

С.В. Лукашенко, О.А. Сироватський, А.С. Карагяур

*Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова,
Україна*

ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛАСТИЧНОГО ПІНОПОЛІУРЕТАНУ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД М'ЯСНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Наведені результати досліджень щодо очистки жировмісних стічних вод м'ясної промисловості фільтруванням через еластичний пінополіуретан. Визначені найвпливовіші фактори на ефективність очистки (розмір гранул, щільність і висота завантаження, швидкість фільтрування). Встановлені основні закономірності. Очищені запропонованим способом стічні води задовольняють вимогам, що пред'являються при скиді в міську каналізацію.

Ключові слова: жировмісні стічні води, фільтруєче завантаження, еластичний пінополіуретан

Постановка проблеми

В технологічних процесах на підприємствах м'ясної промисловості воду використовують для миття продукту, обладнання та інвентарю, охолодження апаратів та машин, транспортування технічної сировини, приготування реагентів. До 30 – 40% загального стоку цих підприємств характеризується високим вмістом жирів, завислих часток та розчинених органічних речовин. Вміст жирів та завислих речовин у стічних водах м'ясної промисловості України і розвинених країн світу в основному коливається в межах 600-2000 мг/л, значення хімічного споживання кисню (ХСК) становить 1000-2600 мг/л [1-5].

Відповідно до вимог, які пред'являються до стічних вод м'ясної промисловості при скиді в міську каналізацію, концентрація жирів допускається в межах 20-100 мг/л; завислих речовин – до 500 мг/л; ХСК – до 1000 мг/л [6-7]. Також слід зазначити, що ці вимоги з часом стають все більш жорсткими. Сказане зумовлює необхідність відповідної обробки промислового технологічного стоку на локальних очисних спорудах для дотримання згаданих вимог [7].

Наявні на підприємствах галузі очисні споруди – жиroleвки, відстійники та флотатори не завжди забезпечують необхідну якість очищення стічних вод. За недостатнього ступеня очищення на наявних заводських спорудах виникають проблеми з їх очищенням на загальноміських спорудах, оскільки речовини, що містяться в стічних водах м'ясної промисловості, важко піддаються біологічному окисленню [8]. Метод фільтрування через традиційні зернисті завантаження для підвищення ефективності очищення стічних вод, практичного застосування в Україні і за кордоном для очищення

стічних вод м'ясокомбінатів не знайшов через відсутність ефективних способів регенерації фільтруючих матеріалів [2-4].

На нашу думку одним з перспективних напрямків в області очищення води, що містять жири і завись в суттєвих концентраціях, є застосування фільтрів із завантаженням з олеофільних синтетичних матеріалів, таких як пінополіуретан, пінополістирол, подрібнений пінопласт та інші [9]. Це дозволить збільшити ефективність затримання забруднень, підвищити ступінь надійності роботи локальних споруд і забезпечить компактність очисного обладнання підприємств м'ясопереробної промисловості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідження характеристик стічних вод підприємств м'ясної промисловості, проведені в різних країнах світу, свідчать про те, що ці стоки відносяться до II класу небезпеки, концентровані і є сприятливим середовищем для розвитку мікроорганізмів, у тому числі гнильних і патогенних [1-4]. У зв'язку з цим їх локальна обробка з утилізацією уловлених жирів є необхідною ланкою у схемах відведення [1-3, 10-11]. Забруднюючі виробничі стічні води домішки у значній кількості містяться у стоках у вигляді суспензій і емульсій, які важко розділяються, не піддаються ефективному вилученню зі стічних вод без застосування реагентної обробки. Вміст органічних забруднень, що знаходяться у розчиненому стані становить 422-1238 мг/л [7, 12-13].

У практичних умовах для очищення стічних вод найбільшого поширення набула схема, що

складається з трьох основних ступенів: механічної, фізико-хімічної та біологічної очистки [8, 10, 13].

До засобів механічного очищення відносяться решітки та пісколовки, що встановлюються перед відстійними спорудами. Ефект очищення стічних вод від жирів та завислих речовин у пісковловлювачах становить 10-15 %, у відстійниках 30-50 %. Ефект очищення стічних вод по ХСК та БПК не відзначається через незначне їх зниження, що досягається, в основному, за рахунок очищення від завислих речовин і жирів [11]. Відстійні жириловки розраховані на тривалість відстоювання стічних вод протягом 30 хвилин. Ефективність затримання жиру – 50-55 %, причому 20-25 % жиру затримується разом із осадом, а 30 % спливає на поверхню води. Надалі затримана жиромаса піддається утилізації [10, 13].

