

УДК 628.315.23

ЕФЕКТ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД БІОЛОГІЧНИМ МЕТОДОМ З ВИКОРИСТАННЯМ РОСЛИН ВИДУ *Eichornia crassipes* Martius ЗА РІЗНОГО ГІДРАВЛІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Т. П. Василюк Державний агроекологічний університет, Житомир

E-mail: tana300@rambler.ru

Представлено результати досліджень щодо визначення оптимальних параметрів функціонування біофільтра з водними рослинами виду *Eichornia crassipes* Martius, зокрема здатності знижувати вміст хімічних сполук та інгредієнтів у водних розчинах за різних параметрів гідравлічного навантаження на біофільтр.

Ключові слова: ефект очищення, *Eichornia crassipes* Martius, навантаження, біофільтр, стічні води, біологічне очищення, вища водна рослинність.

Проблема очищення стічних вод з міських територій визначає ступінь добробуту всіх водних об'єктів. Існуюча система відведення і очищення поверхневих стічних вод має у своєму складі (на прикладі м. Житомира): водостічну мережу протяжністю 400 км; магістральні та річкові колектори великого діаметру; відкриті ділянки русел малих річок та струмків; руслові водойми; ставки-регулятори; 21 станцію перекачування та дві ділянки очисних споруд на кінцевих водостоках перед скидом їх у відкриті водні об'єкти (р. Тетерів). Ці споруди, через які проходить приблизно половина об'єму відведених стічних вод, відрізняються за принципом роботи, пропускну здатністю та ефективністю очищення. Однак їх об'єднує одне: недосконалість закладених в них технічних рішень і, як наслідок, — недостатній за нормативними вимогами сьогодення ступінь очищення стічних вод від забруднювальних речовин. Одразу слід зазначити, що переважна більшість міських очисних споруд, що їх почали споруджувати спершу як експериментальні, починаючи з 60-х років минулого століття, працюють і сьогодні, а закладені в них проектні рішення забезпечують вилучення лише зважених часток та нафтопродуктів і не відповідають завданням забезпечення очищення за такими інгредієнтами, як група азоту, хлориди, сульфати і ряд важких металів, вихідний вміст яких у поверхневих водах перевищує нормативний.

Одними з найновіших у цій сфері є методи, що ґрунтуються на застосуванні на ставках-відстійниках гідроботанічного способу доочищення стічних вод із застосуванням вищих форм водної рослинності. Багато досліджень було проведено з використанням для очищення стічних вод від забруднювальних речовин осоки, очерету, тростини, ірисів та інших рослин. У 1989 р. в Англії С. Швер та Д. Клаузен спробували здійснити очищення стічних вод, пропускаючи їх через шар глинистого ґрунту, засадженого травами (тонконіг та ін.) [1]. К. Сен Асіт провів дослідження поглинання міді з водних розчинів за допомогою широко розповсюдженої в водоймах Індії вільноплавної рослини *Salvinia natans*, а в 1990 р. досліджували способи очищення міських стічних вод з використанням вищих водних рослин, зокрема водного гіацинту (штат Флорида, США) [2, 3]. Досвід застосування біотехнологій під час очищення стічних вод у країнах Заходу, США, Росії та Японії спонукав до проведення подібних досліджень і в Україні [4–7].

На основі аналізу літературних джерел [8–10] можна зробити припущення, що склад стічних вод є сприятливим для розвитку не лише нитчастих бактерій, а й дріжджів, нижчих грибів, вищої водної рослинності тощо. Основні забруднення є компонентами харчових продуктів, у яких містяться також вітаміни, ензими, мікроелементи.

Вища водна рослинність регулює якість води не тільки завдяки фільтраційним

властивостям. Здатність вищих рослин до нагромадження, утилізації, трансформації багатьох речовин робить їх незамінними в загальному процесі самоочищення водойм, тому доцільним можна вважати використання для інтенсифікації процесу очищення побутових стоків культури вищої водної рослинності, яка здатна до швидкого росту й інтенсивного поглинання з водного середовища практично всіх біогенних елементів та їхніх сполук. Цим вимогам повною мірою відповідає тропічна квіткова рослина Ейхорнія прекрасна (водний гіацинт) — представник вищої водної рослинності (ботанічна назва — *Eichornia crassipes* Martius родини *Pontederiacia*). Це — водоплавна рослина, надводна частина її складається з укороченого стебла з розеткою овальних листків, квітка нагадує гіацинт. У воду звисає сильно розвинена розетка підводних коренів, опушених війками [6, 7]. Інтенсивність фотосинтезу в *E. crassipes* вища, ніж в інших водних рослин. Рівень гетеротрофної асиміляції цієї рослини відносно високій ($K = 1,5-2,7$).

Метою цієї роботи є наукове обґрунтування та визначення оптимальних параметрів функціонування біофільтра (зокрема, гідравлічного навантаження на нього), які б сприяли досягненню максимального вилучення основних інгредієнтів і сполук зі стічних вод та дозволили утримувати біоценоз із домінуючим видом — вищою водною рослиною *E. crassipes*.

