Автори: Лукашенко Сергій Вікторович, кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет міського господарства імені
О.М. Бекетова, м. Харків; Сироватський Олександр Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків

ORCID: [0009-0001-2052-1183](https://orcid.org/0009-0001-2052-1183) Лукашенко С.В.

 ORCID: [0000-0003-1002-8579](https://orcid.org/0000-0003-1002-8579) Сироватський О.А.

**ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД М'ЯСНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ФІЛЬТРУВАННЯМ ЧЕРЕЗ ЕЛАСТИЧНИЙ ПІНОПОЛІУРЕТАН**

У технологічних процесах м’ясопереробних підприємств вода застосовується для миття продукції, обладнання та інвентарю, охолодження апаратури та технічного устаткування, транспортування сировини, а також під час приготування реагентів. Концентрація жирів та завислих речовин у стічних водах м’ясної промисловості в Україні та розвинених країнах варіюється в межах 600–2000 мг/л, а хімічне споживання кисню (ХСК) становить від 1000 до 2600 мг/л [1].

Відповідно до чинних нормативів, при скиданні стічних вод м’ясопереробних підприємств у міську каналізацію допустима концентрація жирів складає 20-100 мг/л, завислих речовин — до 500 мг/л, а ХСК — до 1000 мг/л [1-2]. З кожним роком вимоги до якості стічних вод стають більш жорсткими, що потребує вдосконалення локальних очисних споруд для забезпечення відповідності встановленим нормам [1].

Існуючі на підприємствах галузі очисні споруди — жироловки, відстійники та флотатори — не завжди дають необхідний рівень очищення стічних вод. Метод фільтрації через традиційні зернисті завантаження для інтенсифікації ефективності очищення таких стічних вод широкого застосування не знайшов через відсутність дієвих методів регенерації фільтруючих матеріалів [3].

На нашу думку, одним із перспективних напрямків у сфері очищення води, що містить значні концентрації жирів і завислих речовин, є використання фільтрів із завантаженням з олеофільних синтетичних матеріалів, таких як пінополіуретан, пінополістирол або подрібнений пінопласт [4-5]. Такий підхід сприятиме підвищенню ефективності очищення, та дозволить зменшити габарити очисного обладнання на м’ясопереробних підприємствах.

У реальних умовах очищення стічних вод найчастіше здійснюється за допомогою триступеневої схеми, що включає механічне, фізико-хімічне та біологічне очищення [2].

Аналіз результатів очищення стічних вод такими методами як імпелерна флотація, напірна флотація [3] та електрофлотація, пінна сепарація [2] без попередньої коагуляції показав приблизно однаковий рівень очищення (50-60 %) за жирами та завислими речовинами.

Поєднання коагуляції з флотацією при очищенні стічних вод, що містять жири, дозволяє досягти більш глибокого очищення за жирами до 93-98 %, за завислими речовинами – 85-96 %, а за ХСК – 50-86 % [2]. Як коагулянти зазвичай застосовуються неорганічні солі, такі як хлориди заліза та кальцію, сульфати заліза й алюмінію, та інші органічні та неорганічні коагулянти [3].

Найбільшу ефективність очищення забезпечують споруди біологічного очищення та доочищення: видалення жирів досягає 99-100 %, завислих речовин — 95-98,2 %, БПКповн — 97-99,5 % [1].

Узагальнюючій аналіз наявних даних про видалення жирів та завислих речовин з жировмісних стічних вод традиційними методами (відстоювання, флотація, біологічне та реагентне очищення) показує, що жоден із цих методів окремо не забезпечує повного дотримання вимог щодо скидання стічних вод у міські каналізації. У зв’язку з цим актуальним є проведення досліджень із застосування еластичного пінополіуретану (ЕППУ) для очищення стічних вод м’ясопереробних підприємств перед їх скиданням до міської каналізації. Це забезпечить компактність та ефективність очисних установок при мінімальних витратах енергії та ресурсів.

