

УДК 628.33

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.238732

## Підвищення екологічної безпеки виробництва чипсів шляхом розробки методу очищення та рециклінгу стічних вод

О. С. Гетта, О. В. Шестопапов, В. І. Дуганець, О. В. Шубравська,  
О. В. Рудковський, Н. М. Параняк Н. В. Рязанова-Хитровська,  
О. А. Максименко

Дослідження присвячено визначенню ефективності механічних і фізико-хімічних методів очищення стічних вод підприємства картопляних чипсів. Встановлено, що стічні води, які утворюються на різних етапах виробництва відрізняються за складом. Стічна вода після миття та чищення картоплі забруднена переважно завислими ґрунтовими речовинами близько 500 мг/л, які не відстоюються, а також має розчинні органічні речовини зі значенням ХСК близько 1000 мг/л.

Встановлено, що використання коагуляційно-флокуляційної очистки дозволяє отримати прозору воду, придатну до повторного використання її для миття картоплі. Ефективним для порушення стійкості дисперсної системи виявився коагулянт – сульфат алюмінію в кількості 250 мг/л. Для інтенсифікації осідання скоагульованих пластівців завислих часток підібрано неіоногенний флокулянт, який рекомендовано дозувати після введення коагулянту в кількості по 2,5 мл/л. Встановлено залежність зміни швидкості осадження флокул від кількості флокулянту. Аналіз освітленої води свідчить про зниження концентрації завислих часток до 26 мг/л та зменшення ХСК та БСК<sub>5</sub> до значень 262 мг/л та 176 мг/л відповідно.

Виконані дослідження дозволили запропонувати схему очищення стічної води після миття картоплі, яка складається з попереднього проціджування, реагентної обробки, освітлення води та зневоднення осаду. Ця схема дозволяє інтенсивно очистити воду до норм скидання у каналізаційну мережу. Однак для повторного використання освітленої води для миття овочем на самому виробництві запропоновано додаткове знезараження води окиснювачами, наприклад, озоном.

Використання запропонованої схеми інтенсивного очищення води дозволить підвищити екологічну безпеку виробництва чипсів шляхом попередження забруднення довкілля зниження обсягів використання водопровідної води.

Ключеві слова: флокуляція, коагуляція, екологізація виробництва, стічні води, екологічна безпека, виробництво картопляних чипсів, відстоювання, центрифугування, завислі частинки, фізико-хімічні методи очищення.

### 1. Вступ

Переробка овочевої продукції є однією з ключових галузей харчової промисловості будь-якої держави. А саме ця галузь господарства часто є

джерелом утворення великої кількості висококонцентрованих промислових стічних вод. Надходження забруднених стоків до міських систем водовідведення без попереднього очищення може бути причиною порушення умов експлуатації мереж, насосних станцій, очисних споруд, що у свою чергу несе загрозу природним водоймам [1].

Практично всі харчові виробництва пов'язані зі споживанням води з водопроводу, свердловини чи колодязів.

Воду, яку використовують для харчового виробництва за призначенням поділяють на технологічну та технічну. До технологічної води відноситься та, яка є сировиною і входить до складу харчових продуктів і напоїв, а також воду, яка безпосередньо контактує з харчовою сировиною в технологічному процесі. До технічної води (або води технічного призначення) відносять воду, яку використовують для забезпечення технологічного процесу на всіх стадіях виробництва і функціонування підприємства в виробництві цілому. Отже, така вода не має контакту з сировиною, напівпродуктами і готовою продукцією, а використовується для охолодження напівфабрикатів і продуктів, миття виробничих приміщень тощо.

Стічні води підприємств харчової промисловості відрізняються високими концентраціями різних органічних забруднень (жири, білки, крохмаль, цукор і т. п.). Для таких стічних вод характерні високі показники хімічного споживання кисню (ХСК), біологічного споживання кисню (БСК), завислих речовин, жирів і інших забруднень.

Скидання таких стічних вод в міську каналізацію без попередньої очистки неприпустиме. Саме тому стічні води харчової промисловості вимагають розробки ефективних технологічних схем очищення перед скидом у міську каналізацію, водні об'єкти або вторинним використанням на виробництві у замкнутому циклі.

## **2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми**

В залежності від галузі харчового виробництва (плодоовочеві, спиртозаводи, рибопереробні, м'ясо-молочні та інші), вміст та вид забруднювачів у стічній воді відрізняються в широких межах. В роботі [2] проаналізовано вміст забруднюючих речовин у стічних водах харчових виробництв різного профілю та методи очищення стічних вод. Зазначено, що основними методами очищення стічних вод, які містять завислі речовини, є механічні методи. Для зниження показників ХСК та БСК використовують хімічні, фізико-хімічні та біологічні методи. Проте недостатньо висвітлено можливість вторинного використання стічних вод на підприємстві. Цікавими для цієї мети можуть бути стічні води плодоовочевих заводів, які не є висококонцентрованими. Усереднені показники стічних вод після операцій миття плодоовочевої продукції наступні [2]:  $t=18-20$  °С, БСК<sub>5</sub>=550–600 мг/л, ХСК=330–370 мг/л, загальний азот=22–25 мг/л, фосфор=3–7 мг/л. Забруднюючими речовинами в стічних водах плодоовочевих заводів після миття овочів та фруктів є частинки ґрунту, сік, овочеві і фруктові відходи. Навіть при обробці однієї і тієї ж сировини стічні води харчових підприємств можуть істотно

відрізнятися. Крім того, склад стічних вод виробництв може значно коливатися в залежності від сезону року. Поте саме цей вид стічних вод є перспективним для рециклінгу на виробництво на стадію миття овочей від ґрунту.

В сучасних європейських країнах ведеться інтенсивний пошук найбільш раціональних і високоефективних методів і технологій очищення висококонцентрованих стічних вод підприємств харчової промисловості [3]. Ефективне очищення стічних вод та недопустимість забруднення навколишнього середовища є запорукою екологічної безпеки діючих виробництв. Крім того, частина очищеної води може повертатись на виробництво та використовуватись у замкненому циклі для технологічних потреб, наприклад, миття приміщень, обладнання або овочей. Вторинне використання очищеної води знижує необхідність скиду, а також призводить до економії споживання чистої водопровідної води, тобто є економічно доцільним. Однак очищені стічні води можна безпечно утилізувати або повторно використати в самому виробництві за умови відповідності до відповідних нормативів якості питної води. В кожній країні ці нормативи регламентують вимоги до органолептичних та токсикологічних якостей води. Наприклад, в Україні діє ДСанПіН 2.2.4-171 [4], для країн Євросоюзу потрібно дотримуватись вимог Директиви ЄС 98/83 [5], в США – NPDWR EPA [6] та ін.