Предметом досліджень є параметри процесу біологічного очищення стічних вод із використанням вищої водної рослинності та динаміка основних інгредієнтів у водному розчині в разі використання *E. crassipes*.

Об'єктами дослідження є процес очищення стічних вод у біофільтрі з рослинами *E. crassipes*.

Для досягнення поставленої мети було визначено такі завдання:

- вивчення технологічних параметрів (гідравлічне навантаження на біофільтр) очищення стоків із використанням вищої водної рослинності (ВВР), зокрема *E. crassipes*;

- аналіз процесу очищення стічних вод з використанням біофільтра з ВВР.

Матеріали і методи

Гідравлічне навантаження на біофільтр будь-якої модифікації визначається об'ємом рідини, що проходить через одиницю об'єму або поверхні навантаження за одиницю часу [8].

Розрахунковими для краплинних та високонавантажуваних біофільтрів вважають такі величини гідравлічного навантаження, за яких біоочисник утримується в біофільтрі, забезпечується надходження повітря в оптимальних кількостях та не відбувається швидке замулення біофільтра [9].

Звичайно, зі зменшенням гідравлічного навантаження на біофільтр можна очікувати зростання ефекту очищення стічних вод за основними показниками внаслідок збільшення часу контакту стічних вод із біоочисником. Водночас низьке гідравлічне навантаження призводить до швидкого замулення внаслідок інтенсивного розвитку у верхніх шарах мікроорганізмів. Тому доводиться збільшувати гідравлічне навантаження та вдаватись до рециркуляції очищених стічних вод [9].

Оскільки в дослідній установці процес очищення рідини здійснюється в напрямку знизу вгору, розвиток водної мікрофлори не перешкоджатиме процесу очищення. Оптимальним для біофільтра буде таке гідравлічне навантаження, за якого досягатиметься ефект очищення стічних вод за основними показниками: хімічне споживання кисню (ХСК), біохімічне споживання кисню (БСК₅), зважені речовини (ЗР), фосфати, сульфати та залізо загальне.

Вивчення науково-технічної документації виявило, що для різних типів стоку застосовують різні режими та швидкості потоку рідини у біофільтрах. Так, для агропромислових стоків доцільно застосовувати швидкість потоку рідини у межах 0,002–0,010 м³/год · м², для стоків свиноферм у термофільному режимі — від 0,0021 до 0,0042 м³/год · м² [9].

У зв'язку з тим, що теоретична швидкість потоку рідини в біофільтрі є дуже малою для проведення дослідів на існуючих лабораторних установках у безперервному режимі, для визначення оптимального часу оброблення стічних вод у проточному біофільтрі було проведено дослідження відбирально-доливної режиму анаеробного очищення стоків.

Очищення стічних вод проводили за таких умов: температура 35±2 °С, концентрація рослин *E. crassipes* — 20 г/л за сухими речовинами.

Для вивчення технологічних та конструктивних параметрів, а також встановлення закономірностей процесу біологічного очищення стічних вод біоценозом основну масову частку якого становлять вищі рослини, було виготовлено лабораторну модель споруди.

Лабораторна установка для очищення стічних вод (рис. 1) складалася з робочої місткості, напірного бака, мікрокомпресора та з'єднувальних трубопроводів. Вода в напірний бак закачується ерліфтною установкою за допомогою компресора. Лабораторна установка являє собою резервуар, виконаний з органічного скла. Перше відділення лабораторної установки має розміри 300×250×300 мм (об'єм 22,5 л) і відіграє роль приймального резервуара та змішувача. Друге відділення розмірами 600×250×300 мм (об'єм 55 л) — модель горизонтального біофільтра. Для подання та розподілення модельних розчинів стічної води уздовж днища споруди обладнано розподільну систему з пластмасових перфорованих трубок діаметром 15 мм. Повітря для керування і перемішування модельних розчинів та продування фільтрувального навантаження подається мікрокомпресором через полімерні трубчасті розпилювачі.

Третє відділення має такі самі розміри, як і перше, й використовується як збірний резервуар.

Модельний розчин (стічна вода), що надходить у приймальне відділення після попередньої аерації, потрапляє у біофільтр через розподільну систему. Вода рухається знизу вгору, проходячи крізь шар коріння водних рослин. Очищена вода потрапляє у збірний резервуар. Під час проведення експериментальних досліджень очищені розчини виливалися зі збірного резервуара в каналізацію, а в бак для аерування постійно доливали свіжий розчин.

Методи визначення інгредієнтів та сполук у модельних розчинах були загально-

прийнятими: ХСК, БСК₅, ЗР за [11], фосфатів за [12], сульфатів за [13] та заліза загального за [14]. Величину гідравлічного навантаження змінювали в межах 0,5–20 м³/ (м² · доб), тобто від 0,004 до 0,020 м³/ год · м².

Результати та обговорення

За швидкості потоку рідини в біофільтрі 0,004 м³/ год·м² величина навантаження за показником ХСК на рослини становить 0,936 кг/м³ за добу, а значення ХСК стічних вод на виході — 1 872 мг О₂/л, на вході — 11 700 мг О₂/л. Ступінь очищення за таких умов ведення процесу досягає 80% (рис. 2).