Останнім часом створено ефективні способи та засоби локальної очистки стічних вод м'ясокомбінатів від білків, жиру та інших завислих речовин. Так, зокрема, вивчено можливість та доцільність використання для очищення виробничих стічних вод підприємств м'ясної промисловості методу флотації [3, 14]. Позитивні результати цих досліджень послужили основою розробки та розповсюдження різних систем флотаційної обробки стічних вод. Запропоновано установку для очищення жиромістких стічних вод, що включає флотацію та окислення. Для очищення стічних вод м'ясокомбінатів застосовують імпелерну [11], напірну флотацію [14] та електрофлотацію [3, 15]. Існують дані про використання для очищення стічних вод пінної сепарації [3]. Застосування імпелерної та напірної флотації без коагуляції дозволяє отримати ефект очищення жирів – 40-60 %, завислих речовин – 40-50 %, ХСК – 30-35 % [14]. Було досліджено спосіб електрофлотаційного очищення жиромістких стічних вод. Проведено дослідження з електрофлотокоагуляції та створено установку, призначену для очищення стічних вод м'ясокомбінатів перед випуском загальної міської каналізації [15]. Очищення стічних вод м'ясокомбінатів електрофлотацією також є ефективним, але в очищеній воді ще залишається значна кількість домішок: жирів – 100-300 мг/л, завислих речовин – 200-400 мг/л, ХСК – 700-1000 мг/л [3]. Очищення стічних вод електрофлотацією поки не набуло достатнього поширення через проектні недоробки конструкції електрофлотатора. Аналіз даних, отриманих при проведенні очищення стічних вод м'ясокомбінатів із застосуванням різних методів флотації (без попередньої коагуляції) показав приблизно однаковий ефект очищення (50-60 %) за жирами та завислими речовинами [3, 11, 14-15].

Аналіз патентних та літературних матеріалів свідчить про те, що і в нашій країні і за кордоном для глибокого очищення стічних вод м'ясної промисловості доцільно застосування також коагуляційних методів обробки стічних вод [16-19]. В якості коагулянтів зазвичай рекомендується використовувати такі неорганічні солі, як хлориди заліза та кальцію [18], сульфати заліза та алюмінію [17] та ряд інших органічних та неорганічних коагулянтів [19]. З цією метою рекомендується також використання поверхнево-активних речовин [16]. Застосування як реагентів солей полівалентних металів, наприклад, хлорного заліза, як показали результати досліджень низки вітчизняних та зарубіжних дослідників, дозволяє ефективно вилучити та повернути у виробництво цінні компоненти сировини, що містяться у стічних водах [17-18]. При застосуванні флотації з коагуляцією для очищення стічних вод, що містять жир, ефект очищення становить: по жирах – 93-98%, за завислими речовинами – 85-96%, за ХСК – 50-86% [14, 18].

Таким чином, підсумовуючі викладене, можемо констатувати, що у спорудах фізико-хімічного очищення досягається значний ефект очищення за основними показниками: за жирами 50-84%, завислими речовинами – 50-70%, значеннями ХСК та БСК – 50-60%. Є відомості про досягнення ефекту очищення по жирах до 98%, завислих речовин до 95% і значення ХСК до 86% [16-18].

Згідно літературних даних після відстоювання концентрація жирів становить в межах 100-500 мг/л, завислих речовин до 900-1000 мг/л, а величина ХСК та БСК – 1000-1300 мг/л [20-23]. Найбільший ефект очищення досягається на спорудах біологічного очищення та доочищення: за жирами 99-100%, завислими речовинами 95-98,2%, БПК_{повн} – 97-99,5% [20-22]. Також показана ефективність поєднання біологічної очистки з мембранними технологіями [23].

Аналізуючи наявні відомості про ефективність виділення жиру і суспензій з жиромістких стічних вод традиційними методами (відстоювання, флотація, біологічне і реагентне очищення) можна відзначити, що жоден з цих методів зазвичай не забезпечує повною мірою вимог до скидання стічних вод у міські каналізації. Крім того, споруди локальної очистки вимагають значних площ, витрат на реагенти і енергоносії.

В зв'язку з цим, актуальним є завдання проведення досліджень з використання еластичного пінополіуретану (ЕППУ) при очищенні стічних вод на локальних спорудах м'ясопереробної промисловості перед скидом до міської каналізації. Це дозволить забезпечити компактність і

ефективність очисних установок при невисоких енерго- і ресурсних витратах.

Постановка завдання

Метою даного дослідження є визначення закономірностей та розрахункових параметрів процесу очищення жиромістких стічних вод м'ясної промисловості при фільтруванні через еластичний пінополіуретан (ЕППУ). Для досягнення поставленої мети авторами вирішувались такі задачі: визначення оптимальних характеристик матеріалу завантаження, параметрів процесу регенерації фільтруючого матеріалу і розрахункових показників фільтрації (швидкість фільтрування, висота шару завантаження, тривалість фільтроциклу).

Виклад основного матеріалу

До основних параметрів процесу фільтрування, що визначає ефективність очищення фільтруючого середовища, відносяться крупність, щільність, висота фільтруючого завантаження, швидкість фільтрування. При виборі розмірів гранул, щільності та висоти ЕППУ-завантаження виходили з того, щоб при мінімальних втратах напору у фільтруючому шарі забезпечувалася максимальна тривалість фільтрування і мінімальний час регенерації [9].

Досліджувалась робота фільтра з ЕППУ-завантаженням у формі кубиків з розміром ребер 10, 20, 30 та 40 мм. Діаметр експериментальної фільтрувальної колони, яку заповнювали гранулами ЕППУ, складає 100 мм, висота – 2,5 м. Дослідження проводили в лабораторних умовах на штучно приготовленому розчині. Висота фільтруючого шару становила 1,5-2,0 м; щільність завантаження – 50-70 кг/м³. Модельний сток отримували шляхом перемішування відповідної кількості жирів, завислих речовин і звичайної водопровідної води в змішувальному баку за допомогою високошвидкісної мішалки. Жири і завислі речовини для експерименту виділяли з осаду діючих відстійників, що експлуатуються на підприємствах м'ясної промисловості Харкова. Концентрація домішок у воді: жирів – 600-2000 мг/л, завислих речовин – 600-2000 мг/л. Вміст завислих речовин і жирів протягом експерименту визначали за стандартними методиками (КНД 211.1.4.039-95. Методика гравіметричного визначення завислих (суспендованих) речовин в природних і стічних водах; МВВ № 081/12-0646-09. Методика виконання вимірювань масової концентрації жирів та масел гравіметричним методом; КНД 211.1.4.021-95. Методика визначення хімічного споживання кисню (ХСК) в поверхневих і стічних водах). Критерієм

при цьому служили дані по кінетиці відстоювання модельного і реального стоку [2, 14-16].

