

ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОБІОНТІВ ВИДУ *EICHORNIA CRASSIPES* ДЛЯ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД

Т. П. Василюк –

Державний агроекологічний університет, м. Житомир

Представлены результаты изучения особенностей интродуцированного водного растения рода *Eichornia crassipes* и его способности понижать содержание химических соединений и ингредиентов в водных растворах при разных температурных режимах водной среды с целью интенсификации процесса очистки бытовых стоков. Рассмотрены результаты исследования оптимальной температуры ведения процесса очистки бытовых стоковых вод в трех режимах: мезофильном и двух термофильных и определен наиболее эффективный.

The paper presents results of study of features of water plant – *Eichornia crassipes* and its capabilities to lower maintenance of compounds and ingredients in waters solutions at the different temperature conditions of water environment with the purpose of intensification of process of cleaning of domestic flows. The results of research of optimum temperature of conduct of process of domestic flows waters treatment are considered in three modes: one with moderate and two with high temperature of water.

1. ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Використання вищої водної рослинності для очищення побутових та промислових стічних вод розпочато досить давно. Вищі водні рослини як важлива ланка водних біоценозів є предметом наукових досліджень багатьох науково-дослідних інститутів. Перевагою методу є низька вартість очисників, низькі експлуатаційні витрати, високий ступінь очищення і екологічна чистота [1].

Аналіз сучасних тенденцій та уявлень про аеробне біологічне очищення та напрямків інтенсифікації процесу свідчить про можливість ефективного застосування гідробіонтів для обробки концентрованих стічних вод.

Вивчення світового досвіду застосування вищих водних рослин для очищення стічних вод показало, що, за результатами експериментальних досліджень, на різномасштабних спорудах із вищими водними рослинами при різних значеннях навантаження значно підвищується ефективність роботи споруди загалом.

Eichornia crassipes – типовий представник класу вищих рослин, добре пристосовуються до умов та здатні інтенсивно трансформувати органічні та неорганічні сполуки з водних розчинів. При цьому, концентруючись у великих кількостях, вони можуть ефективно мінералізувати детрит та контролювати чисельність мікроорганізмів. Перспективність культивування даного виду в очисних спорудах пояснюється також тим, що в процесі подібних методів очистки стічних вод утворюється надлишкова біомаса, яка нерідко є високотретиновим продуктом та може слугувати додатковим джерелом кормового білка. Застосування стічних вод як

поживного середовища для отримання білкової біомаси економічно виправдано, тому що, з одного боку, допомагає вирішенню проблеми боротьби із забрудненням довкілля, а з другого – сприяє розширенню виробництва кормових ресурсів.

Отже, представники виду ейхорнії можуть ефективно використовуватись у процесах біологічного очищення стічних вод, забруднених органічними та неорганічними сполуками, що здатні легко окиснюватись. Для їх використання необхідна розробка комплексної схеми біологічного очищення та споруди, де будуть культивуватись дані рослини.

2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Основну масу досліджуваного ценозу склали інтродуковані рослини ейхорнії.

Під час проведення досліджень у роботі використовувалися модельні розчини, близькі за складом до СВ, які поступають на Житомирські очисні споруди, що об'єднують стоки з головної насосної станції м. Житомир, із насосної станції паперової фабрики, заводу силікатних виробів, льонокомбінату та промвузла.

Очищення стічних вод здійснювали на лабораторній установці – моделі ставків-відстійників, виготовлених з органічного скла (рис. 1). Установка дозволяє проводити процес очищення в періодичному режимі культивування організмів.

Стічна вода зі збірника – резервуара зі стічними водами до очищення подається в резервуар для відстоювання. Постійну температуру забезпечує нагрівач води з вмонтованим терморегулятором, прилад для подачі повітря забезпечує не лише аерацію, але й активне перемішування стічної

води. З відстійників очищена вода надходить у збірник очищених стічних вод, а досліджувані рослини видаляються.

