

*М.Г.ЗИНЧЕНКО, О.С. ГЕТТА*

### **ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД МЕТОДОМ ВЕРМІФІЛЬТРАЦІЇ**

Проблема охорони водних джерел та доступу до питної води є важливим пріоритетом усієї світової спільноти. Скидання неочищених або недостатньо очищених стічних вод у відкриті водоймища призводить до порушення в них екологічної рівноваги, повної загибелі аеробних організмів та розвитку процесів гниття. Тому забезпечення ефективного очищення стічних вод від забруднень є актуальним завданням.

Серед застосовуваних нині систем очищення стічних вод чи не найважливіше місце займають біологічні методи. Однак проблемою цих методів є підвищене техногенне навантаження на навколишнє середовище за рахунок досить великих об'ємів надлишкового активного мулу, що веде до необхідності застосування обладнання з його переробки та зберігання і не дозволяє створити замкнутий технологічний цикл очищення стічних вод.

Нова технологія біологічного очищення стічних вод за допомогою верміфільтрації, тобто з використанням дощових черв'яків, позбавлена всіх вище зазначених недоліків і може бути використана для очищення побутових і промислових стічних вод. Технологія заснована на здатності дощових черв'яків працювати, як «біофільтри». Вони поглинають органічні та неорганічні політанти зі стічних вод, перетравлюють їх і виділяють у вигляді своїх екскрементів (копролітів) у навколишнє середовище. При такій переробці відбувається очищення, дезінфекція, детоксикація стічних вод, а також трансформація органічних та неорганічних компонентів в орґано-мінеральне добриво - вермикомпост та біомасу дощових черв'яків, яка може служити сировиною для кормової та фармацевтичної промисловості.

**Ключові слова:** стічні води, очищення, верміфільтрація, дощові черв'яки, вермикомпост

*М.Г.ЗИНЧЕНКО, О.С. ГЕТТА*

### **ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД МЕТОДОМ ВЕРМИФИЛЬТРАЦИИ**

Проблема охраны водных источников и доступа к питьевой воде является важным приоритетом всего мирового сообщества. Сброс неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод в открытые водоемы приводит к нарушению в них экологического равновесия, полной гибели аэробных организмов и развитию процессов гниения. Поэтому обеспечение эффективной очистки сточных вод от загрязнений является актуальной задачей.

Среди применяемых ныне систем очистки сточных вод едва ли не самое важное место занимают биологические методы. Однако проблемой этих методов является повышенная техногенная нагрузка на окружающую среду за счет достаточно больших объемов избыточного активного ила, что ведет к необходимости применения оборудования для его переработки и хранения и не позволяет создать замкнутый технологический цикл очистки сточных вод.

Новая технология биологической очистки сточных вод посредством вермифильтрации, то есть с использованием дождевых червей, лишена всех выше указанных недостатков и может быть использована для очистки бытовых и промышленных сточных вод. Технология основана на способности дождевых червей работать как «биофильтры». Они поглощают органические и неорганические полиутанты из сточных вод, переваривают их и выделяют в виде своих экскрементов (копролитов) в окружающую среду. При такой переработке происходит очистка, дезинфекция, детоксикация сточных вод, а также трансформация органических и неорганических компонентов в орґано-мінеральное удобрение - вермикомпост и биомасу дождевых червей, которая может служить сырьем для кормовой и фармацевтической промышленности.

**Ключевые слова:** сточные воды, очистка, вермифильтрация, дождевые черви, вермикомпост

*M. G. ZINCHENKO, O. S. GETTA*

### **TECHNOLOGY WASTEWATER TREATMENT USING METHOD OF THE VERMIFILTRATION**

The problem of water sources protection and access to drinking water is an important priority for the entire world community. The discharge of untreated or insufficiently treated wastewater into open water bodies leads to a violation of their ecological balance, the complete death of aerobic organisms and the development of decay processes. Therefore, ensuring effective wastewater purification from pollution is a task of current interest.

Perhaps, among the systems currently used for wastewater treatment, biological methods occupy the most important place. However, the issue of such methods is the increased technogenic load on the environment due to sufficiently large volumes of excess activated sludge, which leads to the necessity of using equipment for its processing and storage and does not allow the creation of a closed technological cycle for wastewater treatment.