Як показали дослідження, розмір гранул ЕППУ у зазначених межах практично не впливає на ефект очищення та тривалість фільтрування при висоті шару завантаження 1,5-2 м, щільності фільтруючого завантаження 50 і 70 кг/м³ і при швидкості фільтрування 5-15 м/год. Незначне підвищення ефекту очищення спостерігається при застосуванні гранул із розмірами 10-20 мм (на 10 % порівняно з крупністю гранул 30-40 мм). При здійсненні фільтрування через завантаження із зазначеними параметрами при щільності матеріалу 60-70 кг/м³ спостерігалось зростання опору шару фільтруючого завантаження, що призводило до скорочення фільтроциклу на 10-20 %.

Досліди щодо вибору розміру кубиків ЕППУ-завантаження також проводили на віджимному пристрої (рис. 1), що складається з віджимних гумових барабанів.

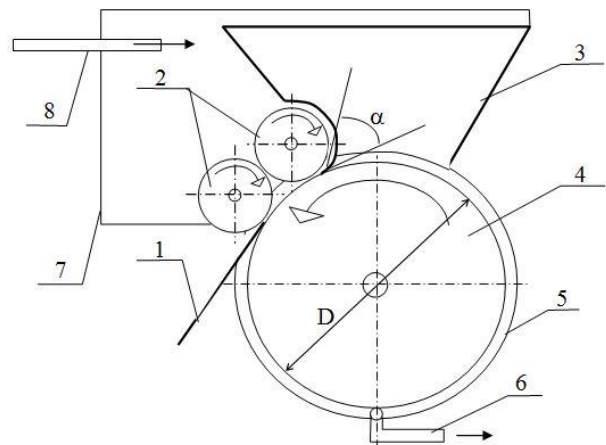


Рис. 1. Конструкція віджимного пристрою.
1 – направляючий «козирок»; 2 – відомі барабани; 3 – приймальний бункер; 4 – провідний барабан; 5 – ємність для збирання регенерату; 6 – трубопровід для відведення регенерату, 7 – кофлекс, 8 – трубопровід подачі пари.

Як показали випробування, для здійснення захоплення матеріалу, що віджимається (ЕППУ-завантаження розміром ребер 10, 20, 30 і 40 мм), циліндричними барабанами необхідно, щоб кут захвату α був меншим за кут тертя, рівний у даному випадку 30°. Для розрахунку кута захвату використовували формулу:

$$\cos \alpha = \frac{D + 2l}{D + d} \quad (1)$$

де α – кут захоплення, град.;

D – діаметр барабана, мм;

d – діаметр крихти матеріалу, що віджимається (в нашому випадку це розмір ребер ЕППУ-гранул), мм;

l – щільність між валками, мм

Значення $2l$ визначали експериментально шляхом максимального стиснення гранул ЕППУ-завантаження між затискачами мікрометра. Значення цієї величини для гранул з розміром ребер 10, 20, 30 та 40 мм склало 0,05, 0,10, 0,15 та 0,20 мм відповідно.

Розраховані значення кута α за формулою (1) для досліджуваних розмірів гранул ЕППУ-завантаження на барабанах, виготовлених із сталевих труб діаметром 150, 300 та 450 мм показані в табл. 1.

Таблиця 1

Значення кута захвату віджимних барабанів пристрою												
D, мм	150				300				450			
d, мм	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40
2l, мм	0,05	0,10	0,15	0,20	0,05	0,10	0,15	0,20	0,05	0,10	0,15	0,20
α	20°	28°	33°	38°	14°	20°	24°	28°	12°	16°	20°	23°

З таблиці видно, що мінімальний діаметр барабана, при якому забезпечується захоплення регенованого ЕППУ-завантаження розміром 20x20x20 мм, становить 150 мм. При збільшенні діаметра барабана до 300-450 мм забезпечується захоплення гранул ЕППУ-завантаження розміром ребер до 40 мм. Однак, враховуючи, що крупність гранул, при якій досягаються необхідні умови фільтрування та регенерації віджиманням, відповідає 20 мм, дані параметри надалі розглядаються як технологічні. Температура зони віджиму повинна відповідати плинності затриманої органічної речовини.

Подача ЕППУ-завантаження у фільтр та вивантаження його з фільтра здійснюється гідротранспортом трубопроводами. За даними досліджень, діаметр трубопроводу повинен бути не менше п'ятикратного розміру діаметра гранул. При цьому ефективне транспортування маси завантаження забезпечується при інтенсивності подачі води 19 л/м²-с.