З метою визначення оптимального режиму очищення, а саме: оптимальної температури ведення процесу та оптимальної швидкості потоку рідини у вторинних відстійниках, були проведені дослідження періодичного процесу очищення стічних вод (СВ) у мезофільних ($35 \pm 2^\circ\text{C}$) та термофільних ($40 \pm 2^\circ\text{C}$ та $45 \pm 2^\circ\text{C}$) умовах.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

З науково-технічної літератури відомо, що мезофільний режим застосовують для очищення стоків від виробництва м'яса та тростинного цукру (37°C), цукрових заводів (27°C) [1], молокозаводів ($15\text{--}40^\circ\text{C}$) [2], м'ясокомбінатів ($20\text{--}37^\circ\text{C}$) [3], спиртзаводів ($25\text{--}28^\circ\text{C}$) [4], свиноферм (35°C), станцій обробки осаду (35°C), побутових та промислових стоків ($20\text{--}40^\circ\text{C}$) [5].

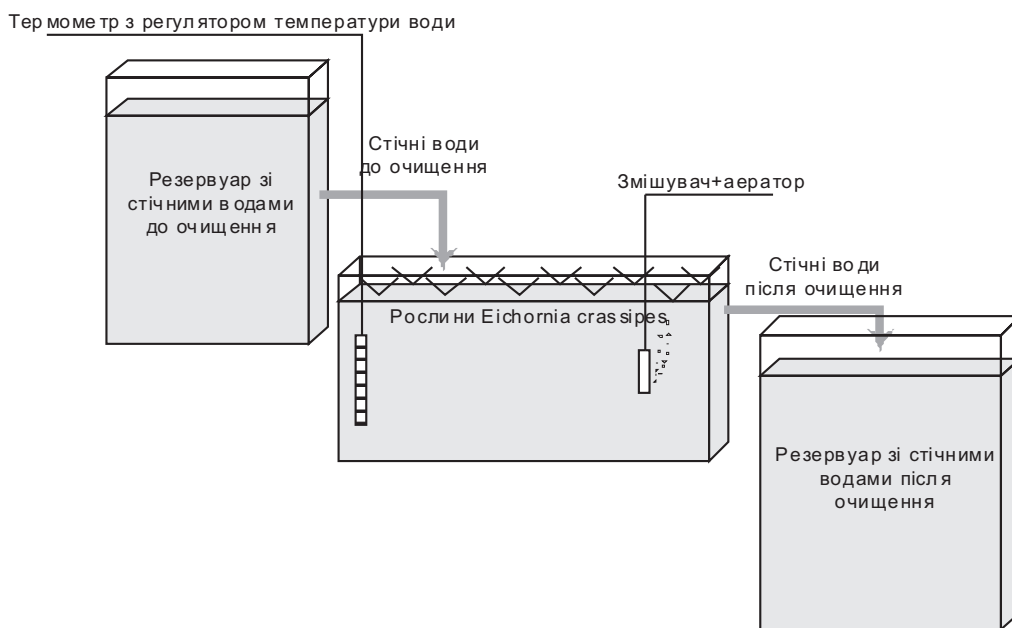


Рис. 1. Схема штучної моделі аерованого ставка-відстійника

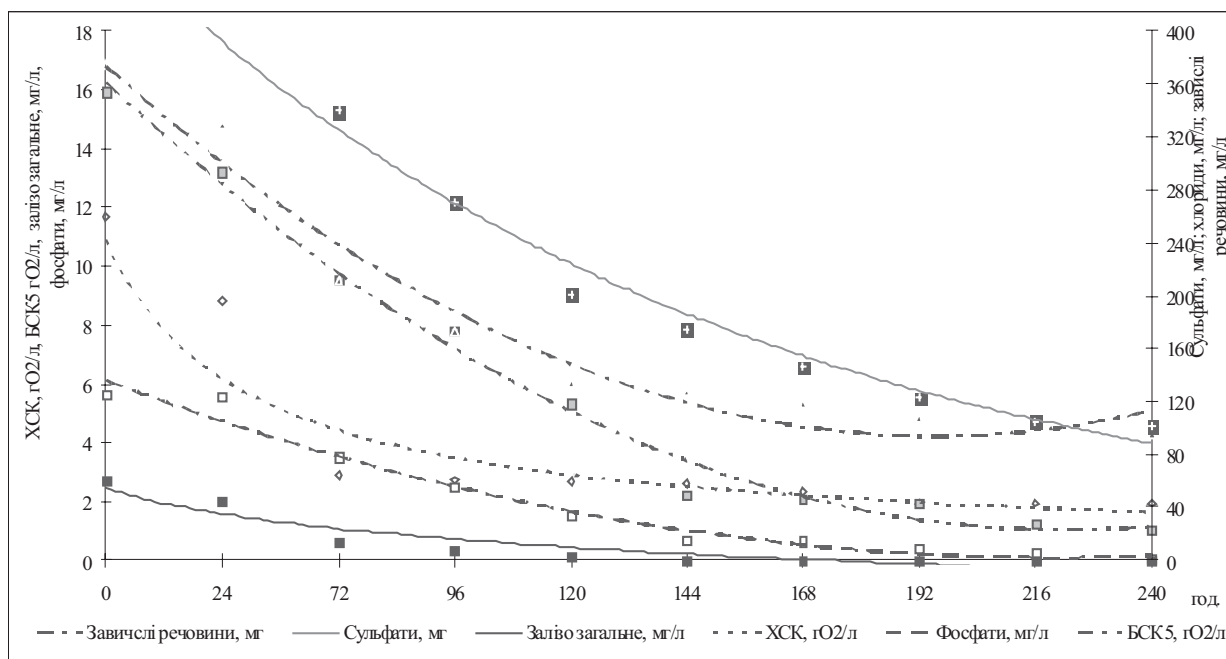


Рис. 2. Періодичне очищення СВ за температури $35 \pm 2^\circ\text{C}$

Термофільний режим широко використовують для аеробного очищення стічних вод дріжджових виробництв (45°C), спиртозаводів (43–54°C), м'ясокомбінатів (50–52°C), целюлозно-паперової промисловості (55°C) [6].

Як показали результати наших дослідів, при періодичному зброджуванні СВ за температур $35 \pm 2^\circ\text{C}$ значення ХСК зменшується майже вдвічі – з 11700 до 5820 $\text{mgO}_2/\text{л}$ – уже через 24 години експерименту (рис. 2). За наступні 48 годин ведення процесу кількість органічних забруднень у рідині зменшується ще на 23 % й величина ХСК становить 4462 $\text{mgO}_2/\text{л}$. Починаючи