The new technology of biological wastewater treatment through vermifiltration, that is, with the use of earthworms, is devoid of all the above disadvantages and can be used to treat domestic and industrial wastewater. The technology is based on the ability of earthworms to work as "biofilters". They absorb organic and inorganic pollutants from wastewater, digest them and release them as their excrement (coprolites) into the environment. With such processing of wastewater, takes place the cleaning, disinfection, detoxication of the water, as well as the transformation of organic and inorganic components into an organo-mineral fertilizer - vermicompost and earthworm biomass, which can serve as a raw material for the feed and pharmaceutical industries

**Keywords:** wastewater, treatment, vermifiltration, earthworms, vermicompost

**Вступ.** Актуальною проблемою XXI століття є очищення стічних вод, вирішення якої має велике практичне значення для будь-якої країни світу. У зв'язку з цим виникає насущна потреба у розробці недорогих, ефективних та екологічно безпечних методів очищення стічних вод з можливістю їх повторного використання. Серед застосовуваних нині способів очищення стічних вод найбільш поширені біологічні методи. Основною проблемою цих методів є підвищене техногенне навантаження на навколишнє середовище за рахунок осадів стічних вод, що утворюються і вимагають переробки та зберігання.

Технологія верміфільтрації є новим біологічним методом очищення стічних вод, в якому вдало поєднуються два процеси: біофільтрація та вермікомпостування, тобто спільне використання аеробних мікроорганізмів у складі біофільтру та дощових черв'яків у складі верміфільтру.

Відомі пристрої для біофільтрації (крапельні та дискові біофільтри) є енергетично витратними, дорогими в установці та обслуговуванні. Основним недоліком технології біофільтрації при очищенні стічних вод є замулювання системи, яке призводить до зменшення питомої площі поверхні біофільтра та зниження ступеня очищення стічних вод. Доповнення системи біофільтра верхнім фільтруючим шаром, що містить популяцію дощових черв'яків (верміфільтр), усуває цей недолік. Дощові черв'яки здатні працювати як «біофільтри», тому що вони поглинають органічні та неорганічні речовини зі стічних вод, у тому числі й мулисту фракцію, перетравлюють їх та виділяють у вигляді своїх екскрементів (копролітів) у верхній шар системи. Копроліти дощових черв'яків являють собою гранули, які володіють водоміцністю, тобто, стійкістю до розмивання водою, тому верхній шар верміфільтраційної установки не замулюється, має хорошу фільтруючу здатність і може працювати тривалий час. Стічна вода далі проходить нижні фільтруючі шари біофільтра, покриті біоплівкою з аеробних мікроорганізмів, і очищається. При цьому утворюються корисні кінцеві продукти: вермікомпост (органічне гумусне добриво); біомаса дощових черв'яків (сировина для кормової та фармацевтичної промисловості); очищена вода, яка може повторно використовуватися для іригації та інших технічних цілей [1-3].

**Основи технології.** Вперше Hartenstein із співробітниками у 1984 році показали, що компостний черв'як *Eisenia fetida* та африканський нічний виповзок *Eudrillus eugeniae* можуть успішно використовуватися у складі краплинних біофільтрів, що суттєво покращує ефективність їх роботи при очищенні стічних вод. [4]. Технологія верміфільтрації була розроблена професором Хосе Тоха (Jose Toha) у 1992 році в Чилі. В останні роки вона широко впроваджується в практику очищення стічних вод в основному в країнах з теплим кліматом: Чилі, США, Індії, Китаї, Мексиці, Австралії, Бразилії та Венесуелі,

а в європейських країнах – лише у Франції та Португалії [5].

Технологія вдало поєднує у собі два біологічних аеробних процеси: вермікомпостування та біофільтрації, і тому її можна назвати точніше – вермібіофільтрація. Субстрат верміфільтра має велику питому поверхню - до 800 м<sup>2</sup>/г, пористість досягає 60%. Розчинені органічні речовини, колоїди та зважені тверді частинки стічних вод проникають у верхній шар верміфільтра, поглинаються та переробляються за допомогою дощових черв'яків, а також ґрунтовими мікроорганізмами, іммобілізованими на частинках субстрату верміфільтра. Пересуваючись по субстрату черв'яки його розривають, утворюють проходи, заповнені повітрям. У аеробному середовищі, що утворюється, пригнічується діяльність анаеробних мікробів, що викликають процеси гниття, тому процес верміфільтрації не супроводжується виділенням смердючих газів, що також є важливою перевагою технології верміфільтрації [6].