При виборі висоти шару фільтруючого завантаження виходили з можливості досягнення максимальної жироемності. Відповідно до проведених досліджень жиробрудоемність при висоті шару 1,5-2 м становить 2-3 кг на 1 кг ЕППУ. З цією метою проводилися експерименти з очищення імітатів стічних вод при висоті фільтруючого шару 1,5 і 2,0 м. Експерименти проводилися при концентрації жирів і завислих речовин 1300 мг/л, швидкості фільтрування 10 м/год і щільності завантаження 50 кг/м³. Результати експериментів показали, що при висоті фільтруючого завантаження 1,5 і 2,0 м тривалість фільтрування становила 12 і 15 годин відповідно. Враховуючи, що збільшення висоти шару фільтруючого завантаження понад два метри вимагає створення нових корпусів напірних фільтрів, що відрізняються від тих, що серійно випускаються вітчизняною промисловістю, а зменшення висоти завантаження менше двох метрів (до 1,5 м) призводить до зменшення тривалості

фільтрування в 1,3-1,4 рази, доцільно приймати висоту фільтруючого шару завантаження, що дорівнює 2 м. Таким чином, висота фільтруючого шару 2 м є технологічно прийнятною та економічно обґрунтованою. Результати досліджень залежності залишкового вмісту жирів у фільтраті від швидкості фільтрування при густині завантаження від 50 до 70 кг/м³ представлені на рис. 2.

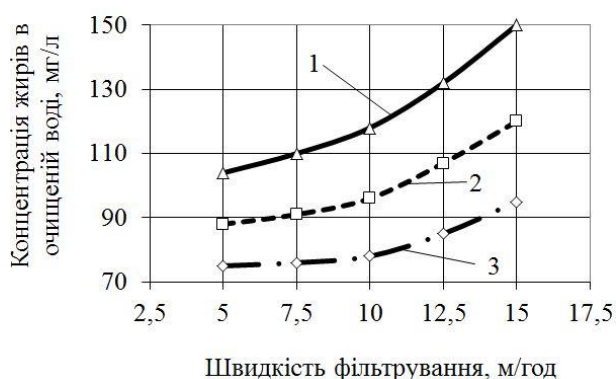


Рис. 2. Ефект очищення січних вод в залежності від швидкості фільтрування

Концентрація в вихідній воді, мг/л: жирів – 1300, завислих речовин – 1300, щільність фільтруючого завантаження, кг/м³: 1- 50, 2 – 60, 3 – 70.

Встановлено, що ефект очищення від жирів в межах швидкостей фільтрування 5-10 м/год практично не залежить від швидкості і коливається в середньому від 104-118 до 75-78 мг/л за варіювання щільності завантаження від 50 до 70 кг/м³. Зі збільшенням швидкості фільтрування понад 10 м/год та при щільності завантаження від 50 до 60 кг/м³ спостерігається тенденція зростання концентрацій забруднень у очищеній воді. Збільшення швидкості фільтрування до 15 м/год зумовлює рівень концентрації домішок у фільтраті до 120-150 мг/л.

При збільшенні щільності завантаження до 70 кг/м³ спостерігається незначне зменшення концентрації забруднень у фільтраті (з 75 мг/л при швидкості фільтрування 5 м/год до 95 мг/л при

швидкості фільтрування 15 м/год. Результати досліджень залежності фільтроциклу та приросту втрат напору від щільності завантаження, представлені на рис. 3.

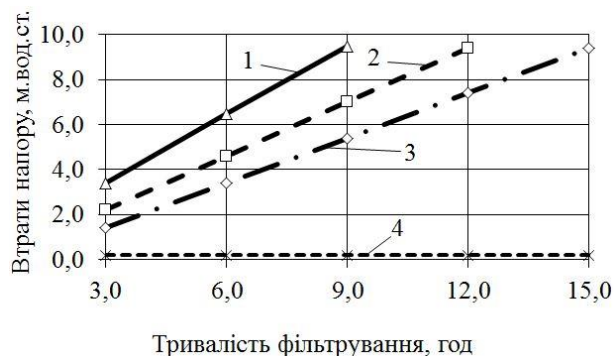


Рис.3. Залежність приросту втрат напору і тривалості фільтрування від щільності фільтруючого завантаження

Концентрація домішок в вихідній воді, мг/л:
жирів – 1300, завислих речовин – 1300; щільність фільтруючого завантаження, кг/м³: 1- 70, 2 – 60, 3 – 50, 4 – фільтрування чистої води при щільності завантаження 50 кг/м³.

Як видно з наведених даних, зі збільшенням щільності фільтруючого завантаження початкові втрати напору зростали, а тривалість фільтрування зменшувалася. При швидкості 10 м/год і щільності фільтруючого завантаження 50, 60 і 70 кг/м³ фільтроцикл відповідно становив 15, 12 і 8 годин. Втрати напору до кінця фільтрування не

перевищували 9,5 м.вод.ст. У процесі фільтрування чистої водопровідної води при щільності фільтруючого завантаження 50 кг/м³ втрати напору становили 0,2 м.вод.ст. Характерно, що при щільності завантаження, більшій за 60 кг/м³, збільшується темп приросту втрат напору. Це можна пояснити тим, що гранули ЕППУ, які знаходяться в нижній частині шару, під дією гідродинамічних сил потоку завдяки своїй еластичності притискаються до підтримуючої сітки, утворюючи «пробку». Площа живого перерізу в шарі зменшується, що і призводить до збільшення гідравлічного опору.

Експерименти з послідовного фільтрування проведені з метою вивчення впливу висоти шару завантаження і характеру домішок на ефективність очищення стічних вод.