Широке застосування в практиці очищення стічних вод знаходять фізико-хімічні або реагентні методи – вони досить ефективні і прості. Їх можна застосовувати практично при необмежених обсягах стічних вод. Процеси коагуляції і флокуляції широко використовуються в багатьох галузях харчової промисловості при очищенні стічних вод [7]. Основна мета коагуляції і флокуляції полягає в зменшенні каламутності стічних вод шляхом агрегації забруднень з подальшим відстоюванням або фільтрацією. Для очищення стічних вод застосовують різні мінеральні коагулянти, що здатні утворювати аморфні або дрібнокристалічні структури, які малорозчинні у воді.

Процеси коагуляції і флокуляції полегшують видалення завислих речовин і колоїдів шляхом їх концентрування в формі пластівців (флокул) з подальшим відділенням в системах відстоювання флотації і/або фільтрування [8]. Ці процеси є базовими для повного або часткового коригування характеристик води, обумовлених найбільш інертними домішками (мули, глини, колоїди). Але є об'єктивні труднощі, що пов'язані з визначенням методу очищення стічної води та підбору типу та кількості реагентів, тому що універсальний метод очищення води відсутній. Варіантом подолання відповідних труднощів є проведення досліджень з реальними промисловими рідинами. Коли змінюється склад та концентрація забруднень у стічних водах різних виробництв потрібно змінювати тип та кількість реагентів. Тому підбір інтенсивного методу очищення, типу та дози реагенту необхідно здійснювати залежно від складу конкретної проби стічної води. Інакше ефективність очищення стічних вод буде низькою, або реагенти використовуватимуться неефективно у великому надлишку.

Коагуляція та флокуляція є основними методами попередньої обробки, які застосовуються у промисловості в усьому світі. Для інтенсифікації процесу агрегатоутворення багато років використовують солі алюмінію та заліза [9].

Проте вибір виду коагулянту, який ефективно буде працювати також потребує експериментального підбору та перевірки його ефективності. Особливо це питання важливе коли коагулянт використовують сумісно з іншими реагентами, наприклад, флокулянтом.

Проте слід зазначити, що агрегатоутворення під час використання різноманітних коагулянтів та флокулянтів недостатньо досліджений процес, який залежить від багатьох факторів. Ефективність використання цього методу залежить від дозування реагентів [10], рН середовища [11], часу, швидкості та способу перемішування [12] та інші фактори, на які можна вплинути під час оптимізації процесу очищення стічних вод [13]. Однак відсутні чіткі рекомендації щодо вибору факторів, які можна використати для очищення стічних вод після миття плодово-овочевої продукції, зокрема виробництва картопляних чипсів. Все це дає підстави стверджувати, що доцільним є проведення дослідження, присвяченого пошуку ефективного методу очищення стічних вод після миття овочей.

Крім того, актуальним невирішеним питанням є забезпечення стійкості утворених агрегатів до механічного впливу. Відомо, що флокули після утворення здатні руйнуватись під час транспортування до відстійників або апаратів зневоднення шламу. Так, наприклад, дослідження стійкості флокул на прикладі вугільного шламу згідно з [14] показали, що збереження розміру утворених агрегатів залежить від концентрації та дисперсного складу твердої фази. А для ефективного зневоднення осаду в центрифугах залишкова швидкість осідання флокул після механічного впливу повинна складати не менше 2 мм/с.

Складний хімічний склад реальних стічних вод, який залежить від особливостей конкретного виробництва, не дозволяє одразу визначити тип та кількість реагентів, а також підібрати фактори, які вплинуть на процес очищення води. Тому для розробки рекомендацій щодо очищення стічних вод конкретного виробництва необхідно в кожному конкретному випадку здійснювати підбір ефективних методів очищення. Саме тому потрібні додаткові дослідження з інтенсифікації використання реагентів та умов їх застосування, виконувати дослідження швидкості осідання утворених агрегатів та їх стійкості до механічних впливів.

### **3. Мета та задачі дослідження**

Метою дослідження є інтенсифікація очищення стічних вод після миття картоплі задля підвищення екологічної безпеки виробництва картопляних чипсів. Це необхідно для розробки обґрунтованої схеми очищення стічних вод після миття овочевої продукції.

Для досягнення мети в роботі потрібно було виконати наступні дослідження:

- проаналізувати склад забруднень стічних вод, які утворюються на різних стадіях технології виробництва чипсів;
- дослідити ефективність очищення стічної води механічними та фізико-хімічними методами;

– розробити рекомендації щодо технології очищення стічних вод до норм скиду у каналізацію та вторинного використання води для миття картоплі.

#### 4. Матеріали та методи досліджень

Об'єктом даного дослідження були стічні води одного з діючих виробництв картопляних чіпсів. Стічні води даного виробництва після миття та порізки картоплі містять характерні забруднення для стічних вод переробки овочевої продукції: ґрунтові частинки, сік та овочеві рештки. В гіпотезу дослідження покладено порівняння ефективності методів очищення стічних вод після миття картоплі для підвищення екологічної безпеки підприємства. Передбачалось, що очищену стічну воду можливо повернути в технологічний цикл підприємства на стадію миття картоплі.

Процедура досліджень очищення стічної води від завислих та розчинних частинок включала наступні етапи:

- відбір проб стічної води на різних етапах виробничого циклу;
- дослідження складу стічних вод, які утворюються на різних стадіях виробництва, на вміст забруднюючих речовин;
- вибір перспектив очищення стічної води до норм вторинного використання на підприємстві;
- підбір механічних та фізико-хімічних методів очищення стічної води та порівняння їх ефективності;
- розробка технологічної схеми очищення стічної води після миття овочевої продукції.

В результаті обстеження технології системи каналізування стоків на всіх етапах одного з виробництв картопляних чіпсів (рис. 1) були відібрані п'ять проб стічної води. Характеристика цих проб наступна: злив апарату миття картоплі (Проба № 1); об'єднаний стік після миття і очищення картоплі (Проба № 2); злив соку після нарізання (Проба № 3); суміш всіх стічних вод з промислового відстійника (Проба № 4); піна бланшування (Проба № 5). Хімічний аналіз з визначення основних забруднень відібраних проб проводився в сертифікованій лабораторії.

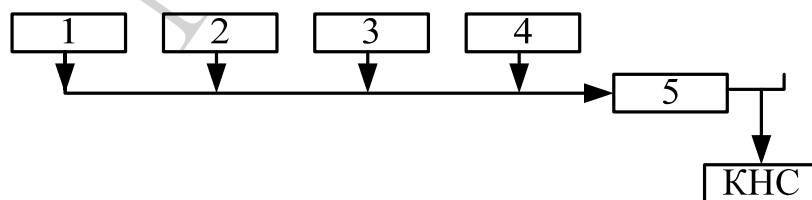


Рис. 1. Схема утворення та каналізування стічних вод виробництва картопляних чіпсів: 1 – миття і очищення картоплі; 2 – різання картоплі на слайси та баланшування; 3 – жири, масла, що потрапляють в каналізацію із-за негерметичності устаткування; 4 – періодичний стік після миття устаткування; 5 – горизонтальний відстійник на підприємстві, КНС – каналізаційна станція

Підбір методів очищення стічних вод здійснювався за стандартними методиками і складався з дослідів з відстоювання, фільтрування, центрифугування, коагуляції та флокуляції з подальшим відстоюванням проб стічної води.