У зоні верміфільтра відбуваються ті ж природні процеси, що й у живому ґрунтовому шарі, рясно населеному дощовими черв'яками та аеробними мікроорганізмами. Гумінові речовини та лігніни, що містяться у вермікомпості, адсорбують і пов'язують важкі метали, тим самим суттєво знижуючи їх токсичність. Життєдіяльність дощових черв'яків сприяє поглинанню зі стічних вод мулистої та глинистої фракцій, виділяючи їх у складі гранульованих копролітів, що збільшує «гідравлічну провідність» усієї системи.

**Системи верміфільтрації** для очищення стічних вод не потребують складного та дорогого обладнання. Сама установка може бути емністю, в якій основний об'єм займає біофільтр, на поверхні засипного матеріалу якого розвивається біологічна плівка, утворена колоніями мікроорганізмів. Як засипний матеріал можуть використовуватися деревна стружка, тирса і подрібнена кора дерев, великий пісок, щебінь, гравій, а також пористі матеріали (шлак, пемза) щільністю 500-1500 кг/м<sup>3</sup> і пористістю 40-50%. Над біофільтром на сітці міститься шар садової землі (вермікомпост), в якому мешкають дощові або компостні черв'яки (верміфільтр). Реактор виготовляють із міцного матеріалу, зазвичай з бетону чи пластику (рис.)

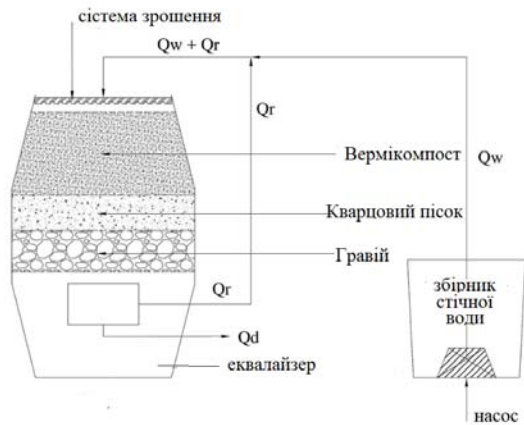


Рисунок – Верміфільтр

$Q_w$  – вихідний потік стічних вод;  $Q_r$  - зворотний потік води на додаткову очистку;  $Q_d$  – очищена вода

Перед подачею в установку стічні води проходять через сито для видалення твердої фракції, потім надходять у накопичувальну ємність, з якої з певною швидкістю подаються через форсунки на поверхню верміфільтра. Стічні води проникають через шар вермікомпосту, потім через засипку біофільтра і, нарешті, очищена вода збирається на дні пристрою і видаляється з установки. Для забезпечення високого ступеня очищення може бути передбачений рецикл стічної води для повторного очищення. За рахунок збільшення циклів обробки у верміфільтрі може бути досягнута будь-яка ступінь очищення стічної води. Досвід експлуатації системи верміфільтрації у складі установки очищення муніципальних стічних вод м. Окслі (Австралія) показав суттєве зниження забрудненості стічних вод по БПК<sub>5</sub> (90%), ГПК (80-90%), концентрації розчинених речовин (90-92%), зважених речовин (90-95%) [6].

Такі системи верміфільтрації можна встановлювати безпосередньо на станціях очищення стічних вод або на підприємствах на місці утворення стічних вод [12]

#### Параметри ефективності систем верміфільтрації

На ефективність обробки стічних вод за технологією верміфільтрації впливають біологічні параметри (види та кількість черв'яків, склад фільтруючого середовища) та гідравлічні параметри (час гідравлічного утримування, гідравлічне навантаження) [13].

**Види черв'яків.** Найчастіше в установках верміфільтрації використовуються такі види черв'яків, як *Eisenia fetida*, *Eisenia andrei* та *Perionyx excavatus*. Найбільш поширені компостні черви виду *E. fetida*, проте черв'яки виду *P. excavatus* мають більш високу швидкість розмноження і виробляють більше копроліту [14].

**Чисельність та щільність популяції черв'яків.** а також їхня активність є важливими параметрами

верміфільтрації. Вважається, що чисельність у 8–10 тисяч дорослих статевозрілих особин на 1 м<sup>3</sup> субстрату верміфільтра є оптимальною для ефективного функціонування системи верміфільтрації [12]. Популяція черв'яків має складатися з дорослих особин, ювенілів, підлітків і коконів, щоб система залишалася стабільною.

