

DOI: 10.31319/2519-2884.39.2021.14

УДК 66.067

О.Р. Белянська, к.т.н., доцент, belyans@ukr.net

Ю.В. Антарьова, магістрант, yulya88antareva@ukr.net

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕРОБКИ РІДКИХ ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА КАРБАМІДУ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ БІОФІЛЬТРУ

У роботі вирішено актуальну наукову задачу, яка полягає у науковому обґрунтуванні напрямків удосконалення технології переробки рідких відходів із підвищеним вмістом нітрогену із встановленням зв'язку між варіацією шарів комбінованого фільтру і вихідною концентрацією забруднюючих домішок рідких відходів. Метою роботи є дослідження і встановлення кінетичних закономірностей процесу переробки рідких відходів виробництва карбаміду на комбінованому фільтрі, що містить іммобілізований шар ферментів, при очищенні їх від зважених речовин, розчинених нітрат-аніонів; впливу показника рН на процес фільтрації. Отримано усереднені експериментальні дані переробки рідких відходів виробництва карбаміду при фільтруванні їх на шарі висушеного опалого листя з іммобілізованим шаром ферментів.

Ключові слова: рідкі відходи, іммобілізований шар ферментів, переробка, фільтрування, карбамід.

The actual scientific problem is solved in the research. It consists in scientific substantiation of directions of processing technology improvement of liquid waste with the increased content of nitrogen with establishment of connection between variation of layers of the combined filter and initial concentration of polluting impurity of liquid waste. The aim of the research is to study and establish the kinetic laws of the process of processing liquid waste of urea production on a combined filter containing an immobilized layer of enzymes, in the process of cleaning them from suspended solids, dissolved nitrate anions; the effect of pH on the filtration process. The average experimental data of processing of liquid wastes of urea production at their filtration on a layer of the dried fallen leaves with the immobilized layer of enzymes are received.

Keywords: liquid waste, immobilized layer of enzymes, processing, filtration, urea.

Постановка проблеми

Сучасна хімічна промисловість, особливо виробництво азотних добрив, в умовах інтенсивного впровадження світових стандартів щодо захисту навколишнього середовища потребує ефективної переробки рідких відходів, що утворюються у технологічних процесах.

До складу рідких відходів — стічних вод виробництва карбаміду входить велика кількість реакційної води, конденсат гострої пари з парових ежекторів і інших апаратів, вода від охолодження плунжерних насосів і неорганізовані стоки. Головними забруднювачами стоків є зважені речовини і амоніак. На 1 т карбаміду утворюється 210—240 м³ рідких відходів.

Потрапляючи на міські очисні споруди каналізації рідкі відходи виробництва азотних добрив змішуються у камері гасіння із побутовими стічними водами та спричиняють подальші збої у роботі біологічних споруд очищення стічних вод через перевищення концентрації токсичних забруднювачів. Активний мул, який є головною складовою аеротенка, при подачі такого стоку починає гинути і за добу спухає майже у всьому об'ємі [1]. Тому актуальною задачею є дослідження і встановлення кінетичних закономірностей процесу переробки рідких відходів виробництва карбаміду на комбінованому фільтрі при очищенні їх від зважених речовин, розчинених нітрат-іонів; впливу показника рН на процес фільтрації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

У роботах науковців відомий спосіб використання процесу фільтрації при переробці рідких відходів із застосуванням композиції адсорбційно-фільтруючих матеріалів на основі рослинних відходів, як адсорбційно-фільтруючий матеріал використовують модифіковані лігноце-

люлозовмісні матеріали — кислотооброблені плодів оболонки зерен ячменю, кислотооброблені плоди пшениці, термічно оброблені плодів оболонки зерен вівса, а також подрібнений змішаний листовий опад. Такий фільтр може бути високоєфективним, але при середній і низькій концентрації забруднюючих речовин (нітроген не більше 8 мг/дм^3 , нафтопродукти не більше 2 мг/дм^3) [2].