Дослідження з відстоювання стічних вод в полі гравітаційних сил та з додаванням реагентів (коагулянтів та флокулянтів) здійснювалось в стандартному лабораторному посуді. Підбір реагентів для очищення стічних вод був проведений після тестових експериментів, в яких застосовували три різних типи біофлокулянта на основі поліакриламідів: катіонний флокулянт ТФК-7, аніонний флокулянт ТФА-19 і неіоногенний флокулянт ТФН (технічний флокулянт неіоногенний). Дослідження швидкості осадження після введення реагентів в полі гравітаційних сил і після механічного впливу на сфлокульовану суспензію виконувалося за методикою, описаною в [15].

## **5. Результати досліджень методів очищення стічної води після миття картоплі**

### **5.1. Результати аналізу відібраних зразків рідких відходів**

Результати фізико-хімічного аналізу забруднення стічних вод, відібраних на різних стадіях виробництва наведені в табл. 1.

Проби № 1 і № 2 являють собою темний мутний шлам, що містить зважені речовини, який практично не освітлюється відстоюванням. Вміст твердої фази в пробі № 2 становить 4,5 г/л. Значення ХСК=964 мг/л свідчить про наявність крохмаловмісних речовин, що потрапляють в стік після очищення картоплі.

Проба № 3 являє собою жовту каламутну рідину з високим вмістом органічних домішок і включенням невеликих шматочків картоплі, які змиваються разом зі стоком. Саме цей стік вносить основний внесок за БСК і ХСК, основна частина органіки зосереджена в суспензії цього стоку (БСК=3210 мг/л).

Проба № 4 являє собою темно-сіру каламутну рідину з пластівцеподібним осілим осадом і спливаючою фракцією піни, яка не осідає (рис. 2, а). Порівняльна характеристика цієї проби з результатами хімічного аналізу показала високий вміст жирів (187 мг/л). Це пояснюється тим, що перший час після миття і скидання жировмісного стоку концентрація жирів на стінках каналізації підприємства та відстійнику залишилося досить багато жиру, який потрапляє в наступні скиди, а органічні речовини змиті.

Проба № 5 – піна після осідання, являє собою жовту каламутну рідину з високим вмістом органічних домішок і значним включенням шматків картоплі (рис. 2, б), що випали при бланшуванні з апарату.

Аналіз табл. 1 свідчить про те, що стічні води рекомендується розділити на наступні потоки, що вимагають роздільного очищення: об'єднаний стік після миття і очищення картоплі (Проба № 2) та інші стічні води. Об'єднаний стік після миття і очищення картоплі є цікавим з точки зору повторного використання у виробництві на стадії первинного миття картоплі. Крім того, він складає майже 2/3 всього обсягу стічних вод всього цеху виробництва чіпсів, що становить приблизно 500–600 м<sup>3</sup>/добу.

Таблиця 1

Результати аналізу проб стічної води виробництва

№ ПП	Показник	Одиниця вимірювання	Визначено у пробі
Проба № 1. Злив апарату промивання картоплі			
1	Завислі речовини (рідка фаза після відстою)	мг/дм <sup>3</sup>	553
Проба № 2. Об'єднаний стік після миття і очищення картоплі			
1	Завислі речовини (рідка фаза після відстою)	мг/дм <sup>3</sup>	489
2	БСК <sub>5</sub>	мг/дм <sup>3</sup>	689
3	ХСК	мг/дм <sup>3</sup>	964
Проба № 3. Змив стоку після нарізання			
1	Завислі речовини (рідка фаза після відстою)	мг/дм <sup>3</sup>	167
2	Сухий залишок	мг/дм <sup>3</sup>	1513
3	БСК <sub>5</sub>	мг/дм <sup>3</sup>	1470
4	ХСК (з суспензією)	мг/дм <sup>3</sup>	3210
Проба № 4. Суміш стічних вод з відстійника			
1	Завислі речовини	мг/дм <sup>3</sup>	678
2	Сухий залишок	мг/дм <sup>3</sup>	1559
3	БСК <sub>5</sub>	мг/дм <sup>3</sup>	865
4	ХСК	мг/дм <sup>3</sup>	1370
5	Азот амонійний	мг/дм <sup>3</sup>	32,5
6	Нітрати	мг/дм <sup>3</sup>	1,3
7	Нітрити	мг/дм <sup>3</sup>	0,46
8	Жири	мг/дм <sup>3</sup>	187
Проба № 5. Піна бланшування			
1	Сухий залишок	мг/дм <sup>3</sup>	1580
2	БСК <sub>5</sub>	мг/дм <sup>3</sup>	395
3	ХСК	мг/дм <sup>3</sup>	574



Рис. 2. Зовнішній вигляд проб № 4 та № 5: *а* – пластівцеподібний осад у пробі № 4; *б* – залишки слайдів картоплі у пробі № 5

## 5. 2. Дослідження ефективності методів очищення стічної води

Для дослідження можливості використання очищених стічних вод для повторного використання були проведені дослідження з оцінки якості очищення стоків (Проба № 2) в лабораторних умовах.

В результаті аналізу можливості застосування механічних і фізико-хімічних методів очищення стічних вод встановлено наступне.

Осадження в полі гравітаційних сил (відстоювання) виявилось неефективне, оскільки тверда фаза є дрібнодисперсною фазою з гідравлічною крупністю 0,022 мм/с (близько 50 % частинок представлено дрібнодисперсною фракцією, що практично не осідає протягом 2 годин). Після відстоювання протягом 16 годин (рис. 3) на дні мірного циліндра спостерігається мулоподібний осад що погано змивається водою, який складається з дрібнодисперсної фракції.



Рис. 3. Кінетика відстоювання стоку після миття та нарізки картоплі: *a* – через 1 годину; *б* – через 2 години; *в* – через 16 годин

Фільтрування рідкої фази через фільтрувальний папір з розміром пір 5 мкм показало, що затримується лише до 500 мг/л твердої фази. Фільтрат має світло-коричневий відтінок (рис. 4, *a*), що говорить про присутність частинок менше 5 мкм (тонкі фракції твердої фази і колоїдні суспензії). Центрифугування проби у лабораторній центрифугі протягом 30 секунд до досягнення фактору розділення 1440 дозволило одержати злегка каламутну освітлену воду і осаджені завислі частки (рис. 4, *в*).