В ході цієї серії дослідів використовували гранули ЕППУ 20×20×20 мм із середнім розміром осередків 0,8 мм.

Фільтрування проводили за напрямом зверху вниз, через те, що при подачі стічних вод у зворотному напрямку траєкторії руху частинок жирів і очищуваної води, збігається, і при цьому погіршується якість фільтрату.

Експерименти даної серії проводили у трьох фільтрувальних колонках з висотою шару фільтруючого завантаження 2 м кожна. Стічну воду послідовно подавали зверху вниз зі швидкістю 5 м/год у кожен з колонок, завантажених пінополіуретаном до густини 50 кг/м³. Результати досліджень наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Результати досліджень при послідовному фільтруванні у трьох фільтрувальних колонках

Проби стічних вод	рН	ХСК, мг/л	Концентрація, мг/л	
			жирів	завислих речовин
Початкова	7,1	1000	600	600
Після фільтрів				
I-го ступеня	7,1	680	75	136
II-го ступеня	7,1	530	53	102
III-го ступеня	7,1	482	49	97
Початкова	6,9	1800	1300	1300
Після фільтрів				
I-го ступеня	6,9	1260	95	230
II-го ступеня	6,9	970	63	166
III-го ступеня	6,9	873	57	154
Початкова	7,2	2600	2000	2000
Після фільтрів				
I-го ступеня	7,2	1825	118	456
II-го ступеня	7,2	1369	73	315
III-го ступеня	7,2	1218	64	287

Як видно з даних таблиці, вилучення основної маси жирів та завислих речовин відбувається в

першій колонці. Зниження концентрації жирів становить 87,5-93,0 %, завислих речовин – 77,3-79,4 %, ХПК – 29,8-32,0 %.

Після 2-го ступеня очищення на ППУ-фільтрах концентрація жирів, завислих речовин та значень ХСК знижується на 30-38%, 25-31% і 20-25 % відповідно. Після третього ступеня відбувається зниження концентрації жирів на 8-12 %, завислих речовин на 5-9 % та значень ХСК на 9-11 %. При цьому при вихідних концентраціях, що не перевищують середні показники за жирами та завислими речовинами – 1300 мг/л, їх вміст у очищеній воді після фільтрів першого ступеня не перевищує 95 та 280 мг/л, II-го ступеня 63 та 166 мг/л, III-го ступеня 57 і 154 мг/л. При вихідному значенні ХСК – 1800 мг/л, його величина після фільтрів I-го ступеня знижується до 1260 мг/л, після II-го ступеня – до 970 мг/л, після III-го ступеня – до 870 мг/л. Тривалість фільтрування становила 15 годин. При мінімальних та максимальних концентраціях забруднень тривалість фільтрування відповідно становить 30 та 9,5 годин.

При вихідних значеннях ХСК 2600 мг/л, які відповідають гранично високим можливим показникам забрудненості вихідної води, на фільтрах з після I-го ступеня цей показник досягає 1825 мг/л, після II-го ступеня – 1369 мг/л, після III-го ступеня 1218 мг/л, тобто, як видно, глибина очищення ХСК не відповідає вимогам скиду в міську каналізацію (ХСК > 1000 мг/л). Це вимагає інтенсифікації процесу очистки шляхом, наприклад, реагентної обробки неорганічними коагулянтами або флокуляцією.

Динаміку процесу поглинання домішок досліджуваних стічних вод гранулами ЕППУ можна пояснити так. Спочатку при надходженні стічної води в I-й фільтр відбувається активне поглинання високов'язких жирів і завислих речовин (органічного та мінерального походження), що перебувають в грубодисперсному стані, верхніми шарами ЕППУ-завантаження. Домішки, що містяться в тонкодиспергованому та емульгованому стані, проходять у фільтрат, практично не затримуючись і у наступних 2-му та 3-му фільтрах. При надходженні нових порцій стічної води при фільтруванні зверху вниз межа «зажирення» ЕППУ поступово переміщається донизу, до повного «спрацювання» завантаження.

Різний характер поглинання пояснюється специфічними властивостями домішок досліджуваних стоків і насамперед високою в'язкістю тваринних жирів.

Враховуючи наявність у структурі жирів, що належать до класу гліцеринів, карбонільних груп, можна зробити висновок про наявність як ван-дер-

ваальсівської взаємодії, так і водневого зв'язування жирів з полярними групами пінополіуретану.

Зі збільшенням концентрацій забруднень в воді, що очищується, спостерігається тенденція зниження ефективності очищення стічних вод на кожному наступному ступені фільтрів.

Висновки

Отже, в результаті проведених досліджень встановлено, що фільтруванням стічних вод виробництв м'ясної промисловості через шар еластичного пінополіуретану (ЕППУ) можна забезпечити потрібний ефект очищення при скиді до міської каналізації [6].

Визначені оптимальні показники фільтруючого завантаження: розмір гранул ЕППУ – 20×20×20 мм, щільність – 50 – 60 кг/м³. Збільшення щільності завантаження суттєво скорочує фільтроцикл.

Регенерацію завантаження рекомендовано проводити віджимним способом на барабанних пристроях з діаметром сталюого барабану 150 мм, кут захвату $\alpha = 28 - 33^\circ$. Відведення завантаження на регенерацію і подача у фільтр регенованого завантаження здійснюється гідравлічним способом з інтенсивністю подачі води 19 л/с×м².