**Токсичність солей та рН стічних вод.** Побутові стічні води містять у собі різні забруднюючі речовини, зокрема миючі засоби, харчові відходи, нафтопродукти. Від вмісту домішок залежать такі параметри, як кислотність середовища та його токсичність для черв'яків. Черв'яки можуть бути стійкими до коливань рН в діапазоні значень від 4,5 до 9,0; оптимальне значення – близько 7,0. [7]. Деякі види черв'яків, наприклад, *E. fetida*, можуть бути стійкими до токсичних сполук. Встановлено, що при однакових концентраціях хлорид натрію (NaCl) більш токсичний для черв'яків цього виду, ніж сульфат натрію (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Однак черв'яки *E. fetida* мають здатність детоксифікувати NaCl. Також відомо, що дощові черви мають білки металотіонеїни, які пов'язують важкі метали і роблять їх біологічно неактивними [15].

**Матеріал засипки верміфільтра.** Садовий ґрунт у певній кількості повинен бути використаний в установці верміфільтрації як місце існування черв'яків. Крім того, він є найбільш підходящим субстратом для нітрифікуючих бактерій (*Nitrobacteraceae*, *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*), які окислюють аміак, що утворюється в процесі гниття органічних речовин, до нітритів та нітратів [11]. Як засипні матеріали верміфільтра можуть бути використані вугільна зола, гравій з розміром частинок 60 і 10 мм, кварцовий пісок, керамзит. Усі вони забезпечують високу продуктивність пристрою [16].

**Гідравлічне навантаження.** Гідравлічне навантаження є важливим параметром для підтримки оптимальних рівнів температури, аеробних умов та вологості у системі верміфільтра; виражається в м<sup>3</sup> потоку стічних вод на м<sup>2</sup> поверхні за годину. Стічні води вимагають достатнього часу контакту з біоплівкою, щоб забезпечити адсорбцію забруднюючих речовин та їх переробку мікроорганізмами. Для конкретної системи більш висока швидкість гідравлічного навантаження призводить до збільшення часу утримання стічних вод у шарі верміфільтра і, отже, зниження ефективності їхнього очищення. Швидкість гідравлічного навантаження може залежати від таких параметрів, як структура, якість стічних вод і насипна щільність насадки, що фільтрує, а також від методу подачі стічних вод і зазвичай варіюється від 0,2 м<sup>3</sup> м<sup>-2</sup> добу<sup>-1</sup> до 3,0 м<sup>3</sup> м<sup>-2</sup> добу<sup>-1</sup> [17].

**Час гідравлічного утримування.** Час гідравлічного утримування - це фактичний час, протягом якого стічні води контактують з матеріалом, що фільтрує; він прямо пропорційно залежить від величини шару та типу використовуваного матеріалу (пористості), об'єму реактора і обернено пропорційно

швидкості потоку стічних вод через шар верміфільтра. Чим довше стічні води залишаються в системі в контакт з черв'яками, тим ефективнішим буде обробка. Для стічних вод, що мають показники БПК<sub>5</sub> 200-400 мг/л, час гідравлічного утримання становить лише 30-40 хвилин. Однак для побутових стічних вод рекомендується збільшити час гідравлічного утримання від 1 до 2 годин. Це пов'язано з необхідністю повного видалення патогенних мікроорганізмів, розкладання токсичних хімічних речовин і зниження концентрації важких металів [18].

На підставі викладеної інформації можна судити про переваги технології верміфільтрації в порівнянні з найбільш поширеною аеробною технологією очищення стічних вод. Основні параметри цих технологій представлені в таблиці [5], з якої видно, що технологія верміфільтрації перевершує метод очищення стічних вод в аеротенках за такими основними показниками, як розмір інвестицій, вартість обслуговування установки, ступінь очищення стічних вод.