Описані вище досліди дозволяють стверджувати, що наявність у стічній воді дрібнодисперсних ґрунтових та глиняних фракцій, а також сік картоплі створюють стійку дисперсну систему. Порухення дисперсної системи можлива шляхом вводу поліелектроліту (солей коагулянту), який порушить стійкість системи. При підборі коагулянтів достатньо ефективним виявився сульфат алюмінію, який в кількості 250 мг/дм<sup>3</sup> порушував стійкість системи та



утворював дрібні пластівці зкоагульованих завислих частинок з середньою швидкістю осадження 0,67 мм/с. Під дією коагулянтів дрібні дисперсні частинки об'єднуються разом у великі маси, які потім можна видаляти будь-яким методом розділення твердої і рідкої фази (відстоювання, фільтрування, центрифугування тощо). Збільшення дозування коагулянту не призводило до суттєвої зміни швидкості осадження пластівців. Тому в подальших дослідках використовувалась саме така кількість коагулянту, а для інтенсифікації процесу осідання пластівців вводився флокулянту.



Рис. 4. Результати фільтрування та центрифугування проб стічної води: *а* – фільтрат; *б* – затриманий осад на фільтрувальному папері; *в* – осад після лабораторної центрифуги

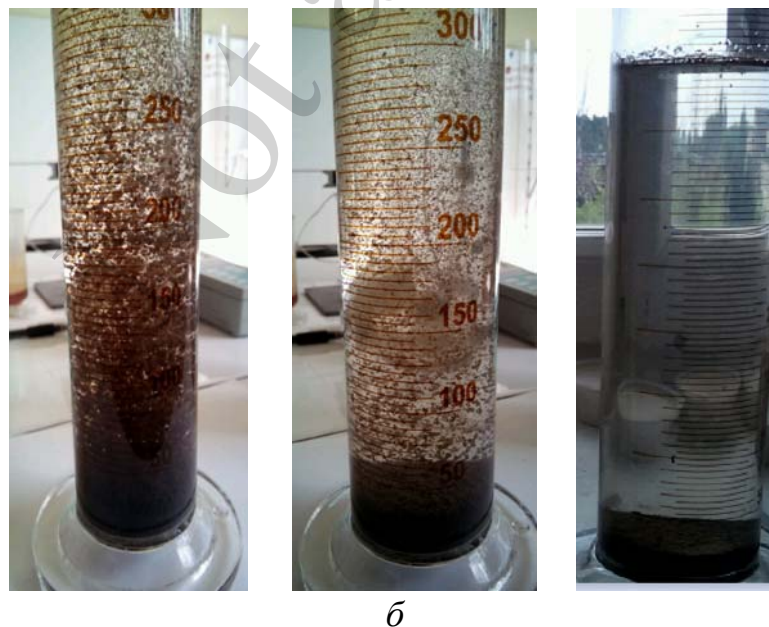


Рис. 5. Агрегація завислих часток під впливом коагулянту та флокулянту: *а* – утворення агрегатів після введення реагентів; *б* – осадження флокул; *в* – вигляд осаду та освітленої рідини після відстоювання

Подальше введення біофлокулянта в кількості 2,5 мл/л (розчин 0,05 %) дозволив отримати прозору воду з достатньою швидкістю осадження флокул для очищення води у відстійнику (рис. 5).

Порівняльний аналіз проб стічної води, очищеної різними методами, наведений на рис. 6.