З підвищенням швидкості потоку стоків удвічі та збільшенням навантаження за показником ХСК на рослини до 1,872 кг/м³ за добу збільшується і кінцевий вміст органічних забруднень — до 3931 мг О₂/л, а глибина очищення стічних вод становить 79%. Збільшення швидкості потоку до 0,10 м³/ год · м² та підвищення навантаження на рослини до 2,34 кг ХСК/м³ за добу призводить до меншої глибини очищення стоків — 76%. Мінімальне значення ХСК — 5616 мг О₂/л. Подальше збільшення швидкості потоку до 0,014, 0,018 та 0,020 м³/год · м² та підвищення навантаження на рослини *E. crassipes* до 3,27, 4,21 та 4,68 кг/м³ за добу призводить до різкого зниження глибини очищення стоку до 44, 28 та 18% відповідно.

Як показали результати досліджень проточного процесу очищення стічних вод, за швидкості потоку рідини в біофільтрі 0,004 м³/год · м² глибина очищення органічних речовин є найбільшою і становить 80%.

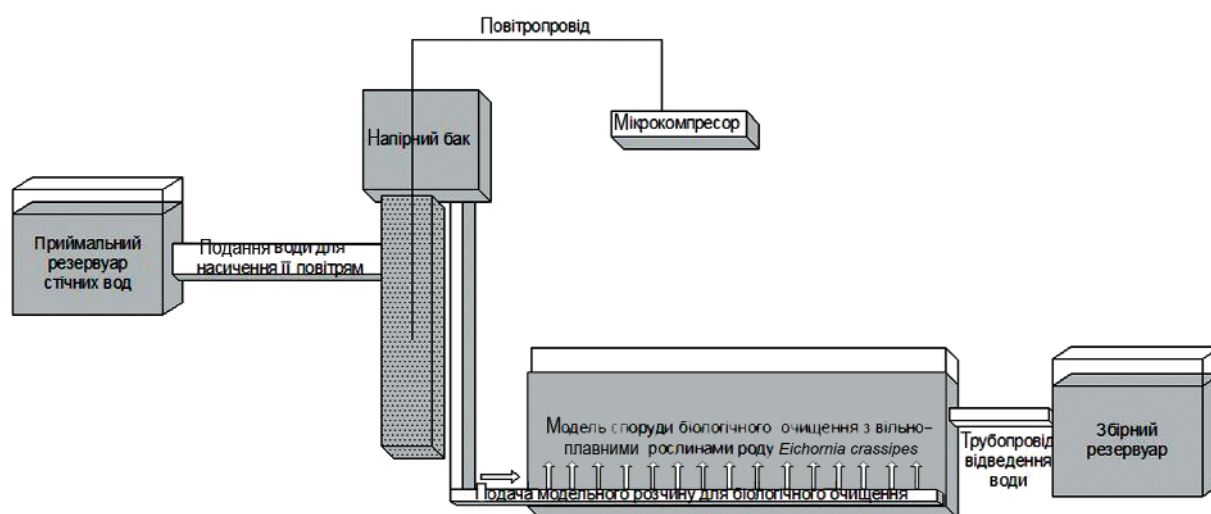


Рис. 1. Схема установки для біологічного очищення стічних вод

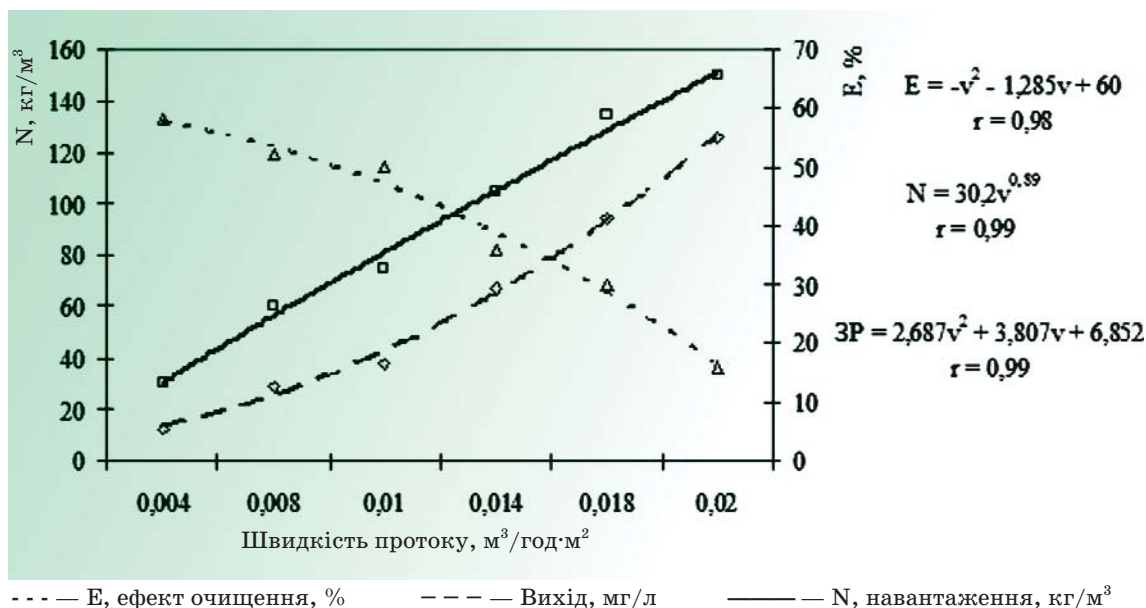


Рис. 2. Вплив гідравлічного навантаження на ефект очищення модельних розчинів за вмістом ХСК