Для зниження глобального забруднення водних ресурсів, розповсюдження хвороб, що передаються через воду, науковцями Кембріджського університету розроблено ефективний пристрій для очищення питної води. У якості фільтруючого матеріалу під тиском у пристрої використовується серцевина гілок хвойних дерев. Натуральна вторинна сировина являється легкодоступним, недорогим, біологічно розкладним і одноразовим матеріалом, може видаляти патогенні мікроорганізми. Приблизно 3 см^3 такої серцевини можуть фільтрувати воду зі швидкістю кілька літрів на добу, що достатньо для задоволення потреб однієї людини в чистій питній воді [3].

Відомі дослідження процесу переробки рідких відходів із застосуванням фільтруючої колонки, що містить ряд мікроорганізмів автотрофів і гетеротрофів. Мікроорганізми зафіксовані на нетканій основі — флізеліновому фільтруючому шарі. У таких установках відбувається комбінування процесу механічного очищення і нітрі-денітрифікації амонійних солей [4].

Актуальною темою комбінованих горизонтальних фільтрів для очищення вод ставків займається польська вчена Карчмарчик Агнешка [5]. Нею запропоновано використання фільтра на основі натуральних (рослинних) і мінеральних речовин. Такий фільтр при середніх і низьких вихідних концентраціях може очищувати стоки від зважених речовин і сполук фосфору до 99%.

Запропонований спосіб очищення стічних вод виробництва карбаміду, що включає наступні стадії: змішання стічних вод з повітрям; випаровування; бризковідділення; викид повітря з водяними парами в атмосферу. Повітря на змішання зі свіжим потоком стічної води надходить зі стадії випаровування. Глибоке очищення стічних вод передбачає наявність стадій гідролізу карбаміду, десорбції і ректифікації аміачної води при атмосферному тиску, якщо амоніак виводиться з установки, або під тиском, якщо повертається в цикл [6]. Такі технології являються ефективними, але потребують великих ресурсо- і капіталовкладень, що перешкоджає широкому впровадженню пропонованої технології.

Звертаючи увагу на те, що більшість проведених наукових досліджень присвячено очищенню рідких відходів, перспективним напрямком у технології переробки рідких відходів залишаються технології з використанням нових та екологічно безпечних методик, залученням екологічного, біологічно розкладного матеріалу.

Формулювання мети дослідження

Мета роботи полягає у дослідженні і встановленні кінетичних закономірностей процесу переробки рідких відходів виробництва карбаміду на комбінованому фільтрі при очищенні їх від зважених речовин, розчинених нітрат-іонів; впливу показника рН на процес фільтрації.

Виклад основного матеріалу

Для створення комбінованого фільтру переробки рідких відходів виробництва карбаміду використано природний носій – сухе, подрібнене листя дерев: липи, берези, дуба та клену. Листя дерев були зібрані на вулицях міста Полтави та висушені природним шляхом. Зрошування ферментами шарів фільтру відбувалось препаратом Хімотрипсин (протеолітичний фермент класу гідролаз (КФ 3.4, 4.5), що забезпечує катаболізм пептидів).

Зібрано лабораторну установку фільтрування рідких відходів (комбінований фільтр), що складається з шару гравію, річкового піску та подрібненого сухого листя, що зрошені ферментом концентрацією $0,005 \text{ г/дм}^3$. Температура модельної води на вході у фільтр становила $20 - 25 \text{ }^\circ\text{C}$. Маса листя у колонках, що використовували для фільтрування представлено у табл. 1.

Таблиця 1. Маса листя у колонках, що використовували для фільтрування

Найменування показника	Листя берези			Листя дуба		
	фільтрування			фільтрування		
	перше	друге	третє	перше	друге	третє
Маса листя у колонці, г	25,076	25,076	25,076	25,078	25,078	25,078
	Листя липи			Листя клену		
	фільтрування			фільтрування		
	перше	друге	третє	перше	друге	третє
	25,054	25,054	25,054	24,065	24,065	24,065

Для визначення впливу мікрофлори фільтру на процес переробки рідких відходів проведено додаткові два напрямку дослідження:

- аналіз фільтрату, що утворився після переробки рідких відходів на комбінованому фільтрі з прошарком стерильного листя клену та стерильних досліджуваних розчинів;
- аналіз фільтрату, що утворився після переробки рідких відходів на комбінованому фільтрі з прошарком нестерильного та не стерильних досліджуваних розчинів.