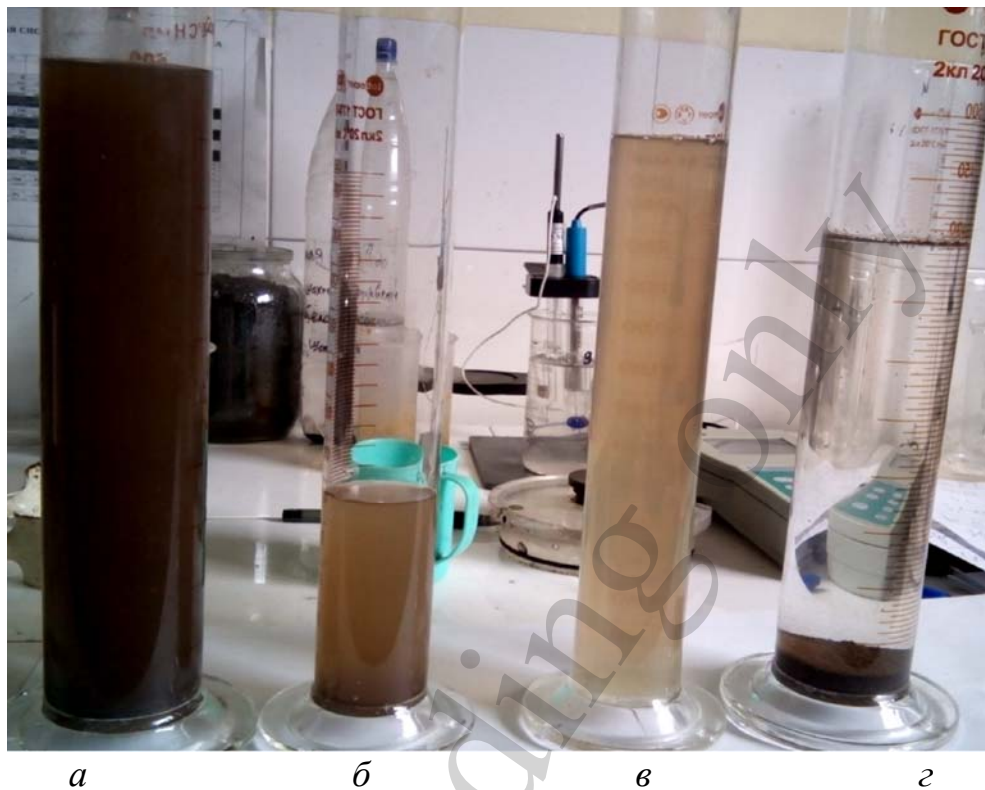


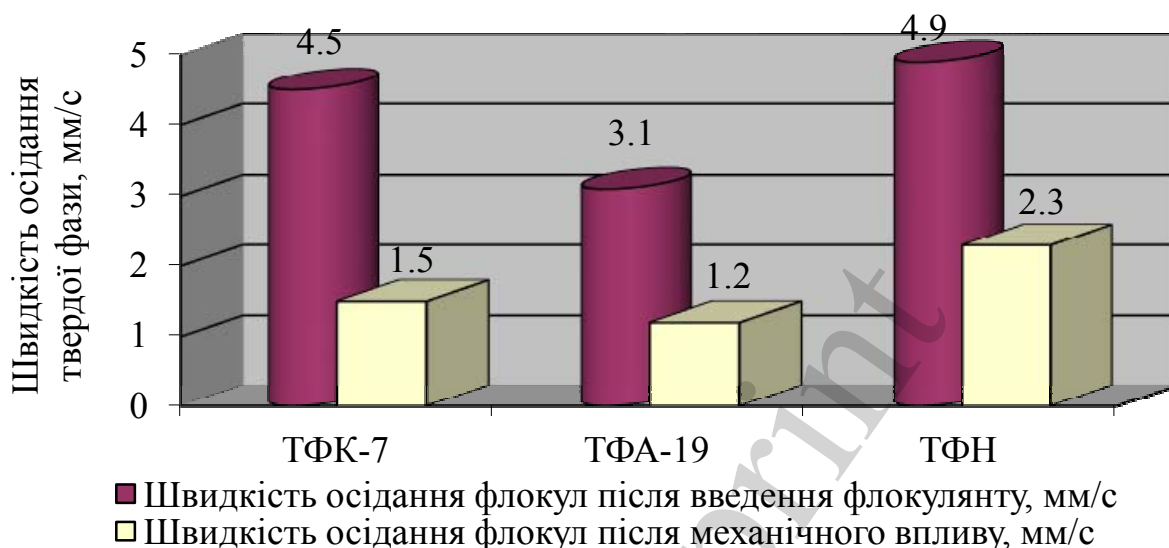
Рис. 6. Порівняльний аналіз ефективності очищення проб стічної води виробництва чипсів: *а* – відстоювання, *б* – фільтрування; *в* – коагуляція та флокуляція з подальшим відстоюванням; *г* – центрифугування

Вода після відстоювання каламутна і не придатна для скиду та повторного використання (рис. 6, *а*), а ступінь затримання забруднень – мінімальний. Концентрація завислих часток в рідкій фазі після відстоювання протягом 16 годин складає 553 мг/л (табл. 1). Фільтрування (рис. 6, *б*) та центрифугування води дає кращий ефект (рис. 6, *в*), освітлена вода більш прозора, але має завислі частки. Крім того в промислових умовах фільтрування та центрифугування води без використання реагентів не дозволить отримати освітлену воду, яку отримано в лабораторних умовах.

Найбільш чисту і прозору воду (рис. 6, *г*) можливо одержати при поєднанні хімічного посилення процесу осадження коагуляцією та флокуляцією з подальшим відстоюванням. Тому саме цей метод був прийнятий за основу для подальших досліджень та розробки технології очищення стічних вод виробництва чипсів.

Після утворення флокул під час їх транспортування в промислових умовах на відстоювання та зневоднення може відбуватись їх руйнування. Тому, під час

підбору типу флокулянту потрібно враховувати не тільки швидкість осадження флокул, але і їх стійкість до руйнуючого впливу (механічного або гідродинамічного). Результати дослідження швидкості осідання флокул після введення катіонного, аніонного та неіоногенного флокулянта, а також після механічного впливу, наведені на рис. 7.



Р

рис. 7. Швидкість осадження твердої фази після вводу коагулянту (в кількості 250 мг/л) та флокулянтів (в кількості 250 мл/л) до та після механічного впливу перемішуванням протягом 40 с

Аналіз даних тесту на рис. 6 дозволяє рекомендувати для очищення стічних вод даного виробництва флокулянти ТФК-7 та ТФН, які мають достатньо високу швидкість осідання флокул 4,5 мм/с та 4,9 мм/с відповідно. Проте, використання неіоногенного флокулянту ТФН є більш прийнятним, тому що флокули в 1,5 рази краще зберігають швидкість осадження після руйнуючих впливів в порівнянні з ТФК-7. Це пояснюється тем, що міцність водневих зв'язків при використанні ТФН для даного типу завислих часток у флокулах кращий, отже після руйнуючого впливу флокули мають більший розмір. Це ілюструються мікрофотографіями процесу флокуляції стічної води, наведеними на рис. 8. Тому для практичних цілей та подальших досліджень можна рекомендувати використання неіоногенного флокулянту ТФН сумісно з коагулянтом.

Аналіз результатів (рис. 7, 8) дозволяє рекомендувати використання неіоногенного флокулянта ТФН в поєднанні з коагулянтом.

Дані порівняльного аналізу освітленої води до очищення та після осадження пластівців при використанні коагулянту та флокулянту ТФН наведені на рис. 9.

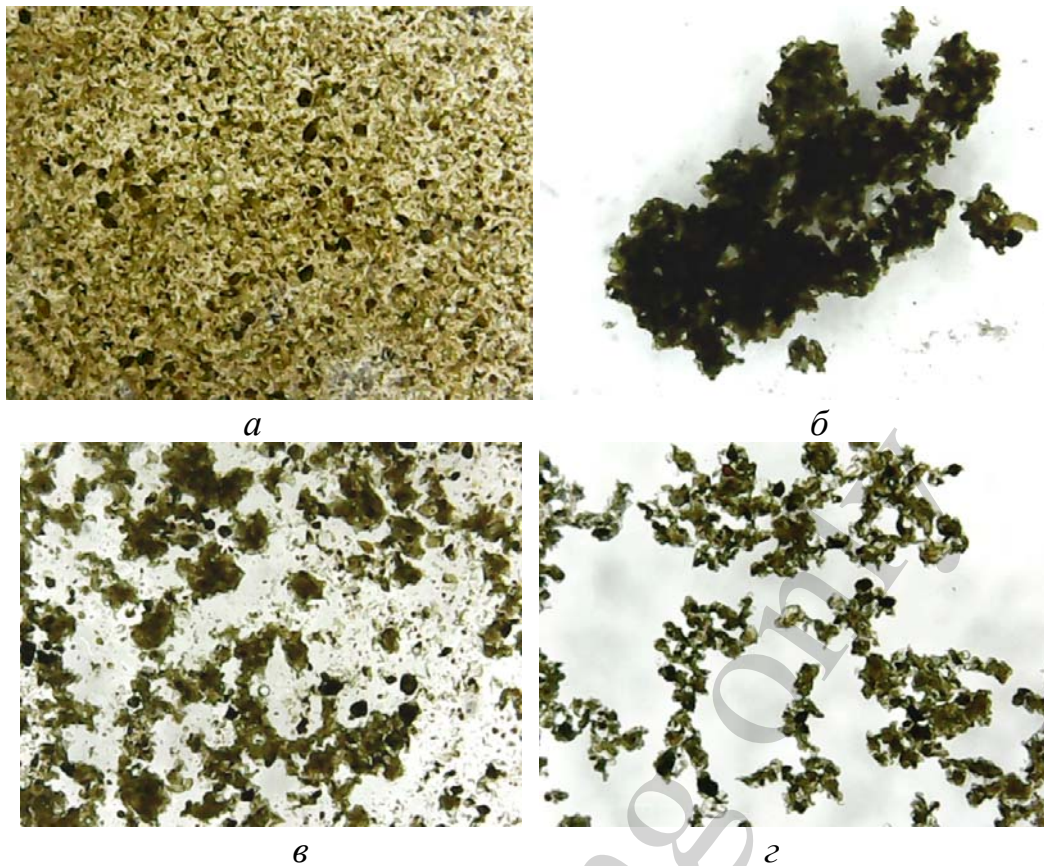


Рис. 8. Фотографії після флокуляції та руйнування флокул під час механічного впливу: *а* – дисперсна система в краплині стічної води до вводу реагентів; *б* – вигляд флокули після агрегації; *в* – вигляд флокул, утворених флокулянтот ТФН після механічного впливу; *г* – вигляд флокул, утворених флокулянтот ТФК-7 після механічного впливу