Зі зростанням швидкості потоку якість очищення стоків зменшується, а значення ХСК на виході з біофільтра відповідно підвищується. Таким чином, при вихідній температурі стічних вод 35 ± 2 °C для отримання максимальної глибини очищення стоку, що відповідає вимогам до його подальшого біохімічного очищення, швидкість потоку рідини в біофільтрі не повинна перевищувати $0,004$ м³/год·м². Однак для виробництва така швидкість є замалою. За незначного збільшення швидкості потоку води — до $0,008$ – $0,01$ м³/год·м² якість очищення відрізняється лише на 1–5%. Тому, на думку автора, вона є оптимальною за даних умов.

За швидкості потоку рідини в біофільтрі $0,004$ м³/год·м² величина навантаження за показником БСК₅ на рослини *E. crassipes* становить $1,27$ кг/м³ за добу, а значення БСК₅ стічних вод на виході з біофільтра дорівнює $3\ 052$ мг О₂/л при БСК₅ на вході $15\ 900$ мг О₂/л (рис. 3). Ступінь очищення за таких умов ведення процесу становить 76%. З підвищенням швидкості потоку стоків удвічі та збільшенням навантаження на рослини до $2,544$ кг/м³ за добу збільшується і кінцевий вміст органічних забруднень — до $6\ 614$ мг О₂/л, а глибина очищення стічних вод становить 74%. Збільшення швидкості потоку до $0,10$ м³/год·м² та підвищення навантаження на рослини до $3,18$ кг/м³ за добу призводить до меншої глибини очищення стоків — 71%. Мінімальне значення БСК₅ становить $9\ 222$ мг О₂/л. Подальше збільшення швидкості потоку до

$0,014$, $0,018$ і $0,020$ м³/год·м² та збільшення навантаження на рослини *E. crassipes* до $4,45$, $5,72$ та $6,36$ кг/м³ за добу зумовлює різке зниження глибини очищення стоку — до 37, 21 та 12% відповідно.

За швидкості потоку рідини в апараті $0,004$ м³/год·м² глибина очищення органічних речовин найбільша і становить 76%. У разі незначного збільшення швидкості потоку води — до $0,008$ – $0,01$ м³/год·м² — якість очищення відрізняється лише на 2–4%. Тому, на наш погляд, доцільно застосовувати високі швидкості потоку стічних вод через біофільтр.

Дані проведених досліджень проточного процесу очищення показали, що за показником фосфатів швидкість потоку стічних вод має бути не меншою за $0,004$ – $0,008$, навантаження за цих параметрів становить $0,45$ – $0,90$ кг/м³. При цьому вихід стічних вод характеризується показниками $0,15$ – $0,34$ кг/м³, а ефект очищення досягає 65–62% відповідно (рис. 4).

У разі подальшого підвищення швидкості потоку до $0,01$ — $0,02$ м³/год·м² навантаження за вмістом фосфатів становить $1,12$ – $2,25$ кг/м³, вихід стічних вод характеризується дещо підвищеними показниками — $0,68$ – $1,91$ кг/м³, а ефект очищення різко падає — до 39–15%.

Отже, для фосфатів найефективнішою є швидкість потоку рідини $0,004$ м³/год·м² з ефектом очищення 65%, однак цілком прийнятною є швидкість потоку рідини у біофільтрі $0,008$ м³/год·м², за якої ефект очищення знижується лише на 3%. Подаль-