Стерилізація аналізуючих розчинів та складових біофільтру (пісок, гравій, колонка) проводилась шляхом автоклавування при температурі 102°C та тиску 0,5 кг/мм² протягом 40 хвилин. Результати дослідження переробки рідких відходів на комбінованому фільтрі із прошарком листя берези і дуба представлено у табл. 2.

Таблиця 2. Результати дослідження переробки рідких відходів на комбінованому фільтрі із прошарком листя берези і дуба

Показник	Вихід- на вода	Листя берези			Листя дуба		
		фільтрування			фільтрування		
		перше	друге	третє	перше	друге	третє
Лужність	120	80	80	80	80	120	80
pH	8,4	6,8	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Жорсткість	50	125	125	125	125	50	50
Зважені частинки г/дм ³	37	8	6	6	12	8	7
Вміст нітрат-аніонів, мг/дм ³	12	0,25	0,075	0,05	0,13	0,08	0,05

Після 1 год 15 хвилин фільтрування спостерігається зниження вмісту нітратів з 12 мг/дм³ до 0,05 мг/дм³ при використанні у комбінованих фільтрах листя дуба і берези. Вміст зважених речовин знижувався з 37 г/дм³ до 6–7 г/дм³ після повторного використання фільтру, що пояснюється підвищенням активності мікроорганізмів і ферментів на поверхні активних фаз фільтрувального шару листя. Водночас, підвищений вміст дубільних речовин і природна структура листя дуба і берези сприяє стійкості шару листя до процесів бродіння, допомагає використовувати такий фільтр багаторазово.

Передбачалось, що отримані фільтрати були прозорими та частково забарвленими, але з кожним фільтруванням інтенсивність забарвлення фільтрату зменшувалась.

Результати дослідження переробки рідких відходів на комбінованому фільтрі із прошарком листя липи та клена представлено у табл. 3.

Таблиця 3. Результати дослідження переробки рідких відходів на комбінованому фільтрі із прошарком листя липи та клена

Показник	Вихідна вода	Листя липи			Листя клена		
		фільтрування			фільтрування		
		перше	друге	третє	перше	друге	третє
Лужність	120	120	120	80	80	80	80
pH	8,4	7,6	7,8	7,6	7,6	7,6	7,6
Жорсткість	50	250	125	125	250	125	125
Зважені частинки г/дм ³	37	25	16	15	30	28	28
Вміст нітрат-аніонів, мг/дм ³	12	0,15	0,08	0,36	0,17	0,16	0,12

Після фільтрування спостерігається зниження вмісту нітратів з 12 мг/дм³ до 0,08 мг/дм³ при використанні у комбінованих фільтрах листя липи і клена. Вміст зважених речовин знижувався з 37 г/дм³ до 15 г/дм³ після третього разу використання фільтру, що пояснюється підвищенням активності мікроорганізмів. Водночас, природна структура листя липи та клену є тонкою та має біоплівку, що легко руйнується і прискорює процес природного аеробного бродіння.

Попередня стерилізація досліджуваних відходів і всіх шарів комбінованого фільтру не сприяла інтенсифікації очищення від нітрат-аніонів. Очищення відбувалось лише від зважених частинок. Через 80 хвилин фільтрування із застосуванням шару клену, липи зниження концентрації зважених речовин було з 37 до 15 г/дм³, а концентрація нітрат-аніонів на виході з фільтру становила 12 мг/дм³, тобто такою як і на вході. Отриманий результат свідчить про те, що головну роль у процесі переробки рідких відходів карбаміду відіграють саме мікроорганізми, що знаходяться на поверхні шару листя. Під дією високих температур, частина активної групи мікроорганізмів, що відповідає за біологічне очищення, знищується.

Також проводилось дослідження подальшого відстоювання відфільтрованих рідких відходів на комбінованому фільтрі із прошарком листя липи та клену, результати якого представлено у табл. 4.