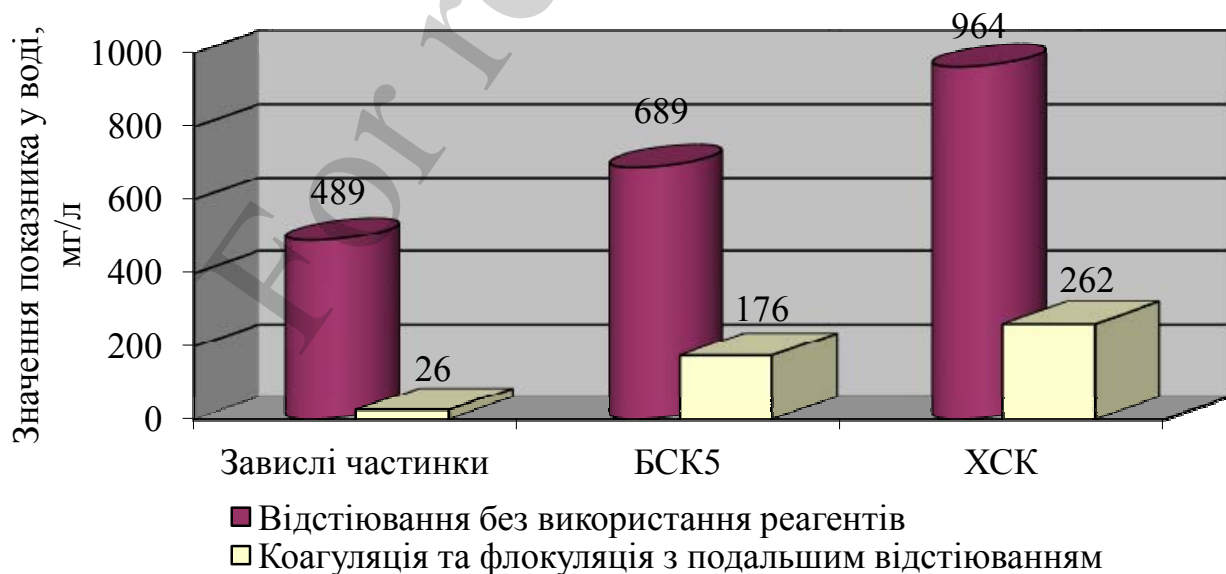


Рис. 9. Порівняльний аналіз ефективності очищення стічної води коагуляційно-флокуляційним методом (витрата коагулянту – 250 мг/л, розчину флокулянту – 2,5 мл/л)

Аналіз наведених на рис. 9 даних свідчить про суттєве зниження концентрації завислих часток, БСК<sub>5</sub> та ХСК майже в 4 рази. Це дозволяє зробити висновок, про можливість очищення стічної води для скиду в каналізаційну мережу запропонованим коагуляційно-флокуляційним методом з подальшим відстоюванням та зневодненням осаду.

Залежність зміни швидкості осадження утворених агрегатів до та після механічного впливу при різній кількості флокулянту наведена на рис. 10.

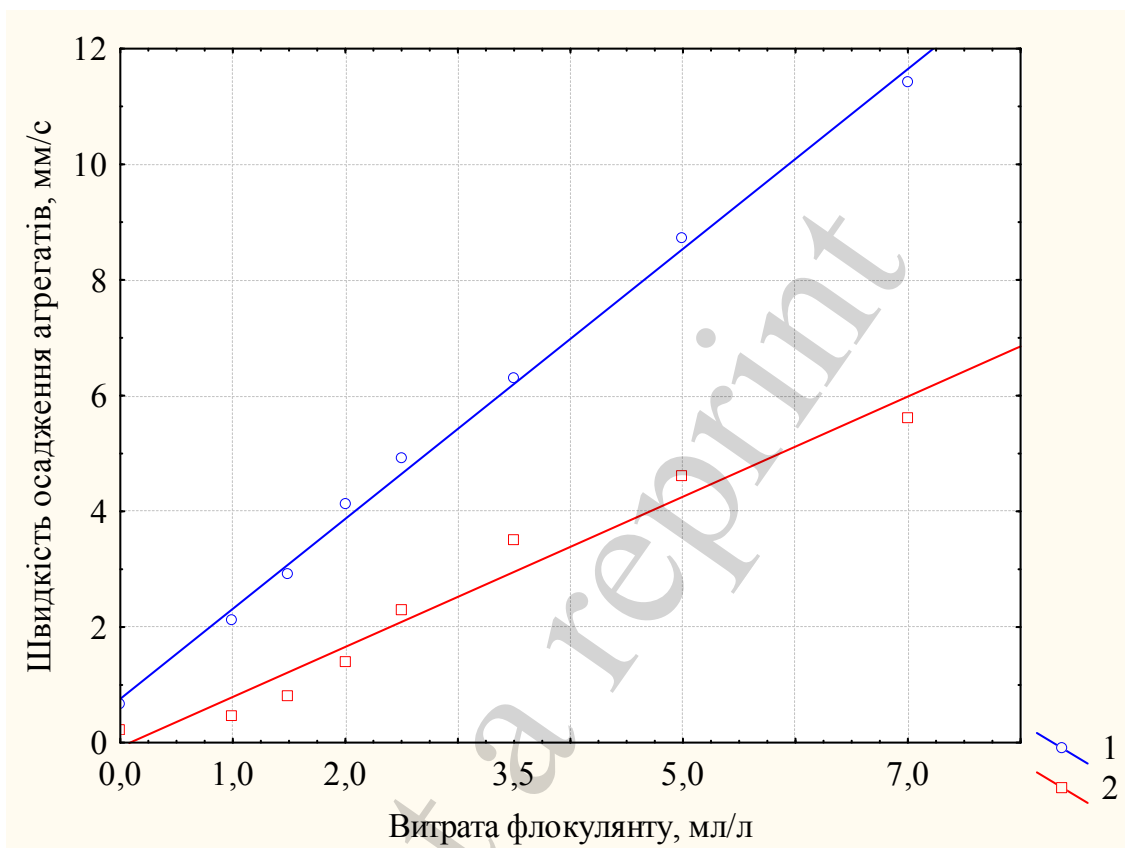


Рис. 10. Залежність швидкості осадження флокул після введення коагулянту (в кількості 250 мг/л) і флокулянту: 1 – після введення реагентів; 2 – після механічного впливу перемішуванням протягом 40 с

Статистична обробка наведених на рис. 10 даних дозволила встановити наступні емпіричні рівняння:

$$V_1 = 0,7579 + 1,5559 \cdot q; \quad (1)$$

$$V_2 = -0,0766 + 0,8659 \cdot q, \quad (2)$$

де  $V_1$  – швидкість осадження флокул у відстійнику після флокулятору;  $V_2$  – швидкість осадження флокул шламу після відстійника перед зневоднювальним устаткуванням;  $q$  – витрата флокулянту, мл/л.