з 72-ї години анаеробного очищення СВ величина ХСК зменшується повільніше, ніж у перші три доби. Так, якщо на початку ведення процесу значення ХСК зменшується на 23–50 % за добу, то вже починаючи з третьої доби ступінь зменшення органічних забруднень у досліджуваній рідині становить 1,4–16,7 % за добу. Максимальне зменшення значення ХСК – до 1080 $\text{mgO}_2/\text{л}$ – за даних температурних умов спостерігається на сьому добу від початку очищення і далі величина ХСК залишається майже незмінною.

Уже після 24 годин проходження процесу очищення спостерігається зниження БСК на 16,7 %, максимум зниження даного показника припадає на 5, 6 та 7 добу, відповідно – 28, 33 та 26,2 %, після цього спостерігається різке зниження інтенсивності зменшення БСК і наступні 5 днів показник знижується дуже повільно – лише на 4–2 %. Концентрація фосфатів знижується найбільш інтенсивно починаючи з другої доби (0,038 $\text{mg}/\text{год}$) і сягає максимуму на 3, 4 та 5 добу (відповідно 0,47, 0,41 та 0,42 $\text{mg}/\text{год}$), починаючи з 6 доби інтенсивність поглинання фосфору знижується – 0,034 $\text{mg}/\text{год}$, а на 7 добу різко падає – 0,003 $\text{mg}/\text{год}$.

Максимальна інтенсивність поглинання заліза загального з розчину спостерігається вже з перших годин проведення експерименту. Так, на першу добу інтенсивність поглинання складає 0,029 $\text{mg}/\text{год}$, на другу – 0,033 $\text{mg}/\text{год}$, на третю – 0,025 $\text{mg}/\text{год}$, після трьох днів інтенсивність поглинання заліза загального з водного розчину падає і на 4, 5 та 6 доби становить відповідно 0,013, 0,008 та 0,004 $\text{mg}/\text{добу}$, далі процес вилучення заліза зупиняється.