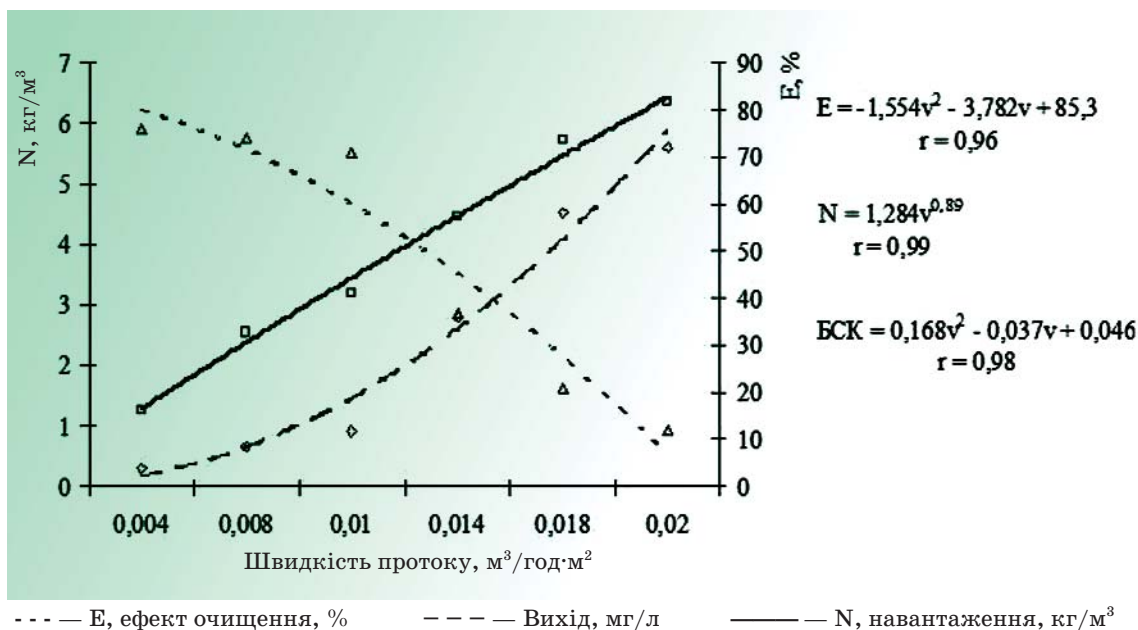


Рис. 3. Вплив гідравлічного навантаження на ефект очищення модельних розчинів за вмістом БСК₅

ше підвищення швидкості потоку рідини у біофільтрі неефективне, оскільки це не забезпечує достатнього очищення стоку.

Проведені дослідження щодо зміни кількості сульфатів у модельному розчині показали, що зниження кількості речовини відбувається досить повільно (рис. 5). Так, за гідравлічного навантаження 0,004 м³/год·м² і вмісту сульфатів 46,9 мг/л вихідні показники вмісту сульфатів — 18,38, при цьому

ефект очищення досягає 51%, з підвищенням швидкості потоку рідини до 0,008–0,01 м³/год·м² та збільшенням навантаження до 75,04–93,8 кг/м³ за добу ефект очищення знижується неістотно — лише на 2–3% і становить 49 та 48% відповідно.

У разі підвищення швидкості потоку модельного розчину через біофільтр до 0,014 м³/год·м² навантаження на 1 м³ площі

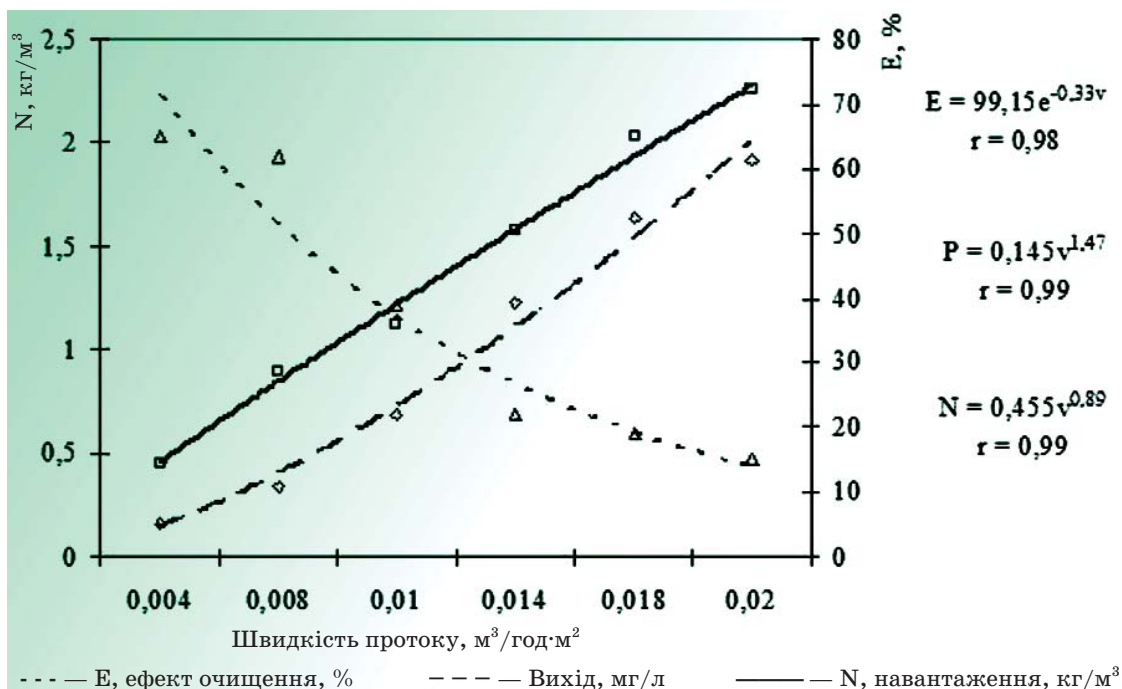


Рис. 4. Вплив гідравлічного навантаження на ефект очищення модельних розчинів за вмістом фосфатів