Експериментально доведено, що найбільш ефективною є швидкість фільтрування стічних вод в межах 5 – 10 м/год при фільтроциклі 12 – 15 годин. При більших значеннях швидкості спостерігається різке погіршення якості фільтрату.

Необхідна висота шару фільтруючого завантаження залежить від якісних показників вихідної води при дотриманні вимог до скиду очищених вод в міську каналізаційну мережу [6]. Для практичної реалізації запропонованого способу очистки рекомендується використовувати типові корпуси напірних фільтрів з висотою шару завантаження до 2,0 м. В залежності від якісних показників вихідної води по ХСК, вмісту жирів і завислих речовин слід застосовувати послідовну одно- дво- або триступеневу схему.

При гранично високих можливих величинах ХСК у вихідній воді (більше 1800 мг/л) запропонована схема не забезпечує потрібного ефекту очищення при скиді в міську каналізаційну мережу. Це вимагає запровадження заходів з інтенсифікації процесу очистки, наприклад, попередньою обробкою коагулянтами і флокулянтами, що потребує проведення додаткових досліджень.

Отже, запропонована технологія очистки стічних вод м'ясопереробної промисловості у порівнянні з традиційними технологіями забезпечує достатню ефективність, надійність, компактність і

простоту обслуговування при відносно незначних експлуатаційних витратах.

Література

1. Latiffi N. A. Characteristics of Water Quality from Meat Processing Wastewater / N. A. Latiffi, R. M. Saphira, V. A. Shanmugan [& oth.] // *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*.- 2019.- Vol. 1(17).- P. 78-84.

2. Slaughterhouse water consumption and wastewater characteristics in the meat processing industry in Serbia [Electronic resource] / N. Aleksić, A. Nešović, V. Šušteršič [& oth.] // *Desalination and Water Treatment*.- 2020.- №190.- P. 98-112. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25745>

3. Zanol M. B. Assessment of characteristics and treatment processes of wastewater from slaughterhouses in the state of Minas Gerais, Brazil [Electronic resource] / M. B. Zanol, J. P. Pereira Lima, P. Assemany [& oth.] // *Journal of Environmental Management*.- 2024.- №358. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120862>

4. Slaughterhouse Wastewater Treatment by Electrocoagulation Process [Electronic resource] / F.A. Nugroho, A.Z. Arif, G.Z. Sabila [& oth.] // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.- 2021.- Vol.1115. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1115/1/012037>

5. Підприємства м'ясопереробної промисловості [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ecbit.com.ua/predpriyatiya-myasopererabatvyayushchey-promyshlennosti> (дата звернення 01.02.2025).

6. Правила приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення: Наказ Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури від 13.12.2023 №1134. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0056-18#Text>

7. Characterization of Low-Volume Meat Processing Wastewater and Impact of Facility Factors [Electronic resource] / G. Rouland, S. I. Safferman, J. P. Schwehofer [& oth.] // *Water*.- 2024.- Vol. 16(4). <https://doi.org/10.3390/w16040540>

8. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод / Ковальчук В. А. – Рівне: ВАТ "Рівненська друкарня", 2002. – 622 с. ISBN 966-7358-24-0

9. Епоян С.М.. Застосування еластичного пінополіуретану для інтенсифікації очищення жиромістких стічних вод м'ясної промисловості / С.М. Епоян, С.В. Лукашенко // *Тези доп. 75 наук – техн конф., ХНУБА, 13-14 травня 2020 р.- Харків: ХНУБА*.- 2020. – С. 82 – 83.

10. Природоохоронні технології. Навчальний посібник. Ч.2 : Методи очищення стічних вод / Петрук В.Г. [та ін.]. - Вінниця: ВНТУ, 2016. – 258 с. ISBN: 978-966-289-249-9.

11. Ковальчук В.А. Тваринництво та м'ясопереробка : сучасні методи очистки стічних вод / В.А. Ковальчук // *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. - 2015. – № 59. – с. 194-199.

12. Електрохімічна очистка стічних вод [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://stud.com.ua/462/ekologiya/elektrohimichna_ochistka_s_tichnih#qoog_rewarded (дата звернення 03.02.2025).

13. Ковальчук В. А. Комплексна технологія очистки стічних вод м'ясопереробної промисловості / В.А. Ковальчук // *World Meat Technologies*.- 2010. - №11. – С. 71-75.

14. Savchuk L. Research into processes of wastewater treatment at plants of meat processing industry by flotation and coagulation [Electronic resource] / L. Savchuk, Z. Znak, O. Kurylets, R. Mnykh [& oth.] // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*.- 2017.- Vol. 33(10(87)). P. 4–9. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101736>

15. Uglyar, Yu. M. Electroflotocoagulation wastewater treatment of LLC «Kolomyia meat-processing plant» [Electronic resource] / Yu. M. Uglyar, I. D. Borshchysyn, U. V. Khromyak // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*.- 2014.- № 2/10(68).- P. 30-34. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.22986>

16. Ковальчук В. А. Розвиток наукових і практичних засад інтенсифікації роботи споруд для флоатційної та біологічної очистки стічних вод м'ясопереробних підприємств: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук: спец. 05.23.04 "водопостачання, каналізація" / Ковальчук Віктор Анатолійович. – Рівне, 2011. – 28 с.