Таблиця – Показники систем очищення стічних вод

Параметри	Аеротенки з використанням активного мулу	Верміфільтри
Потрібна площа землі	0,7 м <sup>3</sup> /люд.	0,5 м <sup>3</sup> /люд.
Час затримки	6-8 год	max 1-2 год
Інвестиції	150-300 дол/люд.	35-60 дол/люд.
Вартість обслуговування	0,12 дол/м <sup>3</sup> стічних вод	0,05 дол/м <sup>3</sup> стічних вод
Рециклінг відходів і отримання корисних продуктів	немає	Чиста вода Органічне добриво Біомаса черв'яків
Ефективність зниження БПК	90%	95%

**Висновок.** Останнім часом зростає інтерес до використання технології очищення стічних вод за допомогою верміфільтрації. Цей метод має значні переваги перед традиційними аеробними технологіями, а саме – низькі інвестиції, низькі експлуатаційні витрати при високому ступені очищення.

До переваг системи верміфільтрації відноситься також те, що вона може бути встановлена децентралізовано, на місці утворення стічних вод, що дозволить знизити навантаження на станцію очищення стічних вод. При цьому очищену воду можна використовувати для технічних цілей у системі замкнутого водопостачання підприємства і тим самим економити значні обсяги прісної води. Повторне використання верміфільтрованої води та вермикомпоста як органічного добрива дає можливість частково компенсувати витрати на цю технологію та підвищити її рентабельність. Важливо відзначити також, що процес верміфільтрації проходить без утворення побічних продуктів - осадів стічних вод і поганопахучих газів - що відрізняє його від традиційних способів очищення стічних вод і робить більш екологічним.

Таким чином, метод верміфільтрації може розглядатися як альтернатива традиційним способам очищення стічних вод. Будь-які нетоксичні стічні води від домашніх господарств, комерційних організацій або промислових підприємств можуть успішно перероблятися за допомогою черв'яків за умови їх взаємодії з ґрунтовими мікроорганізмами, іммобілізованими на біофільтрі.

Очевидно, що цей інноваційний метод може знайти застосування в Україні, особливо в її південних регіонах. Однак для комерціалізації даної технології необхідно проведення додаткових досліджень, сучасна селекційна робота з метою виведення нових видів черв'яків, стійких до різних умов проживання, високих концентрацій поллютантів, присутності токсинів.

#### Список літератури

1. Titov Igor N., Earthworms: Scientific and Practical Basis of Vermitechnology. Monography / Igor N. Titov, Boguspaev Kenje-Karim, Sinha Rajiv K., Singh Sweta, Jumakhanov Bitore M. // Almaty. «Asylkitap» publishing house, 2022 – 440 p.
2. Furlong, W. T. Developing a Local Sanitation System Based on Vermifiltration: Tiger Toilet / W. T. Furlong, M. R. Gibson, Templeton, M. Taylad, // Water, Sanitation and Hygiene for Development, January 2015 – P.197–203
3. Tomar P. Urban wastewater treatment using vermibiofiltration system. / P. Tomar, S. Suthar // Desalination, 2011. – Vol. 282, – P. 95–103
4. Hartenstein, R., Earthworms and trickling filters. / R. Hartenstein, D. L. Kaplan, E. F. Neuhauser. // J. Water Pollution Control Federation, 1984. – Vol. 56, №3, – P. 294-298.
5. Sinha R.K. Vermiculture revolution. The Technological Revival of Charles Darwin's Unheralded Soldiers of Mankind / R.K. Sinha, D. Valani // Nova Sci. Pub. Inc., 2011. – 328 p.
6. Mudziwapasi R. Potential synchronous detoxification and biological treatment of raw sewage in small scale

vermifiltration using an epigeic earthworm, *Eisenia fetida*/ R.Mudziwapasi, S.S. Mlambo, P.K. Kuipa, N.L. Chigu // Resources and Environment. – 2016. – Vol. 6(1). – P. 16–21.

7. Sinha R.K. Earthworms Nature's biofilter of wastewaters on earth: An innovative study on vermifiltration of fruit juice industries wastewater./ R.K.Sinha, B.R.Soni, V.Chandran, U. Patel. // International J. of Environmental Sci. and Engineering Res. 2013, – 4 (1), – P 20-30.

8. Mudziwapasi R. Potential synchronous detoxification and biological treatment of raw sewage in small scale vermifiltration using an epigeic earthworm, *Eisenia fetida*/ R. Mudziwapasi, S.S.Mlambo, P.K. Kuipa, N.L.Chigu, B. Utete // Resources and Environment. – 2016. – Vol. 6(1). – P. 16–21.