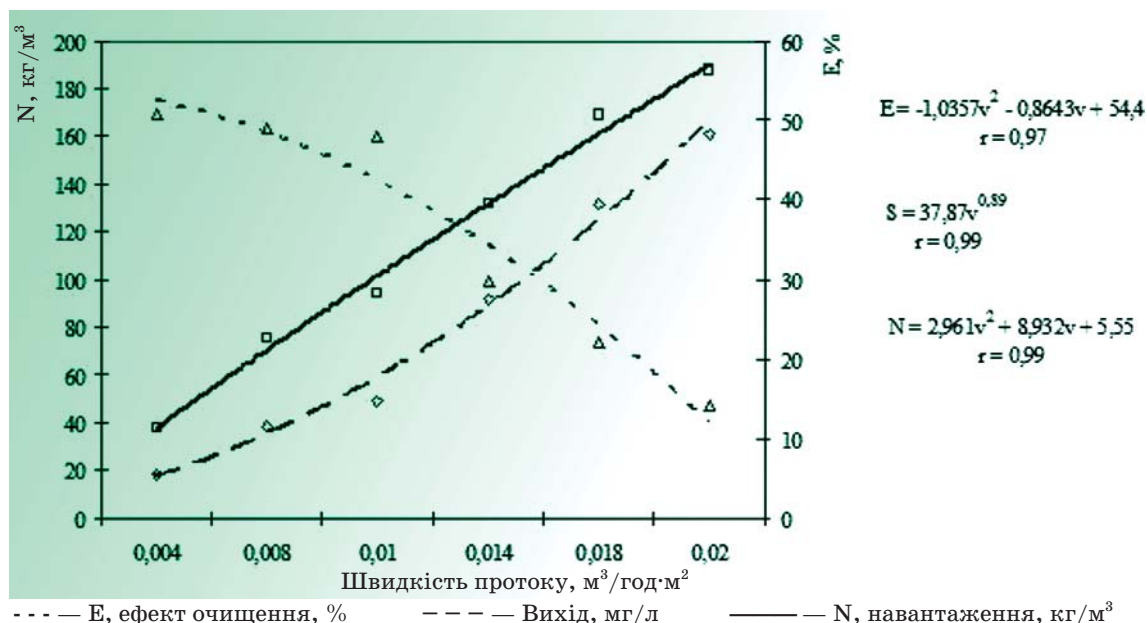


Рис. 5. Вплив гідравлічного навантаження на ефект очищення модельних розчинів за вмістом сульфатів

біофільтра зростає до 93,8 кг сульфатів на добу, при цьому вихідні показники у модельному розчині лишаються досить високими, а ефект очищення становить лише 30%.

Подальше підвищення швидкості потоку розчинів крізь біофільтр до 0,018–0,020 м³/год·м² та збільшення навантаження на 1 м³ біофільтра до 168,8–187,6 кг на добу підвищує і показники вмісту сульфатів на виході з біофільтра — до 131,69–161,33 кг/м³, а ефект очищення відповідно знижується і становить лише 22 та 14%.

Цілком очевидним є те, що найвищий ефект очищення — 51% досягається за швидкості потоку модельного розчину крізь біофільтр 0,004 м³/год·м²; показники ефекту очищення досить високі й за швидкості потоку 0,008–0,01 м³/год·м², а отже ця швидкість є також прийнятною.

За швидкості потоку рідини в біофільтрі 0,004 м³/год · м² величина навантаження на рослини *E. crassipes* за вмістом заліза загального становить 0,216 кг/м³ за добу, а значення на виході з біофільтра — 0,07 мг/л, на вході — 0,27 мг/л (рис. 6). Ступінь очищення за таких умов ведення процесу становить 67%. З підвищенням швидкості потоку стоків удвічі та збільшенні навантаження на рослини до 0,432 кг/м³ за добу збільшується і кінцевий вміст забруднень — до 0,15 мг/л, а глибина очищення стічних вод дорівнює 64%. Збільшення швидкості потоку до 0,10 м³/год·м² та підвищення навантаження за вмістом заліза

загального на рослини до 0,54 кг/м³ за добу призводить до меншої глибини очищення стоків — 62%. Мінімальне значення вмісту заліза — 0,20 мг/л. Подальше збільшення швидкості потоку до 0,014, 0,018 та 0,020 м³/год·м² та підвищення навантаження на рослини *E. crassipes* до 0,75, 0,97 і 1,08 кг/м³ за добу спричиняє зниження глибини очищення стоку, однак ефект очищення лишається за таких умов також досить високим — 49, 41 та 21% відповідно.

За швидкості потоку рідини в біофільтрі 0,004 м³/год·м² величина навантаження на рослини *E. crassipes* досягає 29,92 кг/м³ за добу, значення ЗР стічних вод на виході з біофільтра становить 12,56 мг/л, а на вході — 37,4 мг/л (рис. 7). Ступінь очищення за таких умов ведення процесу становить 58%. У разі підвищення швидкості потоку стоків удвічі та зі збільшенням навантаження на рослини до 59,84 кг/м³ за добу збільшується і кінцевий вміст забруднень — до 28,72 мг/л, а глибина очищення стічних вод становить 52%. Збільшення швидкості потоку до 0,10 м³/год·м² та підвищення навантаження на рослини до 74,8 кг/м³ за добу призводить до меншої глибини очищення стоків — 50%. Мінімальне значення ЗР — 37,4 мг О₂/л. Подальше збільшення швидкості потоку та підвищення навантаження на рослини зумовлює різке зниження глибини очищення стоку — до 36, 30 та 16% відповідно.