17. Водопостачання та водовідведення промислових підприємств: навчальний посібник / С.В. Лукашенко, О.А. Сироватський, О.Г. Гайдучок та ін. Харків: Мачулін, 2022. 180 с.

18. Gasiunas V. Efficiency of ferric sulphate for removal of phosphorus from meat processing wastewater [Electronic resource] / V. Gasiunas // *Proceedings of the 7th International Scientific Conference Rural Development*.- 2015.- P. 1-5. ISSN 1822-3230. <https://doi.org/10.15544/rd.2015.077>.

19. Amuda O. Coagulation/flocculation process in the treatment of abattoir wastewater [Electronic resource]/ O. Amuda, A. Alade // *Desalination*.- 2006.- 196(1–3).- P. 22–31. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.10.039>.

20. Jachimowicz P. Effect of Aeration Mode on Microbial Structure and Efficiency of Treatment of TSS-Rich Wastewater from Meat Processing [Electronic resource] / P. Jachimowicz, A. Cydzik-Kwiatkowska, P. Szklarz // *Applied Sciences*.- 2020.- №10(21). <https://doi.org/10.3390/app10217414>.

21. Mutua D. N. Biological Treatment of Meat Processing Wastewater Using Lab-Scale Anaerobic-Aerobic/Anoxic Sequencing Batch Reactors Operated in Series [Electronic resource] / D. N. Mutua, E. N. Mwaniki Njagi, G. Orinda [& oth.] // *Journal of Bioremediation & Biodegradation*.- 2016.- Vol. 7(4). <https://doi.org/10.4172/2155-6199.1000362>

22. Kimura A. Fats and Oils-Containing Wastewater Treatment with Fats and Oils-Degrading Microorganisms [Electronic resource] / A. Kimura, M. Kubo // *Oleoscience*.- 2006.- Vol.6(10).- P. 501-506. <https://doi.org/10.5650/oleoscience.6.501>

23. Hajar Abyar. Highly Efficient Reclamation of Meat-Processing Wastewater by Aerobic Hybrid Membrane Bioreactor-Reverse Osmosis Simulated System: A Comprehensive Economic and Environmental Study [Electronic resource] / H. Abyar, M. Nowrouzi. // *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*.- 2020.- Vol 8(37). P. 207–216. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c05298>

Reference

1. Latiffi, N. A., Saphira, R. M., Shanmugan, V. A. (2019) Characteristics of Water Quality from Meat Processing Wastewater. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 1(17), 78-84.
2. Aleksić, N., Nežović, A., Šušteršič, V. (2020). Slaughterhouse water consumption and wastewater characteristics in the meat processing industry in Serbia. *Desalination and Water Treatment*, 190, 98-112. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25745>
3. Zanol, M. B., Pereira Lima, J. P., Assemany P., (2024). Assessment of characteristics and treatment processes of wastewater from slaughterhouses in the state of Minas Gerais, Brazil. *Journal of Environmental Management*, 358. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120862>
4. Nugroho, F.A., Arif, A.Z., Sabila, G.Z. (2021). Slaughterhouse Wastewater Treatment by Electrocoagulation Process. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1115. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1115/1/012037>
5. Enterprises of the meat processing industry (2024). Retrieved from <https://ecbit.com.ua/predpriyatiya-mysopererabatyvayushchey-promyshlennosti> (in Ukr.).
6. Rules for accepting wastewater into centralized drainage systems (2023, December). Order of the Ministry of Community Development, Territories and Infrastructure. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0056-18#Text>
7. Rouland, G., Safferman, S. I., Schweihofer, J. P. (2024). Characterization of Low-Volume Meat Processing Wastewater and Impact of Facility Factors. *Water*, 16(4). <https://doi.org/10.3390/w16040540>
8. Kovalchuk, V.A. (2002). Sewage treatment. Rivne: VAT Rivnenska drukarnya (in Ukr.).
9. Epoyan, S.M. & Lukashenko, S.V. (2020, May 13-14). Application of elastic polyurethane foam for intensification of cleaning of fat-containing wastewater of the meat industry. Abstracts of reports. 75 scientific and technical conference of KhNUBA, 82 – 83.
10. Petruk, V.G., Severin, L.I., Vasilivskiy, I.V., Bezvovnuk, I.I. (2016). Environmental technologies. Study guide. Part 2: Wastewater treatment methods. Vinnitsa: VNTU (in Ukr.).
11. Kovalchuk V.A. (2015). Animal husbandry and meat processing: modern methods of wastewater treatment. *Vistik Odeskoi derzhavnoi akademii budivnitsnva ta architekturi [Bulletin of the Odessa State Academy of Construction and Architecture]*, 59, 194-199 (in Ukr.).
12. Electrochemical treatment of wastewater (2024). Retrieved from https://stud.com.ua/462/ekologiya/elektrohimichna_ochistka_s_tichnih#goog_rewarded (in Ukr.).
13. Kovalchuk V.A. (2010). Complex technology of wastewater treatment of the meat processing industry. *World Meat Technologies*, 11, 71-75 (in Ukr.).
14. Savchuk, L., Znak, Z., Kurylets, O., Mnykh, R. (2017). Research into processes of wastewater treatment at plants of meat processing industry by flotation and coagulation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 33(10(87)), 4–9. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101736>
15. Uglyar, Yu. M., Borshchyshyn, I. D., Khromyak, U. V. (2014). Electroflotocoagulation wastewater treatment of LLC «Kolomyia meat-processing plant». *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2, 30-34. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.22986>
16. Kovalchuk, V.A. (2011.) Development of scientific and practical principles of intensification of the work of facilities for flotation and biological treatment of wastewater of meat processing enterprises. Abstract of thesis doctoral dissertation. Rivne: NUVGP (in Ukr.).
17. Lukashenko, S.V., Sirovatskyi, O.A., Haiduchok, O.H., Titov, A.A. (2022). Water supply and drainage of industrial enterprises: study guide. Kharkiv: Machulin (in Ukr.).
18. Gasiunas, V. (2015). Efficiency of ferric sulphate for removal of phosphorus from meat processing wastewater. *Proceedings of the 7th International Scientific Conference Rural Development*, 1-5. <https://doi.org/10.15544/rd.2015.077>.
19. Amuda, O., Alade, A. (2006). Coagulation/flocculation process in the treatment of abattoir wastewater. *Desalination*. 196(1–3), 22–31. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.10.039>.
20. Jachimowicz, P., Cydzik-Kwiatkowska, A., Szklarz Jachimowicz, P. (2020) Effect of Aeration Mode on Microbial Structure and Efficiency of Treatment of TSS-Rich Wastewater from Meat Processing. *Applied Sciences*. 10(21). <https://doi.org/10.3390/app10217414>.
21. Mutua, D. N., Mwaniki Njagi, E. N., Orinda, G. (2016). Biological Treatment of Meat Processing Wastewater Using Lab-Scale Anaerobic-Aerobic/Anoxic Sequencing Batch Reactors Operated in Series. *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, 7(4). <https://doi.org/10.4172/2155-6199.1000362>
22. Kimura, A., Kubo, M. (2006). Fats and Oils-Containing Wastewater Treatment with Fats and Oils-Degrading Microorganisms. *Oleoscience*, 6(10), 501-506. <https://doi.org/10.5650/oleoscience.6.501>
23. Abyar, H., Nowrouzi, M. (2020). Highly Efficient Reclamation of Meat-Processing Wastewater by Aerobic Hybrid Membrane Bioreactor-Reverse Osmosis Simulated System: A Comprehensive Economic and Environmental Study. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(37), 207–216. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c05298>

