твердої фази, долі; ρ_c – густина суспензії, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Густина суспензії визначається за формулою:

$$\rho_c = \frac{\rho_T \rho_{ж}}{\rho_T - (\rho_T - \rho_{ж}) x_m}$$

$$\rho_c = \frac{997}{54} = 18,46$$

$$G_T = 15,87 * 18,46 * 1,43 = 418,9 \text{ кг/год}$$

Робоча продуктивність за твердою фазою в залежності від її густини повинна лежати в нормах:

$$G_{T.P.} = (0,5 \div 0,8) G_{T \max} .$$

$$G_{T.P.} = 0,8 * 500 = 400 \text{ кг/год.}$$

7.2. Розрахунок біологічного реактора.

Визначення часу виробничого циклу τ , яке дорівнює часу проведення масо обмінного процесу:

$$\tau = \frac{\rho * r}{2K_c * \Delta C}$$

де: K_c – коефіцієнт масо переносу, м/с;

r – діаметр частинки, м;

ρ – густина частинки, кг/м³;

ΔC – різниця концентрацій при масо переносі.

$$\tau = \frac{1,43 * 1,5}{2 * 3,4 * 0,8} = 0,39$$

Визначення об'єму реактора для ємності посудів та довжини для трубчастих реакторів:

$$V = \frac{G * t}{\rho * \varphi * n}$$

$$L = \omega * \tau$$

де: τ – час одного циклу, с;

G – масова продуктивність, кг/с;

φ – коефіцієнт заповнення реактора;

ρ – густина реакційної сумішші, кг/м³;

n – число реакторів;

ω – швидкість реакційної сумішші, м/с.

$$V = \frac{257 * 1,2}{1,43 * 5,6 * 3,7} = 10,4 \text{ м}^3$$

Визначення тиску, необхідне для подачі газу в реактор:

$$P = 1,2 * H * \rho * g + P_{\text{атм}}$$

де: H – висота шару рідини в реакторі, м;

ρ – густина рідини, кг/м³;

$P_{\text{атм}}$ – атмосферний тиск

$$P = 1,2 * 3,4 * 997 + 760 = 4827$$

Коефіцієнт витрати газу враховуючи тип мембранного біореактору: 25.

Визначення витрати газу:

$$V = K * F * P$$

де: K – коефіцієнт витрати газу, м;

F – площа перерізу реактора;

P – тиск газу в атмосфері.

$$V = 23,5 * 3,7 * 760 = 66\,082 \text{ м}^3.$$

7.3. Розрахунок кошториса запропонованої технологічної схеми.

1. Резервуар для збирання стічних вод – 350 грн.
2. Центрифуга осаджувальна шнекова – 5000 грн (робоча) + 3000 грн (резервна).
3. Мембранний біологічний реактор – 25 000 грн.
4. Ультрафіолетова світлодіодна лампа – 2550 грн.
5. Резервуар чистої води – 300 грн.

Таким чином, загальний кошторис обладнання для очистки стічних вод на борту космічного апарату складає:

$$K = 350 + 5000 + 3000 + 25000 + 2550 + 300 = 36\,200 \text{ грн}$$

Висновки

1. Здійснено аналіз сучасних засобів що використовуються для очистки стічних вод в умовах космосу.
2. Розроблено технологічну схему очистки стічних вод на борту космічного апарату.
3. Особливістю розробленої технологічної схеми є її компактність та використання типових пристроїв очистки.
4. Здійснено розрахунок центрифуги та МБР.
5. Визначена вартість обладнання для очистки стічних вод на борту космічного апарату.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Айрапетян Т. С., Телима С. В., Олійник О. Я Моделювання кисневого режиму в біореакторах-аеротенках при очистці стічних вод від органічних забруднень. Доповіді НАН України. 2017. № 6. С. 21–27.
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. Водовідведення і очищення стічних вод міста : навчальний посібник / [С. М. Епоян, Г. М. Смірнова, І. В. Корінько, С. П. Пашкова, В. Ю. Сорокіна, Г. Вевелер]. Харків : Вид. група «РА Каравела», 2003. 144 с. 24.
5. Водоотведение и очистка сточных вод : учебник для вузов / [С. В. Яковлев, Я. А. Карелин, Ю. М. Ласков, В. И. Калицун]. Москва : Стройиздат, 1996. 591 с. 25.
6. Водопостачання та очистка природних вод : навчальний посібник / С. М. Епоян, В. Д. Колотило, О. Г. Друшляк, Г. І. Сухоруков, Т. С. Айрапетян. Харків : Фактор, 2010. 192 с.
7. ДБН В.2.5-75-2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2013. 128 с.
8. 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>
9. Долина Л. Ф., Нагорна О.К., Ждан Ю. О., Долина Д. А. Технологія очищення стічних вод в умовах космосу // Український журнал будівництва та архітектури, 2021. № 3 (003). С. 76-84. DOI: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.010721.76.769>
10. Долина Л.Ф., Машихина П.Б. Осадки сточных и питьевых вод: Проблемы их решения. – Днепропетровск: «Континент», 2007. – 212 с.