Середньоквадратична помилка рівнянь (1) та (2) у дослідженому інтервалі значень змінних складає 0,17 мм/с та 0,23 мм/с відповідно, коефіцієнти детермінації  $R^2 = 0,98$  та  $R^2 = 0,97$  відповідно.

Вказані залежності можуть бути використані для прогнозування очікуваної швидкості осадження флокул у відстійнику (1) та перед зневоднювальним устаткуванням (2) при різних витратах флокулянту та постійній витраті коагулянту.

### 5.3. Технологічна схема очищення стічних вод виробництва чипсів

В результаті проведеного дослідження проб була запропонована наступна схема очищення стічних вод після миття картоплі (рис. 11).

З урахуванням наявності крупних рослинних відходів першою стадією очищення повинне бути проціджування. Стічна вода з цеху виробництва чипсів подається в резервуар-накопичувач промислових стоків 1 (при необхідності) і потім прямує в проціджувач 2, призначений для відділення крупних частинок (наприклад, шкірки картоплі і слайсів). Після проціджувача 2 стічна вода подається насосом 3 на коагуляцію і флокуляцію у флокулятор 4, в якому відбувається агрегація зважених частинок, що дозволяє розділити неоднорідну систему на освітлену воду і шлам. Дозування реагентів у флокулятор здійснюється станцією приготування і дозування реагентів 5.

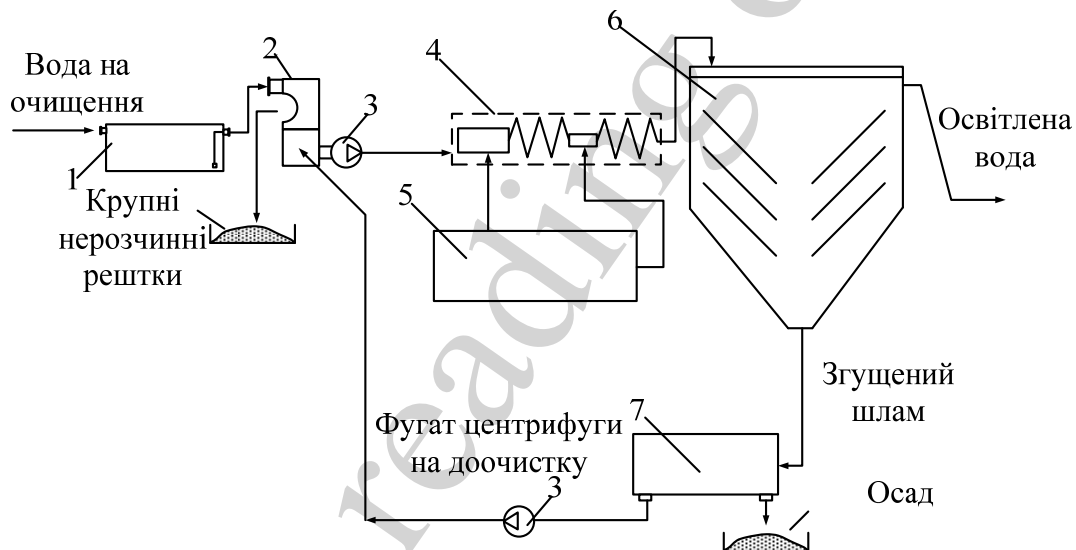


Рис. 11. Технологічна схема очищення стічних вод після миття картоплі виробництва чипсів: 1 – резервуар-накопичувач промислових стоків; 2 – проціджувач; 3 – насос; 4 – флокулятор; 5 – станція приготування і дозування реагентів (коагулянту та флокулянту); 6 – тонкошаровий відстійник; 7 – центрифуга для зневоднення згущеного шламу

Витрата реагентів в перерахунку на  $1 \text{ м}^3$  стічної води складає: коагулянт (сірчаноокислий алюміній) –  $250 \text{ г/м}^3$  і неіоногенний біофлокулянт –  $7\text{--}8 \text{ г/м}^3$ .

Сфлокульований шлам у тонкошаровому відстійнику 6 розділюється на освітлену рідку фазу (чисту воду) та згущений продукт. Для зневоднення осаду згущений продукт відстійника подається в центрифугу 7, де розділяється на зневоднений осад, який є дрібнодисперсною твердою фазою, і фугат. Фугат центрифуги містить частину завислих часток, тому він повертається для

розбавлення початкового стоку на доочистку після проціджувача 2 і на повторну очистку.

## **6. Обговорення результатів дослідження методу очищення стічної води після миття картоплі**

Створення маловідходних сучасних виробництв та кардинальна зміна технології будь-якого підприємства потребує значних економічних витрат. Тому перспективним напрямком підвищення екологічної безпеки вже діючих підприємств є екологізація існуючого виробництва. Вона може впроваджуватись шляхом проведення комплексу заходів, що включають вдосконалення технологічних процесів або мінімізацію кількості відходів. Підвищення екологічної ефективності процесів виробництва чипсів можливо досягти шляхом очищення та ресайклінгу стічних вод після миття картоплі. Це в свою чергу дозволить істотно скоротити забір свіжої води з природних джерел. Очищена вода до норм вторинного використання є цінним вторинним ресурсом для економічно обґрунтованого використання на самому виробництві.

Проведені дослідження підтвердили можливість очищення стічних вод виробництва чипсів до норм водовідведення. Встановлено, що механічні методи (відстоювання, центрифугування та фільтрування) виявились недостатньо ефективними. В той же час коагуляція та флокуляція з подальшим відстоюванням дозволяє отримати достатньо чисту прозору воду, яку можна скидати в каналізаційну мережу. Підібрані ефективно працюючі реагенти: сульфат алюмінію для попередньої коагуляційної обробки води та неіоногенний флокулянт ТФН. Ці реагенти порушують стійкість дисперсної системи, утворюють агрегати забруднюючих речовин та сприяють їх швидкому осіданню. Отримані залежності рис. 10 та (1), (2) дозволяють підібрати та регулювати витрату флокулянту в залежності від необхідної швидкості осідання при освітленні води та її зневодненні.