9. Titov Igor N., / Innovative technology wastewater treatment using method of the vermifiltration. Review in Igore N. Titov, Farzah Fawaz Salim Fatah, Vyacheslav M. Kan // Випуск 7, 2014. – С.137-142

10. Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1994, № 27, ст.218)

11 Titov I.N. Polyfunctional enzyme biopreparation based on hexahistidine-containing organophosphorus hydrolase, acting against bacteriosis of plants/ I.N Titov, Farzah Fawaz Salim Fatah, N.P. Larionov // Yu.A. Ovchinnikov bulletin of biotechnology and physical and chemical biology. – 2017. – Vol. 13. – No 4. – P. 9–13.

12 Sinha R.K. Sewage treatment by vermifiltration with synchronous treatment of sludge by earthworms: a low-cost sustainable technology over conventional systems with potential for decentralization / R.K. Sinha, E.G. Bhambe, E.U. Chaudhari // Ecologist – 2008 – 28 (4), – P.409–420

13 Jiang L. The use of microbial-earthworm ecofilters for wastewater treatment with special attention to influencing factors in performance: A review/ L. Jiang, Y. Liu, X. Hu, G. Zeng, H.Wang // Bioresource Technology. – 2016. – Vol. 200. – P. 999–1007.

14. Xing Meiyang Purification efficiency of small vermifilters for domestic wastewater and their relation to the growth, reproduction and enzymatic activity of earthworm / Meiyang Xing, Xiaowei Li and Jian Yang // African Journal of Biotechnology, November 2010 P. 369–383

15.Hughes R.J., Nair J., Mathew K., Ho G. Toxicity of domestic wastewater pH to key species within an innovative decentralised vermifiltration system/ R.J. Hughes, J. Nair, K. Mathew, G. Ho // Water Sci. Technol. – 2007. – Vol. 55(7). – P. 211–218.

16. Lui J. Effects of earthworms on the performance and microbial communities of excess sludge treatment process in vermifilter / J. Lui, Z. Lu, J. Yang, M. Xing, M. M. Guo // Bioresource Technology – 2012. – Vol. 117, – P. 214–221

17. Kumar, T., Evaluation of the vermifiltration process using natural ingredients for efficient wastewater treatment / T. Kumar, R., Bhargava, Prasad, KSH, V. Pruti, // Ecol. English – 2015. –Vol. 75. – P. 370–377.

18. Arora, S. Antimicrobial activity of the bacterial community to remove pathogens during vermifiltration / S. Arora, A. Raipal, A. Kazmi // J. Environ. English – 2016. – Vol. 142(5). – P. 2493–2499

## References (transliterated)

1. Titov Igor N., Earthworms: Scientific and Practical Basis of Vermitechnology. Monography / Igor N. Titov, Boguspaev Kenje-Karim, Sinha Rajiv K., Singh Sweta, Jumakhanov Bitore M. //

// Almaty. «Asylkitap» publishing house, 2022 – 440 p.

2.Furlong, W. T. Developing a Local Sanitation System Based on Vermifiltration: Tiger Toilet / W. T. Furlong, M. R. Gibson, Templeton, M. Taylad, // Water, Sanitation and Hygiene for Development, January 2015 – P.197–203

3. Using method of the vermifiltration. Review in Igore N. Titov, Farzah Fawaz Salim Fatah, Vyacheslav M. Kan // Випуск 7, 2014. – С.137-142

4.Hartenstein, R., Earthworms and trickling filters. / R. Hartenstein, D. L. Kaplan, E. F. Neuhauser. // J.Water Pollution Control Federation, 1984. – Vol.56, №3, – P. 294-298.

5. Sinha R.K. Vermiculture revolution. The Technological Revival of Charles Darwin's Unheralded Soldiers of Mankind / R.K. Sinha, D. Valani // Nova Sci. Pub. Inc., 2011. – 328 p.

6. Mudziwapasi R.Potential synchronous detoxification and biological treatment of raw sewage in small scale vermifiltration using an epigeic earthworm, *Eisenia fetida*/ R.Mudziwapasi, S.S. Mlambo, P.K. Kuipa, N.L. Chigu // Resources and Environment. – 2016. – Vol. 6(1). – P. 16–21.