Таблиця 4. Результати дослідження подальшого відстоювання відфільтрованих рідких відходів на комбінованому фільтрі із прошарком листя липи та клену

Показник	Вихідна вода	Листя липи			Листя клену		
		1	2	3	1	2	3
Лужність	120	40	120	80	0	80	80
pH	8,4	7,4	7,8	7,6	6,8	7,6	7,6
Жорсткість	50	250	125	125	125	125	125
Вміст нітрат-аніонів, мг/дм ³	0,12	0,19	0,12	0,36	0,21	0,19	0,15

У фільтрах після витримки при кімнатній температурі протягом 16 годин розчин ставав каламутним та мав кислуватий запах, спостерігався сплеск вмісту нітратів від 0,12 мг/дм³ до 36 мг/дм³, що свідчить про розвиток мікроорганізмів та процес бродіння. Підвищений вміст зважених речовин після фільтрації 15 — 30 г/дм³ (при вихідній 37 г/дм³) і зміна кольору фільтрату від яскраво жовтого до темно коричневого свідчить про винос із фільтру мікрочасток листя липи і клену у фільтрат. Листя клену і липи після висушування стають крихкими, мають на поверхні листку сітку мікротріщин і листовий пил, що утворюється при переломі листків. Хоча і вміст нітрат-аніонів знижується з 12 мг/дм³ до 0,08 мг/дм³, при подальшому відстоюванні

домішки частинок листя сприяють інтенсифікації процесу бродіння і вивільненню сполук нітрогену з листя у розчин.

Визначено, що оптимальна швидкість переробки рідких відходів виробництва карбаміду досягається в розчинах з активною реакцією іонів гідрогену в межах 6,5—7,3. Зміщення рН в лужне середовище вище ніж 7,3 суттєво сповільнює швидкість метаболізму бактерій і виділення нітрогену з розчину, водночас зміщення рН в кисле середовище також суттєво сповільнює швидкість метаболізму бактерій. Чим вище значення рН, тим довший час переробки рідких відходів. Отже, для ефективного ведення процесу необхідно підтримувати значення рН в межах 6,5—7,3. Кінетика зміни концентрації нітрат-аніонів від часу фільтрування на комбінованому фільтрі при використанні головного фільтруючого прошарку — сухого листя представлено на рис. 1.