Коливання інтенсивності вилучення сульфатів з досліджуваного розчину за весь період експерименту незначне і знаходиться в межах 0,75–2,9 $\text{mg}/\text{год}$, максимум спостерігається на 4, 5 добу, мінімум – на 8 та 9.

Інтенсивність вилучення завислих частинок знаходиться на досить високому рівні вже з перших годин експерименту – 1,91 $\text{mg}/\text{год}$, максимуму сягає на другу та третю добу – 2,4 $\text{mg}/\text{год}$, на 4 та 5 добу інтенсивність дещо знижується, однак ще знаходиться на досить високому рівні – 1,6 $\text{mg}/\text{год}$, та вже починаючи з 6 доби інтенсивність падає – 0,125–0,47 $\text{mg}/\text{год}$, та мінімуму сягає на останню добу – 0,125 $\text{mg}/\text{добу}$.

Проведені дослідження процесу очищення показали, що перші три доби анаеробного очищення СВ становлять стадію ферментації, під час якої відбувається розкладання складних органічних сполук на більш прості, про що свідчить значне зниження величин більшості досліджуваних інгредієнтів. Починаючи з 72-ї год проходження процесу по більшості показників сягає максимуму і триває до сьомої доби включно. Після сьомої доби процес починає повільно затухати; значення ХСК, БСК, завислих речовин, заліза залишається майже незмінним, повільно зменшується вміст фосфатів та сульфатів. Оскільки величина ХСК залишається відносно високою – 1940 $\text{mgO}_2/\text{л}$, можна припустити, що в культуральній рідині накопичуються продукти метаболізму, які інгібують процеси життєдіяльності мікроорганізмів, а отже і процеси розкладання органічних сполук, що залишились у стічних водах.

Кореляційно-дисперсійний аналіз даних вилучення дозволив виявити головний фактор, що визначає ефективність вилучення інгредієнтів стічних вод – показник температури води. Аналіз даних табл. 1 показує, що між температурою водного середовища $35 \pm 2^\circ\text{C}$ та відсотком вилучення хімічних сполук за допомогою ейхорнії по всіх показниках існують зв'язки при коефіцієнтах кореляції $r = 0,96 \dots 0,99$, які можна охарактеризувати як дуже високі (табл. 1).

За температури $40 \pm 2^\circ\text{C}$ (рис. 3) значення ХСК зменшується впродовж усього періоду ферментації досить рівномірно, мінімальна інтенсивність

Таблиця 1

Кореляційно-дисперсійний аналіз залежностей інтенсивності вилучення хімічних сполук із використанням рослин виду *Eichornia crassipes* при температурі стічних вод $35 \pm 2^\circ\text{C}$

Функція	Область визначення функції	Тіснота зв'язку ($r \pm m$)	Рівняння залежності
Зважені речовини, $\text{mg}/\text{л}$	$90 < 3P > 330$	$r = 0,96$	$y = -130,89 \ln(x) + 374,98$
Сульфати, $\text{mg}/\text{л}$	$90 < S > 400$	$r = 0,98$	$S = 607,05e^{-0,1718x}$
Фосфати, $\text{mg}/\text{л}$	$0 < F > 6$	$r = 0,98$	$P = 0,0545x^2 - 1,2818x + 7,4785$
Залізо загальне, $\text{mg}/\text{л}$	$0 < Fe > 3$	$r = 0,96$	$Fe = -1,2213 \ln(x) + 2,5704$
ХСК, $\text{mgO}_2/\text{л}$	$2 < X > 12$	$r = 0,97$	$\text{ХСК} = 11,87x^{-0,8084}$
БСК5, $\text{mgO}_2/\text{л}$	$1 < B > 16$	$r = 0,99$	$\text{БСК} = 0,1326x^2 - 3,1508x + 19,322$

поглинання спостерігається через 216–240 годин походження експерименту – 0,26–0,27 гO₂·год/л, а максимальна – на третю добу – через 72 години – 0,103 гO₂·год/л, однак коливання інтенсивності протягом усього періоду ферментації незначне (0,035–0,071 гO₂·год/л).