11. Долина Л. Ф. Проблемы сокращения и утилизации осадков сточных вод // Проблемы природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки регіонів. Матеріали 4 — ї Міжнародної наук. - практ. Конференції., м. Дніпропетровськ. Україна, 02 — 05 жовтня 2007р. - Д., 2007. - 300с.
12. Долина Л. Ф. Реакторы для очистки сточных вод : учеб. пособ. ДГ ТУЖТ: Стандарт, 2001. 82 с.
13. Долина Л. Ф. Современная техника и технология для очистки сточных вод от солей тяжёлых металлов: монография. Днепропетровск : Континент, 2008. 254 с.
14. Долина Л. Ф. Новые методы и оборудования для обеззараживания сточных и природных вод : монография. Днепропетровск : Континент, 2003. 218 с.
15. Долина Л. Ф. Гулько Е. Ю, Машихина П. Б повышение энергоэффективности станций очистки сточных вод // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы 73 — й Международной научн. - практ. Конференции (Днепропетровск, 23 — 24 мая 2013г) — Д.: ДИИТ, 2013 — 360с 15.
16. Долина Л. Ф., Машихина П. Б. Комплекс энергосберегающих технологий на станциях очистки сточных вод //. Энергосбережение на железнодорожном транспорте: Материалы II Международной научно — практической конференции. (Ждениево, 31 мая — 03 июня 2011г) — Д.: ДНУЖТ, 2011. - 65с
17. Долина Л.Ф., Данько Т.Т., Данько Е.А. Еколого — економічні аспекти обробки і використання осадків сточних вод // Екологія і природокористування: Збірник наукових праць Інституту проблем природокористування та екології НАН України. Випуск 6. - Дніпропетровськ, 2003- с. 134- 138
18. Калищун В.И. Основы водоснабжения и канализации. — М.: Стройиздат, 1977. — 206 с.
19. Кульский Л.А. Основы химии и технологии воды. - К.: Наукова думка, 1991.- 348 с.

20. Канализация / С.В. Яковлев, Я.Л. Карелии, А.И. Жуков, С.К. Колобанов. – [5-е изд., перераб, и доп.]. – М.: Стройиздат, 1975. – 632 с.
21. Карелин Я.А., Жуков Д.Д., Журов В.Н., Репин Б.Н. Очистка производственных сточных вод в аэротенках. М., Стройиздат, 1973, 223с.
22. Ласков Ю.М., Воронов Ю.В., Калицун В.И. Примеры расчета канализационных сооружений. – М.: Стройиздат, 1987. – 275 с.
23. Міжнародна космічна станція (МКС). Все про космос. URL : <https://aboutspacejournal.net>
24. Монография: Новые физико- химические способы утилизации промышленных отходов нефтеперерабатывающих, деревообрабатывающих и металлургических производств. /А. А. Пошаян, А. В. Нестеров, С. В. Лукашов, О. С. Винникова; Под ред. А. А. Пашаяна.- Брянск: ООО «Полиграм- Плюс,» 2010.- 240с
25. Миронов М.А., Методы расчёта оборудования биотехнологических производств : [учеб.-метод. пособие] / М. А. Миронов, М. И. Токарева ; [науч. ред. М. Н. Иванцова]; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. — 47 с.
26. Сальников Н. А. Исследование очистки санитарно-гигиенической воды в замкнутой системе водо- обеспечения летательных аппаратов. Научный вестник МГТУ ГА. 2016. Т. 19, № 3. С. 157–165.
27. Синяк Ю. Е. Актовая речь. Системы жизнеобеспечения обитаемых космических объектов. Москва : ИБМП РАН, 2008. С. 3–28.
28. Современные технологии очистки воды / [В. В. Гончарук, Д. Д. Кучерук, А. О. Самсони-Тодоров, В. Ф. Скубченко]. Наука та інновації. 2006. Т. 2, № 5. С. 66–77.
29. Швецов В.Н., Морозова К.М., Нечаев И.А., Киристаев А.В. Теоретические и технологические аспекты применения биомембранных технологий глубокой очистки сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника №12, 2006 С. 25
30. Швецов В. Н., Морозова К.М., Киристаев А.В. Биомембранные технологии для очистки сточных вод // Экология производства. – 2006. – №5

31. Эпоян С. М., Душкин С. С. Технологические схемы очистки воды, условия их применения. Науковий вісник будівництва. 2012. Вип. 69. С. 327–331.
32. 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>
33. 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)
34. 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>