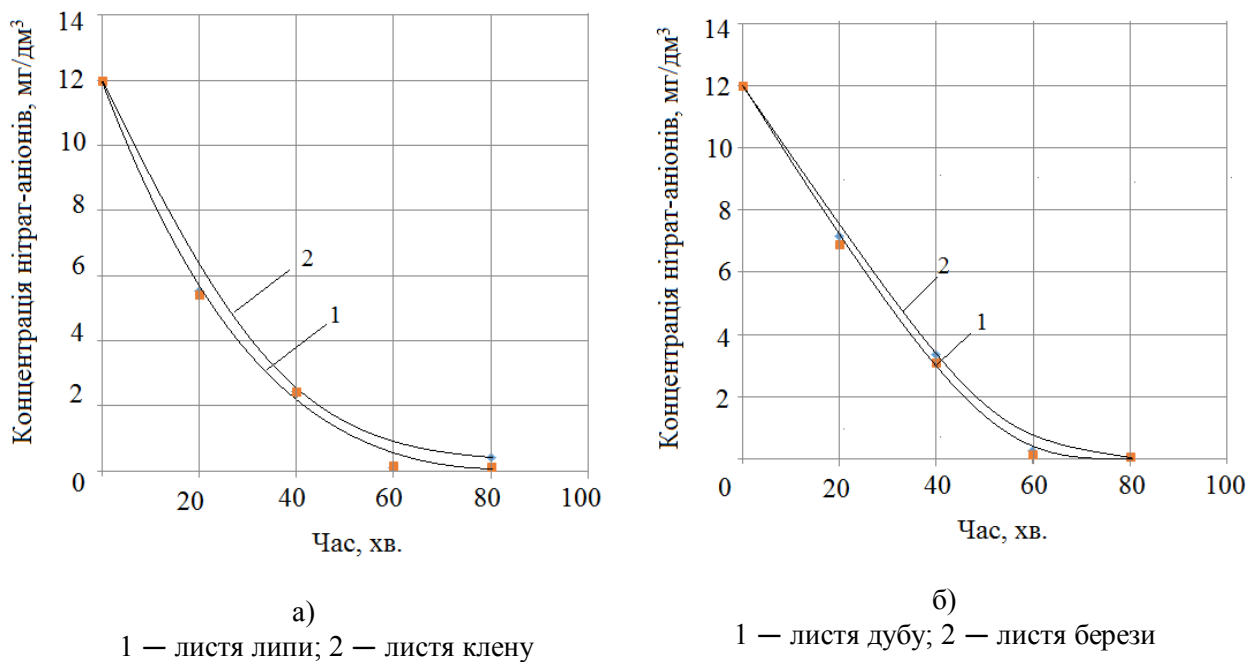


Рис. 1. Кінетика зміни концентрації нітрат-аніонів від часу фільтрування на комбінованому фільтрі при використанні головного фільтруючого прошарку — сухого листя

У роботі встановлено, що час фільтрування рідких відходів виробництва карбаміду через комбінований фільтр, що містить шари гравію, сухого листя, піску, повинен становити 60—80 хвилин. Рівномірна, поступова подача рідини до фільтру сприяє якійсь не тільки механічній очистці, але й від розчинених нітрат-аніонів. Цікава відмінність спостерігалась під час фільтрування рідких відходів через шар листя клену. Після 60 хвилин фільтрування на поверхні листя клену підвищувалась активність мікроорганізмів, і через 20 хвилин концентрація нітрат-аніонів починала поступово зростати з 0,12 до 0,16 мг/дм³. Стабільний позитивний результат отримано на фільтрах з прошарками дубу і берези 0,06—0,05 мг/дм³ нітрат-аніонів через 80 хвилин фільтрування.

На основі схеми клітинної будови листя [7] створено схему сорбції забрудників у шарі листя на клітинному рівні, що представлено на рис. 2.

Механізм сорбції забрудників у шарі листя наступний. В процесі висушування клітки м'якоті листа 2 стають менші, з'являються тріщини на поверхні 1 кліток верхньої і нижньої шкіри листя 6. Частилки забрудників потрапляють через устя 5 висушеного листя до міжклітинників 4, де поступово накоплюються. Через те, що листя висушене, простір міжклітинників стає щільним і шматочки забрудника можуть зачіплятися за їх внутрішню поверхню. Таким чином відбувається сорбція забрудників рідких відходів у шарі листя на клітинному рівні.

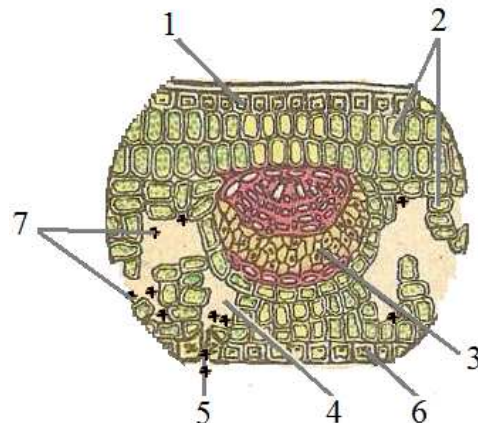


Рис. 2. Схема сорбції забрудників у шарі листя на клітинному рівні: 1 — клітки верхньої шкіри; 2 — клітки м'якоті листя; 3 — клітки жилки листя; 4 — міжклітники; 5 — устя; 6 — клітки нижньої шкіри; 7 — частинки забрудника

Вузол біофільтрування для удосконалення технологічної схеми переробки рідких відходів на комбінованому фільтрі з прошарком листя дуба та берези із застосуванням іммобілізованого шару ферментів представлена на рис. 3.