Інтенсивність зниження показника БСК спостерігається рівномірно, максимуму сягає на першу, другу та третю добу – 0,050–0,075 гO₂·год/л, а далі спостерігається повільне зниження інтенсивності зменшення та сягає мінімуму через 216 годин – 0,029–0,008 гO₂·год/л.

Інтенсивність поглинання фосфатів у перші шість діб, тобто до 120 годин, знаходиться на максимумі – 0,020 – 0,037 мг/год, починаючи з сьомої доби інтенсивність повільно спадає, мінімуму сягає через 216 годин – 0,005 мг/год.

Інтенсивність вилучення заліза знаходиться в межах 0,005 – 0,025 мг/год протягом усього періоду проходження досліджу, максимум спостерігається на четверту добу, починаючи з п'ятої доби вилучення

заліза досить нерівномірне та на 5, 7 та 9 добу сягає мінімуму – 0,005 мг/год.

Вилучення сульфатів при даній температурі відбувається досить інтенсивно і знаходиться на досить високому рівні протягом усього періоду ферментації – 1,092 ... 1,960 мг/год, максимум спостерігається через 144 години – 1,900–1,960 мг/год на 6 та 7 добу, мінімум спостерігається в перші 24 години – 1,092 мг/год.

Вилучення завислих речовин знаходиться в межах 0,208–1,750 мг/год, максимум спостерігається через 24 години – 1,625 мг/год, така висока інтенсивність вилучення триває до п'ятої доби 1,167–1,750 мг/добу, а далі спостерігається зниження інтенсивності і сягає мінімуму на останню добу через 240 годин – 0,208 мг/год.

Дані досліджень очищення СВ за температури 40±2°C свідчать про те, що за цих умов процес вилучення сполук відбувається більш повільно, однак спостерігається рівномірне вилучення сполук та інгредієнтів, чітких підйомів та спадів інтенсивнос-

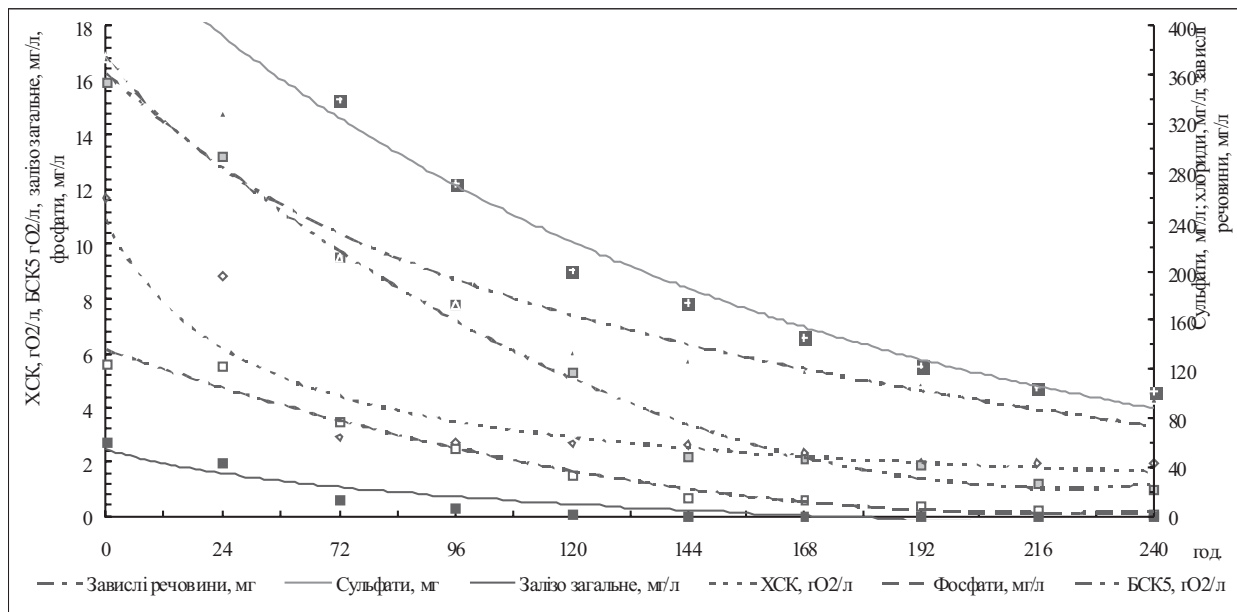


Рис. 3. Періодичне очищення СВ за температури 40±2°C

Таблиця 2

Кореляційно-дисперсійний аналіз залежностей інтенсивності вилучення хімічних сполук із використанням рослин виду *Eichornia crassipes* при температурі стічних вод 40±2°C