Таким чином, визначено оптимальні параметри функціонування біофільтра, основ-

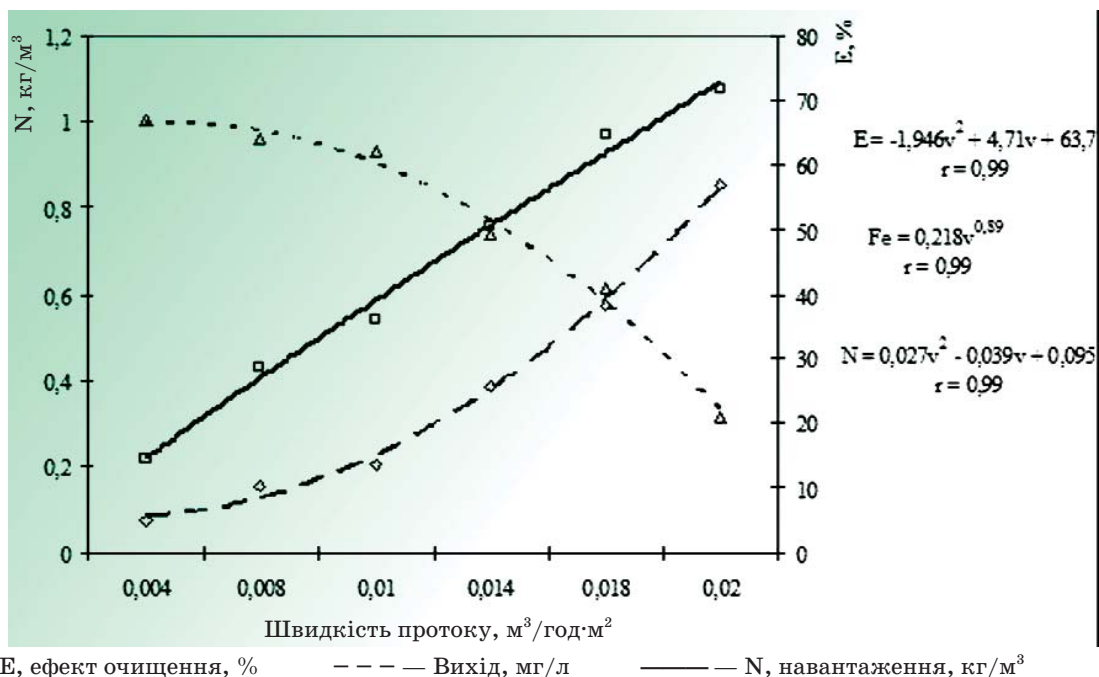


Рис. 6. Вплив гідравлічного навантаження на ефект очищення модельних розчинів за вмістом заліза загального

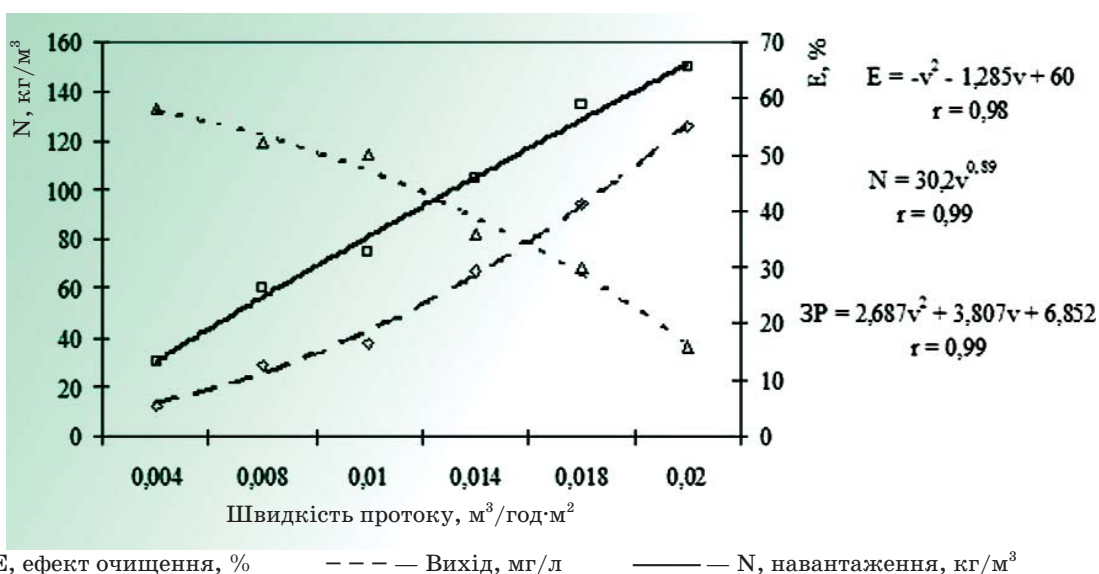


Рис. 7. Вплив гідравлічного навантаження на ефект очищення модельних розчинів за вмістом зважених речовин

ну масу якого становить біоценоз з вищими водними рослинами виду *E. crassipes*.