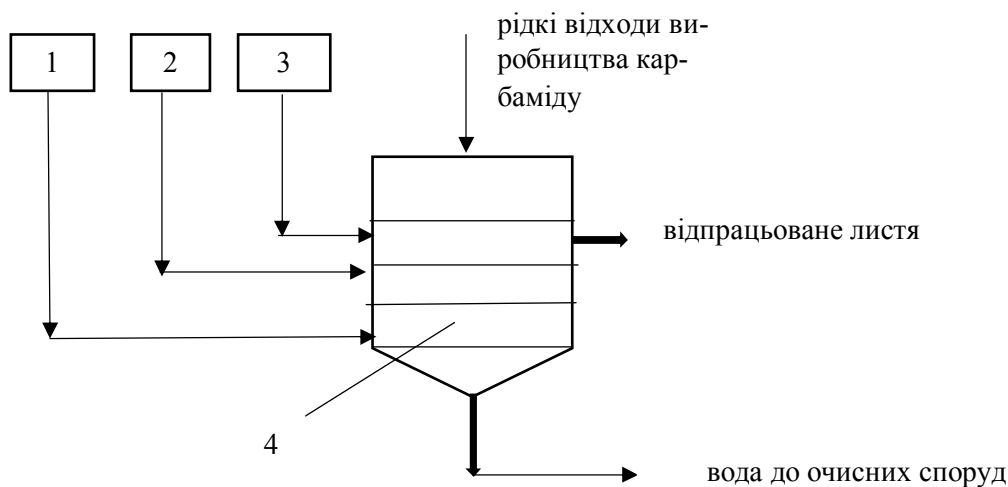


Рис. 3. Вузол біофільтрування на комбінованому фільтрі з прошарком листя дуба та берези із застосуванням іммобілізованого шару ферментів: 1 — бункер для зберігання гравію; 2 — бункер для зберігання піску; 3 — бункер для зберігання листя; 4 — гравійний біофільтр

Комбінований фільтр складається із шару гравію, піску та сухого листя дуба та/або берези. Для створення прошарків біофільтру спочатку засипається гравій, далі пісок та сухе попередньо подрібнене опале листя. Для фільтру необхідно взяти масу листя з розрахунку 260 г листя на 100 дм^3 рідких відходів. У сформований біофільтр зверху подається фермент хімотрипсин концентрацією $0,005 \text{ г/ дм}^3$. Через 30 хвилин поступово впродовж 60—80 хвилин подаються у фільтр рідкі відходи з температурою $10\text{--}25 \text{ }^\circ\text{C}$. Очищені рідкі відходи можуть подаватися до біологічних споруд каналізації. Порчаткова концентрація зважених часток у рідких відходах не повинна перевищувати концентрацію $37\text{--}40 \text{ г/дм}^3$. Відпрацьований шар листя пропонується використовувати у якості органо-мінерального добрива, що додають у ґрунт в осінній період.

Висновки

Досліджено і встановлено кінетичні закономірності процесу переробки рідких відходів виробництва карбаміду на комбінованому фільтрі, що містить іммобілізований шар ферментів, при очищенні їх від зважених речовин, розчинених нітрат-аніонів; впливу показника рН на процес фільтрації. Час фільтрування рідких відходів виробництва карбаміду через комбінований фільтр повинен становити 60 — 80 хвилин. Рівномірна, поступова подача рідини до фільтру сприяє якійсь не тільки механічній очистці, але й від розчинених нітрат-аніонів. Стабільний позитивний результат отримано на фільтрах з прошарками:

– дубу і берези, концентрація нітрат-аніонів знижувалась з 12 до 0,06—0,05 мг/дм³ через 80 хвилин фільтрування. Вміст зважених речовин знижувався з 37 г/дм³ до 6–7 г/дм³. Водночас, підвищений вміст дубільних речовин і природна структура листя дуба і берези сприяє стійкості шару листя до процесів бродіння, допомагає використовувати такий фільтр багаторазово.

– листя липи і клена, концентрація нітрат-аніонів знижувалась з 12 мг/дм³ до 0,08 мг/дм³ через 80 хвилин фільтрування. Вміст зважених речовин знижувався з 37 г/дм³ до 15 г/дм³ після третього разу використання фільтру, що пояснюється підвищенням активності мікроорганізмів. Водночас, природна структура листя липи та клену є тонкою, має біоплівку, що легко руйнується і прискорює процес природного аеробного бродіння.