Функція	Область визначення функції	Тіснота зв'язку (r±m)	Рівняння залежності
Зважені речовини, мг/л	60 < ZP > 300	r = 0,99	y = 360,03e-0,1794x
Сульфати, мг/л	140 < S > 515	r = 0,99	y = -40,332x + 542,61
Фосфати, мг/л	0 < F > 6	r = 0,99	y = 0,0557x ² - 1,2487x + 6,9654
Залізо загальне, мг/л	0 < Fe > 4	r = 0,98	y = -0,2568x + 3,2725
ХСК, мгO ₂ /л	0 < X > 13	r = 0,99	y = -5,2285Ln(x) + 12,584
БСК5, мгO ₂ /л	2 < B > 16	r = 0,99	y = 21,173e ^{-0,2143x}

ті вилучення сполук не спостерігається. Можна також зробити припущення, що для даного температурного режиму процес розкладання органічних речовин більш ускладнений, ніж для попереднього температурного режиму.

Кореляційно-дисперсійний аналіз даних вилучення дозволив виявити головний фактор, що визначає ефективність вилучення інгредієнтів стічних вод – показник температури води. Аналіз даних таблиці показує, що між температурою водного середовища $40 \pm 2^\circ\text{C}$ та відсотком вилучення хімічних сполук за допомогою ейхорнії по всіх показниках існують зв'язки при коефіцієнтах кореляції $r = 0,98 \dots 0,99$, які можна охарактеризувати як дуже високі (табл. 2).

При $45 \pm 2^\circ\text{C}$ (рис. 4) різке зменшення кількості органічних забруднень у рідині – з 14 до 12,3 ($0,071 \text{ гO}_2 \text{ год/л}$) спостерігається вже через 24 години від початку ферментації СВ. Подальше змен-

шення значення ХСК відбувається повільно – на $0,004\text{--}0,021 \text{ гO}_2 \text{ год/л}$. Величина ХСК, недостатня для подальшого біохімічного очищення стоків (не більш як $2000 \text{ мгO}_2/\text{л}$), – $10300 \text{ мгO}_2/\text{л}$. Зменшення значення БСК відбувається дуже повільно і становить лише $0,008\text{--}0,017 \text{ гO}_2 \text{ год/л}$.

Вилучення фосфатів відбувається також досить повільно та чіткого спаду й підйому вилучення їх із водного розчину не спостерігається. Так, максимум вилучення настає через 72 години – $0,016\text{--}0,018 \text{ мг/год}$, мінімум – у першу добу – $0,004 \text{ мг/год}$.

Вилучення заліза відбувається також досить повільно і становить $0,001 \dots 0,008 \text{ мг/год}$.

Зменшення кількості сульфатів у стічних водах знаходиться на відносно високому рівні до 144 годин проведення експерименту – $0,404\text{--}0,837 \text{ мг/год}$, далі інтенсивність поглинання різко падає до $0,121\text{--}0,046 \text{ мг/год}$.