Розроблена технологічна схема очищення стічної води (рис. 11) може бути використана для очищення води після миття плодоовочевої продукції у разі підбору потрібних для ефективного освітлення води реагентів. Освітлена у відстійнику вода відповідатиме показникам, наведеним на рис. 9 і може бути скинута в каналізацію. Проте для вторинного використання стічної води у виробництві для миття овочевої продукції недостатньо її очистити від завислих часток до стану прозорої води. Потрібно передбачити можливість розвитку небажаних мікробіологічних процесів внаслідок біологічного розкладання розчинних органічних речовин. Внаслідок цих процесів існує вірогідність утворення неприємного запаху та розвитку патогенних бактерій. Тому очищену воду з відстійника потрібно знезаражувати перед використанням для технологічних потреб. Одним зі шляхів одночасного знезараження води та додаткового зменшення показників ХСК та БСК є використання озону.

Перевагою проведеного дослідження є можливість використання наведеної методології (етапів виконання досліджень) для підбору типу та дози реагентів при здійсненні підбору способу коагуляційно-флокуляційної очистки стічної води.

Обмеженням дослідження є те, що наведені результати та залежності дійсні для використаної в дослідах стічної води певного складу і виробництва (табл. 1). Проте ці результати можуть бути адаптовані для умов інших виробництв та стічних вод після миття овочем після проведення уточнюючих тестів з підбору способу використання, типу та дозування реагентів.

Перспективним напрямком подальших досліджень є експериментальна перевірка способів знезараження та до окиснення органічних речовин за БСК та ХСК, що дозволить використати освітлену очищену стічну воду у замкненому циклі підприємства для миття картоплі. Також для подальшого промислового впровадження розробленої технології потрібно визначити можливі екологічні ризики та розрахувати економічний ефект від використання очищеної води.

## 7. Висновки

1. В результаті аналізу проб виробництва чипсів було визначено, що стічні води, які утворюються на різних етапах виробництва відрізняються за складом. Стічна вода після миття та чищення картоплі є перспективною для вторинного використання у виробництві, проте забруднена переважно завислими речовинами близько 500 мг/л, які не відстоюються.

2. Досліджено ефективність очищення стічної води виробництва чипсів. Встановлено, що використання коагуляційно-флокуляційної очистки дозволяє отримати прозору воду, придатну до повторного використання її для миття картоплі. Аналіз результатів дозволяє рекомендувати використання неіоногенного флокулянта ТФН у поєднанні з коагулянтом (сульфат алюмінію). Введення флокулянта в кількості по 2,5 мл/л (розчин 0,05 %) дозволив отримати прозору воду з достатньою для очищення у відстійнику швидкістю осадження флокул. Аналіз освітленої води свідчить про зниження концентрації завислих часток майже в 15 разів та зменшення ХСК та БСК<sub>5</sub> майже в 4 рази.

3. Виконані дослідження дозволили запропонувати схему очищення стічної води після миття картоплі, яка складається з попереднього проціджування, реагентної обробки, освітлення води та зневоднення осаду. Однак для цілей повторного використання освітленої води для миття овочей потрібне додаткове знезараження води окиснювачами, наприклад, озоном.

## Література

1. Мальований, М. С., Дячок, В. В., Сахневич, Я. М. (2008). Аналіз перспектив очищення стоків харчових виробництв. Екологія довкілля та безпека життєдіяльності, 5, 72–75. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/5613/12-Malyovany.pdf?sequence=1>
2. Шестопалов, О. В., Гетга, О. С., Рикусова, Н. І. (2019). Сучасні методи очищення стічних вод харчової промисловості. Екологічні науки: науково-практичний журнал, 2 (25), 20–27. doi: <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-2-25-4>
3. Шонина, Н. А. (2015). Водопользование и очистка сточных вод предприятий по переработке овощей и фруктов. Опыт Германии. Сантехника, 3, 34–39. URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles/30/6144/6144.pdf](https://www.abok.ru/for_spec/articles/30/6144/6144.pdf)



4. Про затвердження Державних санітарних норм та правил "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПіН 2.2.4-171-10). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>
5. Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A31998L0083>
6. National Primary Drinking Water Regulations. URL: <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations>
7. Ahmad, A. L., Ismail, S., Bhatia, S. (2005). Optimization of Coagulation–Flocculation Process for Palm Oil Mill Effluent Using Response Surface Methodology. *Environmental Science & Technology*, 39 (8), 2828–2834. doi: <https://doi.org/10.1021/es0498080>
8. Teh, C. Y., Budiman, P. M., Shak, K. P. Y., Wu, T. Y. (2016). Recent Advancement of Coagulation–Flocculation and Its Application in Wastewater Treatment. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 55 (16), 4363–4389. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.5b04703>
9. Al Asheh, S., Aidan, A. (2017). Operating Conditions of Coagulation-Flocculation Process for High Turbidity Ceramic Wastewater. *Journal of Water And Environmental Nanotechnology*, 2 (2), 80–87. URL: <https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=575587>
10. Hu, C., Liu, H., Qu, J., Wang, D., Ru, J. (2006). Coagulation behavior of aluminum salts in eutrophic water: significance of Al<sup>13</sup> species and pH control. *Environmental Science & Technology*, 40 (1), 325–331. doi: <https://doi.org/10.1021/es051423+>
11. Miller, S. M., Fugate, E. J., Craver, V. O., Smith, J. A., Zimmerman, J. B. (2008). Toward Understanding the Efficacy and Mechanism of Opuntiaspp. as a Natural Coagulant for Potential Application in Water Treatment. *Environmental Science & Technology*, 42 (12), 4274–4279. doi: <https://doi.org/10.1021/es7025054>
12. Gurses, A., Yalcin, M., Dogar, C. (2003). Removal of Remazol Red RB by using Al (III) as coagulant-flocculant: effect of some variables on settling velocity. *Water, Air, and Soil Pollution*, 146, 297–318. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1023994822359>
13. Saritha, V., Srinivas, N., Srikanth Vuppala, N. V. (2015). Analysis and optimization of coagulation and flocculation process. *Applied Water Science*, 7 (1), 451–460. doi: <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0262-y>
14. Shkop, A., Tseitlin, M., Shestopalov, O. (2016). Exploring the ways to intensify the dewatering process of polydisperse suspensions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (84)), 35–40. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.86085>
15. Shkop, A., Tseitlin, M., Shestopalov, O., Raiko, V. (2017). A study of the flocculs strength of polydisperse coal suspensions to mechanical influences. *EUREKA: Physics and Engineering*, 1, 13–20. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2017.00268>