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.О. Юрченко, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

Автор: ЛУКАШЕНКО Сергій Вікторович
кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – serhii.lukashenko@kname.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2052-1183>

Автор: СИРОВАТСЬКИЙ Олександр Анатолійович
кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – oleksandr.syrovatskyi@kname.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1002-8579>

Автор: КАРАГЯУР Андрій Степанович
доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри
водопостачання, водовідведення і очищення вод

Харківський національний університет міського
господарства імені О.М. Бекетова

E-mail – andrii.karahiaur@kname.edu.ua

ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8868-3189>

APPLICATION OF ELASTIC FOAM POLYURETHANE FOR THE TREATMENT OF MEAT INDUSTRY WASTEWATER

S. Lukashenko, O. Syrovatsky, A. Karahiaur

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

Meat industry enterprises consume large amounts of clean water for production needs. Wastewater from these enterprises, which accounts for 30-40% of water consumption, is significantly contaminated with organic compounds, especially fats and suspended solids with concentrations from 50 to 2000 mg/l or more, the chemical oxygen demand (COD) of these effluents is 1000 - 2600 mg/l.

The local treatment facilities available at the industry enterprises - grease traps, settling tanks and flotation tanks do not always provide the required quality of wastewater treatment. For example, the fat content sometimes exceeds the established standards (20-100 mg/l) several times, which subsequently negatively affects the efficiency of municipal wastewater treatment facilities - especially biological ones. In addition, local treatment systems are costly and require significant areas for placement, which is not always acceptable in production conditions.

Methods of additional wastewater treatment by filtration through granular loading made of various materials have not found practical application in meat industry enterprises due to the lack of effective methods for regenerating the filter layer.

The authors conducted laboratory research to study processing industrial fat-containing wastewater from the meat industry using elastic polyurethane foam.

This filter material has the required porosity, sufficient mechanical strength and chemical resistance. Porous polyurethane foam is elastic and has high resilience. This property of polyurethane foam makes it possible to remove the bulk of absorbed contaminants from it mechanically by squeezing, after which it can be reused.

During the research, the effect of the size, density, the height of the filter loading, as well as the filtration rate, on the efficiency of treatment from fats and suspended solids was conducted. When selecting the granule sizes, density, and loading height, minimum losses in the filter layer were considered for maximum filtration duration and minimum regeneration time was ensured.

Based on the conducted research, the main process parameters for cleaning fat-containing wastewater from the meat industry by filtration were determined: filter layer height - 2 m; filter loading density - 50-60 kg/m³; granule size of the loading 20×20×20 mm; average filtration speed - 5-10 m/h. The fat content during wastewater treatment from the meat industry is reduced to 50-65 mg/l.

It was found that it is advisable to regenerate the loading by mechanical pressing on steel drums with a diameter of 150 mm at a pressing zone temperature that ensures the fluidity of organic matter.

Implementing the developed technology will ensure the required degree of industrial wastewater purification from meat processing plants when discharged into the urban sewer network. At the same time, a high degree of ease of operation of the unit and its compactness are ensured compared to traditional technologies

Keywords: fat-containing wastewater, filter loading, elastic polyurethane foam