Попередня стерилізація досліджуваних відходів і всіх шарів комбінованого фільтру не сприяла інтенсифікації очищення від нітрат-аніонів. Очищення відбувалось лише від зважених частинок. Отриманий результат свідчить про те, що головну роль у процесі переробки рідких відходів карбаміду відіграють саме мікроорганізми, що знаходяться на поверхні шару листя. Під дією високих температур, частина активної групи мікроорганізмів, що відповідає за біологічне очищення, знижується.

Визначено, що у фільтратах після витримки при кімнатній температурі протягом 16 годин розчин, який попередньо був очищений на комбінованому фільтрі із листям липи і клену, ставав каламутним та мав кислуватий запах, спостерігався сплеск вмісту нітратів від 0,12 мг/дм³ до 36 мг/дм³, що свідчить про розвиток мікроорганізмів та процес бродіння. Листя клену і липи після висушування стають крихкими, мають на поверхні листку сітку мікротріщин і листовий пил, що утворюється при переломі листків. Хоча вміст нітрат-аніонів одразу після очищення знижується, при подальшому відстоюванні домішки частинок листя сприяють інтенсифікації процесу бродіння і вивільненню сполук нітрогену з листя у розчин.

Виконано наукове обґрунтування напрямку удосконалення технології переробки рідких відходів із підвищенням вмістом нітрогену. Запропоновано вузол біофільтрування на комбінованому фільтрі з прошарком листя дуба та берези із застосуванням іммобілізованого шару ферментів. Комбінований фільтр складається із шару гравію, піску та сухого листя дуба та/або берези. У сформований біофільтр зверху подається фермент Хімотрипсин концентрацією 0,005 г/дм³. Через 30 хвилин поступово впродовж 60—80 хвилин подаються у фільтр рідкі відходи з температурою 10—25°С. Порчаткова концентрація зважених часток у рідких відходах не повинна перевищувати концентрацію 37—40 г/дм³. Визначено, що оптимальна швидкість переробки рідких відходів виробництва карбаміду досягається в розчинах з активною реакцією іонів гідрогену в межах 6,5—7,3.

Список використаної літератури

1. Долина Л. Ф. Очистки сточных вод от биогенных элементов. [Монографія] / Леонид Федорович Долина. Днепропетровск: Континент, 2010. 198 с.
2. Алексеева А. А. Способ очистки сточных вод [Електронний ресурс] / А. А. Алексеева, И. Р. Гареев, С. В. Степанова // Публичное акционерное общество «Татнефть» имени В.Д. Шашина. 2020. Режим доступа до ресурсу: <https://findpatent.ru/patent/273/2736497.html>.
3. Water Filtration Using Plant Xylem / [M. S. Boutilier, J. Lee, V. Chambers та ін.]. // Zhi Zhou, National University of Singapore, Singapore. 2014. С. 183–193.

4. Spychała M. J. Ocena struktury biomasy oraz warunków technologicznych i procesów w oczyszczaniu wody i ścieków bytowych na filtrach włókninowych : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. с.-г. наук "kształtowanie środowiska" / Spychała Marcin Jędrzej. Akademii Rolniczej im. A. CieszkowskiegoPoznań, 2017. 36 с.
5. Karczmarczyk A.A. Analiza przydatności naturalnych sorbentów do usuwania fosforu w lokalnych systemach oczyszczania ścieków : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. с.-г. наук "kształtowanie środowiska" / Karczmarczyk Agnieszka Alicja . Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska. Warszawa, 2020. 39 с.
6. Бобров В.В. Способ термической очистки сточных вод производства карбамида. Патент ВУ 13415. Опубл. 30.08.2010. 10 с.
7. Трайтак Д. И. Клеточное строение листа. [Электронный ресурс] / Дмитрий Илларионович Трайтак // Kaz-Ekzams.ru. Режим доступа до ресурсу: <https://kaz-ekzams.ru/biologiya/uchebnaya-literatura-po-biologii/botanika/810-kletochnoe-stroenie-lista.html>.

INVESTIGATION OF THE PROCESS OF PROCESSING LIQUID WASTE OF UREA PRODUCTION USING A BIOFILTER

Bielianska O., Antareva Y.