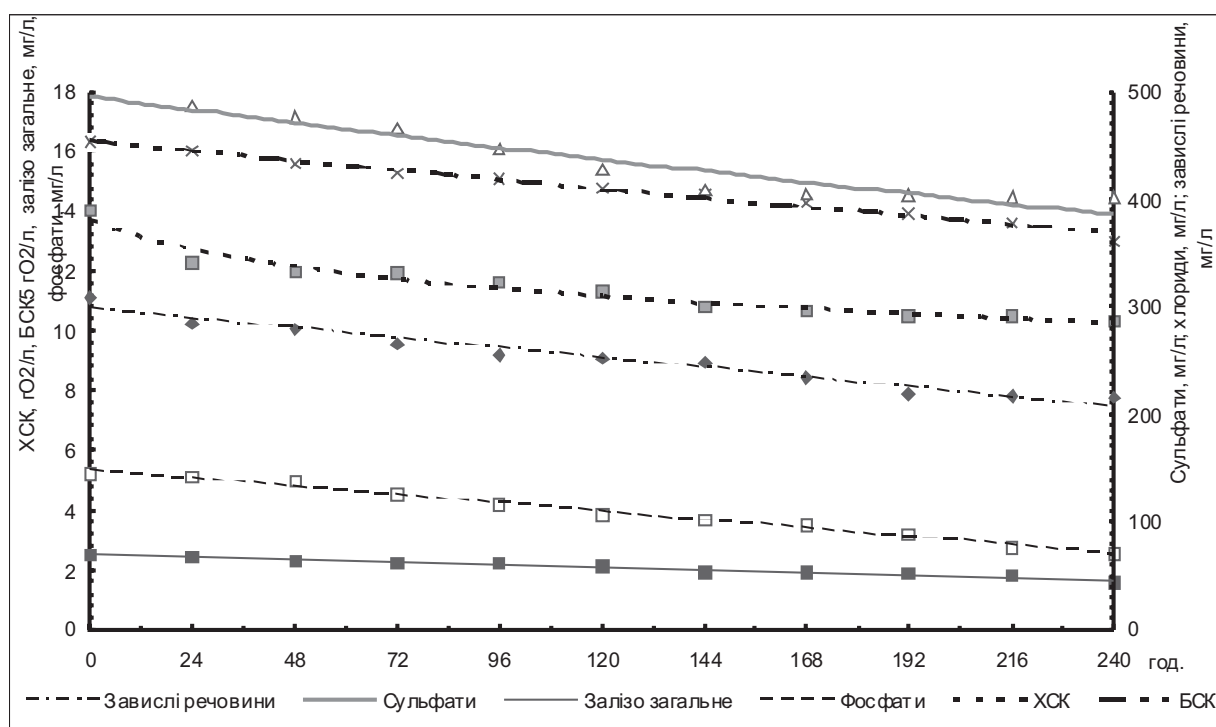


Рис. 4. Періодичне очищення СВ за температури $45 \pm 2^\circ\text{C}$

Таблиця 3

Кореляційно-дисперсійний аналіз залежностей інтенсивності вилучення хімічних сполук із використанням рослин виду *Eichornia crassipes* при температурі стічних вод $45 \pm 2^\circ\text{C}$

Функція	Область визначення функції	Тіснота зв'язку ($r \pm m$)	Рівняння залежності
Зважені речовини, мг/л	$60 < Z > 300$	$r = 0,97$	$y = -9,0159x + 306,91$
Сульфати, мг/л	$140 < S > 515$	$r = 0,95$	$y = 507,79e-0,0251x$
Фосфати, мг/л	$0 < F > 6$	$r = 0,99$	$y = -0,2801x + 5,6215$
Залізо загальне, мг/л	$0 < Fe > 4$	$r = 0,98$	$y = -0,0873x + 2,6026$
ХСК, $\text{мгO}_2/\text{л}$	$0 < X > 13$	$r = 0,97$	$y = -1,4387\text{Ln}(x) + 13,735$
БСК, $\text{мгO}_2/\text{л}$	$2 < B > 16$	$r = 0,98$	$y = 16,707e-0,0209x$

Поглинання завислих частинок сягає максимуму в перші 24 години – 1,0 мг/год, а далі інтенсивність дещо спадає та спостерігається значне коливання значень інтенсивності вилучення даного інгредієнта з водного розчину.

Під час термофільного очищення СВ значне зменшення кількості речовин у культуральній рідині спостерігається впродовж перших 24 годин ведення процесу, на відміну від наступних трьох діб, коли значення їх зменшується повільніше, а після 96 годин культивування процес розкладання забруднень уповільнюється.

Кореляційно-дисперсійний аналіз дозволив виявити головний фактор, що визначає ефективність вилучення інгредієнтів стічних вод – показник температури води. Аналіз даних табл. 3 показує, що між температурою водного середовища $45\pm 2^\circ\text{C}$ та відсотком вилучення хімічних сполук за допомогою ейхорнії по всіх показниках існують зв'язки при коефіцієнтах кореляції $r = 0,95 \dots 0,99$, які можна охарактеризувати як дуже високі (табл. 3).