7. Sinha R.K. Earthworms Nature's biofilter of wastewaters on earth: An innovative study on vermifiltration of fruit juice industries wastewater./ R.K.Sinha, B.R.Soni, V.Chandran, U. Patel. // International J. of Environmental Sci. and Engineering Res. 2013, – 4 (1), – P 20-30.

8. Mudziwapasi R. Potential synchronous detoxification and biological treatment of raw sewage in small scale vermifiltration using an epigeic earthworm, *Eisenia fetida*/ R. Mudziwapasi, S.S.Mlambo, P.K. Kuipa, N.L.Chigu, B. Utete // Resources and Environment. – 2016. – Vol. 6(1). – P. 16–21.

9. Titov Igor N., / Innovative technology wastewater treatment using method of the vermifiltration. Review in Igore N. Titov, Farzah Fawaz Salim Fatah, Vyacheslav M. Kan // Tekhnohennyy Vypusk 7, 2014. – S.137-142

10. Zakon Ukrayiny «Pro zabezpechennya sanitarnoho ta epidemichnoho blahopoluchchya naseleenny» (Vidomosti Verkhovnoyi Rady Ukrayiny (VVR), 1994, № 27, st.218)

11 Titov I.N. Polyfunctional enzyme biopreparation based on hexahistidine-containing organophosphorus hydrolase, acting against bacteriosis of plants/ I.N Titov, Farzah Fawaz Salim Fatah, N.P. Larionov // Yu.A. Ovchinnikov bulletin of biotechnology and physical and chemical biology. – 2017. – Vol. 13. – No 4. – P. 9–13.

12 Sinha R.K. Sewage treatment by vermifiltration with synchronous treatment of sludge by earthworms: a low-cost sustainable technology over conventional systems

with potential for decentralization / R.K. Sinha, E.G. Bharambe, E.U. Chaudhari // *Ecologist* – 2008 – 28 (4), – P.409–420

13 Jiang L. The use of microbial-earthworm ecofilters for wastewater treatment with special attention to influencing factors in performance: A review/ L. Jiang, Y. Liu, X. Hu, G. Zeng, H.Wang // *Bioresource Technology*. – 2016. – Vol. 200. – P. 999–1007.

14. Xing Meiyuan Purification efficiency of small vermifilters for domestic wastewater and their relation to the growth, reproduction and enzymatic activity of earthworm / Meiyuan Xing, Xiaowei Li and Jian Yang // *African Journal of Biotechnology*, November 2010 P. 369–383

15. Hughes R.J., Nair J., Mathew K., Ho G. Toxicity of domestic wastewater pH to key species within an innovative decentralised vermifiltration system/ R.J.

Hughes, J. Nair, K. Mathew, G. Ho // *Water Sci. Technol.* – 2007. – Vol. 55(7). – P. 211–218.

16. Lui J. Effects of earthworms on the performance and microbial communities of excess sludge treatment process in vermifilter / J. Lui, Z. Lu, J. Yang, M. Xing, M. M. Guo // *Bioresource Technology* – 2012. – Vol. 117, – P. 214–221

17. Kumar, T., Evaluation of the vermifiltration process using natural ingredients for efficient wastewater treatment / T. Kumar, R., Bhargava, Prasad, KSH, V. Pruti, // *Ecol. English* – 2015. – Vol. 75. – P. 370–377.

18. Arora, S. Antimicrobial activity of the bacterial community to remove pathogens during vermifiltration / S. Arora, A. Raipal, A. Kazmi // *J. Environ. English* – 2016. – Vol. 142(5). – P. 2493–2499

---

***Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors***

***Зінченко Марія Георгіївна (Zinchenko Mariya Georgievna, Zinchenko Mariya)*** кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, професор, кафедра хімічної техніки та промислової екології; м. Харків, Україна; ORCID: [http://orcid.org/\(0000-0001-7984-2881\)](http://orcid.org/(0000-0001-7984-2881)); e-mail: [mazinchen999@gmail.com](mailto:mazinchen999@gmail.com).

***Гетта Оксана Сергіївна (Getta Oksana Sergeevna, Hetta Oksana)*** Ph.D. Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, асистент, кафедра хімічної техніки та промислової екології; м. Харків, Україна; ORCID: [http://orcid.org/\(0000-0002-1762-6953\)](http://orcid.org/(0000-0002-1762-6953)); e-mail: [oksanagetta21@gmail.com](mailto:oksanagetta21@gmail.com)

---