Abstract

The kinetic regularities of the recycling process of liquid waste of urea on the combined filter which contains the immobilized layer of enzymes at the process of their purification from the suspended substances, dissolved nitrate anions; the effect of pH on the filtration process are investigated and established in our research. A stable positive result was obtained on the filters with layers of:

– oak and birch, the concentration of nitrate anions decreased from 12 to 0,06 — 0,05 mg/dm³ after 80 minutes of filtration. The content of suspended solids decreased from 37 g/dm³ to 6 — 7 g/dm³. At the same time, the increased content of tannins and the natural structure of oak and birch leaves contributes to the resistance of the leaf layer to fermentation processes, helps to use such kind of filter repeatedly.

– linden and maple leaves, the concentration of nitrate anions decreased from 12 mg/dm³ to 0,08 mg/dm³ after 80 minutes of filtration. The content of suspended solids decreased from 37 g/dm³ to 15 g/dm³ after the third use of the filter, due to increased activity of microorganisms. At the same time, the natural structure of linden and maple leaves is thin, has a biofilm that is easily destroyed and accelerates the process of natural aerobic fermentation.

The scientific substantiation of the direction of improvement of technology of processing of liquid waste with the increased content of nitrogen is executed. A bio filtration unit on a combined filter with a layer of oak and birch leaves with the use of an immobilized layer of enzymes is proposed. The combined filter consists of a layer of gravel, sand and dry oak and/or birch leaves. The enzyme Chymotrypsin at a concentration of 0,005 g/dm³ is fed into the formed bio filter from above. After 30 minutes, liquid waste with a temperature of 10 25 °C is gradually fed into the filter over 60 — 80 minutes. The initial concentration of suspended particles in liquid waste should not exceed a concentration of 37 — 40 g/dm³. It is determined that the optimal rate of processing of liquid waste of urea production is achieved in solutions with active reaction of hydrogen ions in the range of 6,5—7,3.

References

- [1] Dolina L. F. (2010). *Ochistki stochnyh vod ot biogennyh elementov [Monografiya]* Dnepropetrovsk: Kontinent [in Ukrainian].
- [2] Alekseeva A. A. (2020) Sposob ochistki stochnyh vod [Wastewater treatment method] / A. A. Alekseeva, I. R. Gareev, S. V. Stepanova // *Publichnoe akcionernoje obshchestvo «Tatneft'» imeni V.D. Shashina*. Retrieved from: <https://findpatent.ru/patent/273/2736497.html> [in Russia].
- [3] Water Filtration Using Plant Xylem / [M. S. Boutilier, J. Lee, V. Chambers at al.]. // *Zhi Zhou, National University of Singapore, Singapore*. 2014. P. 183–193.

- [4] Spychała M. J. (2017) Ocena struktury biomasy oraz warunków technologicznych i procesów w oczyszczaniu wody i ścieków bytowych na filtrach włókninowych [Assessment of the structure of biomass as well as technological conditions and processes in the treatment of domestic water and sewage on non-woven filters]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Poznan : Agricultural Academy A. Cieszkowski [in Poland].
- [5] Karczmarczyk A. A. (2020) Analiza przydatności naturalnych sorbentów do usuwania fosforu w lokalnych systemach oczyszczania ścieków [Analysis of the suitability of natural sorbents for phosphorus removal in local wastewater treatment systems]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Warsaw : Department of Construction and Environmental Engineering [in Poland].
- [6] Bobrov V.V. Sposob termicheskoy ochistki stochnyh vod proizvodstva karbamida [Method for thermal treatment of waste water from urea production] Patent BY 13415. Publ. 30.08.2010. 10 p. [in Belarus].
- [7] Trajtak D. I. *Kletochnoe stroenie lista*. [Cellular structure of the leaf] / Dmitrij Illarionovich Trajtak // *Kaz-Ekzams.ru*. Retrieved from : <https://kaz-ekzams.ru/biologiya/uchebnaya-literatura-po-biologii/botanika/810-kletochnoe-stroenie-lista.html> [in Russia].