Оптимальною є швидкість потоку рідини в біофільтрі 0,008 м³/год·м², за якої досягається достатньо високий ступінь очищення води (глибина очищення органічних речовин 80–50%, неорганічних — 79–60%).

За швидкості потоку рідини в лабораторній установці 0,004 м³/год·м² глибина очищення стічних вод є найбільшою і становить 58%. Зі зростанням швидкості потоку якість очищення стоків зменшується, а зна-

чення ЗР на виході з біофільтра відповідно підвищується. Зі збільшенням швидкості потоку води до 0,008–0,01 м³/год·м² якість очищення зменшується на 6–8%.

Можна досягти більшої глибини очищення стічних вод за умови більшого навантаження на рослини *E. crassipes* та меншої тривалості обробки в біофільтрі.

Подальші дослідження слід спрямувати на дослідження впливу кількості біомаси рослин *E. crassipes* на інтенсивність очищення стічних вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Schwer C., Clausen J.* Vegetative filter treatment of dairy milkhouse wastewater // *J. Environ. Qual.* — 1989. — N4. — P. 446–451.
2. *Sen Asit K., Mondal Nitya G.* Removal and uptake of copper (II) by salvinia natans from wastewater // *Water, Air and Soil Pollut.* — 1990. — N1–2. — P. 1–6.
3. *Luesk G. W.* A`growing `interest in wastewater plants // *Waste Age.* — 1990. — N6. — С. 87–88, 92.
4. *Heidmann Torsten, Henke Gustav A.* Reinigung industrieller Abwaasser durch chemisch-biologische Verfahren // *WLB: Wasser Luft und Boden.* — 1990. — N1–2. — С. 26–27.
5. *Эйно́р Л. О., Дми́триева Н. Г.* Поглощение фосфора из природных вод полупогруженными макрофитами (на примере манника) // *Водн. ресурсы.* — 1988. — №4. — С. 130–136.
6. *Рыженко Б. Ф.* Эйхорния — кому мы обязаны нефтью и газом // *Кавказская здравница.* — 1991. — №2.
7. *Токарева Н.* Известия науки: Эйхорния — укротительница гептила // *Экология и жизнь.* — 1999. — №4. — С. 5–7.
8. *Колобанов С. К., Ершов А. В., Кигель М. Е.* Проектирование очистных сооружений канализации. — К.: Будівельник, 1977. — 221 с.
9. *Кононцев С. В.* Технологія біологічного очищення стічних вод молокозаводів: Дис. ... канд. техн. наук: 05.17.21 / Національний технічний ун-т України «Київський політехнічний ін-т». — К., 2006.— 158 с.
10. *Цыганков С. П.* Разработка микробиологических процессов и аппаратов очистки сточных вод предприятий АПК: Дис. ... докт. техн. наук: 05.18.12, 03.00.23. — К., 1998. — С. 198.
11. *СЭВ.* Методы химического анализа вод. Унифицированные методы исследования качества вод. — Часть 1, кн. 2, 3. — М., 1987.
12. *ГОСТ 18309–72.* Вода питна. Метод визначення вмісту поліфосфатів.
13. *ГОСТ 4389-72.* Вода питна. Методи визначення вмісту сульфатів.
14. *ГОСТ 4011-72.* Вода питна. Методи вимірювання масової концентрації заліза загального.

**ЭФФЕКТ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД
БИОЛОГИЧЕСКИМ МЕТОДОМ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСТЕНИЙ
ВИДА *Eichornia crassipes* Martius
ПРИ РАЗЛИЧНОЙ
ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ**

Т. П. Василюк

Государственный агроэкологический
университет, Житомир

E-mail: tana300@rambler.ru

Представлены результаты исследований по определению оптимальных параметров функционирования биофильтра с водными растениями вида *Eichornia crassipes*, в частности способностей понижать содержание химических соединений и ингредиентов в водных растворах при различных параметрах гидравлической нагрузки на биофильтр.

Ключевые слова: эффект очистки, *E. crassipes*, нагрузка, биофильтр, сточные воды, биологическая очистка, высшая водная растительность.

**EFFECT OF WASTE WATER
PURIFICATION BY A BIOLOGICAL
METHOD WITH USING
OF THE *Eichornia crassipes* Martius
PLANTS AT DIFFERENT HYDRAULIC
LOADING**

T. P. Vasylyuk

State Agriecological University, Zhitomir

E-mail: tana300@rambler.ru

The research results on determination of the optimum parameters of a biofilter functioning with the water plants of *Eichornia crassipes* type are given. In particular ability to lower amount of the chemical compounds and ingredients in water solutions at different parameters of hydraulic load on a biofilter was shown.

Key words: cleaning effect, *E. crassipes*, loading, biofilter, waste water, biological treatment, higher aquatic vegetation.