ВИСНОВКИ

Дослідження показали, що при температурах стічних вод, вищих за 20°C , відбувається ефективне очищення СВ на біофільтрі з рослинами ейхорнії (значення оптимуму коливаються в межах $25\text{--}35^\circ\text{C}$), дані умови для культивування рослин ейхорнії є цілком сприятливими.

За різних температурних режимів найбільше зниження ХСК відбувається вже через 24 та 48 годин бродіння. Далі процес дещо уповільнюється.

Стоки, очищені при температурі 35°C , мають найкращі показники очищення від таких інгредієнтів як ХСК – $1940 \text{ мгO}_2/\text{л}$ (для подальшого аеробного очищення стічних вод значення ХСК не повинно перевищувати $2000 \text{ мгO}_2/\text{л}$), БСК – $1008 \text{ мгO}_2/\text{л}$ (не більше $4000 \text{ мгO}_2/\text{л}$), фосфатів – $0,07 \text{ мг/л}$ (при нормі допустимих забруднень – $0,2 \text{ мг/л}$); заліза – $0,00 \text{ мг/л}$ (при нормі допустимих забруднень – $0,3 \text{ мг/л}$); сульфатів – $102,24$ (при нормі допустимих забруднень – 250 мг/л). За цими показниками очищені стічні води не потребують повторної обробки. Отже, можна зробити висновок, що даний температурний

режим цілком підходить для очищення стічних вод за допомогою ейхорнії.

Стоки, очищені при температурі 40°C , мають кращі результати за показником ХСК, який після очищення становить $190 \text{ мгO}_2/\text{л}$; дещо кращий показник очищення від зважених частинок – $61,48 \text{ мг/л}$, однак такий забрудювач як залізо лишився в кількості $0,8 \text{ мг/л}$, при допустимій нормі забруднення $0,3 \text{ мг/л}$; показники вмісту БСК – $2680 \text{ мгO}_2/\text{л}$, сульфатів – $142,40 \text{ мг/л}$ та фосфатів – $0,07 \text{ мг/л}$ дещо нижчі ніж при очищенні при 35°C , однак цілком відповідають допустимим нормам забруднення.

У термофільному режимі (при $45\pm 2^\circ\text{C}$) відбувається мінімальне видалення органічних речовин із води за максимальний час – значення ХСК знижується до $10300 \text{ мг O}_2/\text{л}$, БСК – до $13000 \text{ мг O}_2/\text{л}$. При цьому ступінь зменшення кількості органічних речовин за величиною ХСК найменший, ніж в інших температурних режимах. Тому СВ, очищені при $45\pm 2^\circ\text{C}$, потребують подальшої обробки, а стоки, що оброблялися за температури $35\pm 2^\circ\text{C}$ і $45\pm 2^\circ\text{C}$, можуть бути направлені на подальше доочищення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Guiot S.R. Performance and biomass retention of an upflow anaerobic reactor combining a sludge blanket and a filter // *Biotechnol. Lett.* – 1984.– Vol.6, №3.– P. 161–164.
2. Rekunen S., Pelkonen J. TAMAN – Tampella's New Anaerobic Treatment Process for a Dairy Waste Waters. – 1985. – 12 p.
3. Vollmer H., Scholz W. Zweistufige anaerobe Behandlung von Schlachthofabwässern // *GIT.*– 1986. – 30, Suppl. 1.– P. 21–22, 24–27.
4. Пат. 393265 Австрія, МКІ⁵ С 02 F 11/04. Voest-Alpine Montage G.M.B.H. Verfahren zur Erhöhung der Methanausbeute bei der Vergärung / Joas E.M. – Опубл. 15.02.88. – 12 с.
5. Бублиєнко В.В. Розробка технології біотрансформації висококонцентрованих стоків деяких підприємств АПК: Дис. ... канд. техн. наук: 05.18.19. – К., 1998. – 144 с.
6. Кононцев С.В. Технологія біологічного очищення стічних вод молокозаводів: Дис. ... канд. техн. наук: 05.17.21 / НТУУ «Київський політехнічний ін-т». – К., 2006. – 158 с.