До ключових параметрів процесу фільтрації, які визначають ефективність очищення фільтруванням, належать крупність завантаження, щільність матеріалу, висота фільтруючого шару та швидкість фільтрації [4].

Метою цього дослідження було встановити оптимальні параметри процесу фільтрації, зокрема розмір гранул завантаження та основні параметри процесу регенерації фільтруючого матеріалу.

Досліджували роботу фільтра із завантаженням з ЕППУ, що мав форму кубиків з розмірами ребер 10, 20, 30 та 40 мм. Діаметр експериментальної фільтраційної колони, наповненої гранулами ЕППУ, складав 100 мм, а висота — 2,5 м. Досліди проводилися в лабораторних умовах із використанням штучно приготовленого розчину. Висота шару завантаження становила 1,5-2,0 м, а щільність — 50-70 кг/м³.

Модельний стік отримували шляхом перемішування необхідної кількості жирів, завислих речовин та водопровідної води у змішувальному баку за допомогою високошвидкісного мішального пристрою. Жири та завислі речовини для проведення експериментів відбирали з осаду діючих відстійників, що експлуатуються на м’ясопереробних підприємствах Харкова. Концентрація домішок у модельному розчині становила: жирів — 600-2000 мг/л, завислих речовин — 600-2000 мг/л.

Вибір оптимального розміру кубиків ЕППУ-завантаження проводили на віджимному пристрої, який складається з гумових барабанів для віджиму.

Як показали дослідження, розмір гранул ЕППУ у межах 10–40 мм практично не впливає на ефективність очищення та тривалість фільтрування при висоті шару завантаження 1,5–2 м та щільності фільтруючого матеріалу 50–70 кг/м³ за швидкості фільтрування 5–15 м/год. Незначне зростання ефективності очищення спостерігається при використанні гранул розміром 10–20 мм, що на 10 % вище порівняно з гранулами 30–40 мм [5].

Також спостереження за роботою віджимного пристрою (рисунок 1) показали, що для надійного захоплення матеріалу циліндричними барабанами необхідно, щоб кут захвату був меншим за кут тертя (приблизно 30°). Розрахунок кута здійснювався за спеціальною формулою, що враховує діаметр барабана та розміри гранул завантаження. Розраховані значення кута α для досліджуваних розмірів гранул ЕППУ-завантаження на барабанах, виготовлених із сталевих труб діаметром 150, 300 та 450.



Рисунок 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 – кожух, 8 – трубопровід подачі пари.

Результати експериментів показали, що мінімальний діаметр барабана, який забезпечує надійне захоплення гранул ЕППУ розміром 20×20×20 мм, становить 150 мм. При збільшенні діаметра до 300–450 мм можливе захоплення кубиків завантаження розміром до 40 мм. З урахуванням того, що оптимальним розміром є 20 мм, саме ці параметри нами далі розглядаються як технологічні. Температура зони віджиму повинна відповідати плинності затриманої органічної речовини [5].

Транспортування ЕППУ-завантаження до фільтра та його вивантаження здійснюється за допомогою гідравлічної системи через трубопроводи. Дослідження показали, що діаметр трубопроводу має бути не меншим за п'ятикратний діаметр гранул. Для ефективного переміщення матеріалу оптимальна інтенсивність подачі води становить 19 л/м²·с [4].

Проведені дослідження дозволили визначити оптимальні розміри гранул ЕППУ на рівні 20×20×20 мм. Регенерацію завантаження рекомендовано проводити віджимним методом на барабанних пристроях із діаметром сталевого барабана 150 мм та кутом захоплення 28–33°. Подача відфільтрованого матеріалу до регенераційного вузла і назад до фільтра здійснюється гідравлічно з інтенсивністю подачі води 19 л/см².

Подальші дослідження планується спрямувати на визначення інших параметрів фільтрування, що впливають на ефективність очищення, зокрема висоти шару завантаження, щільності фільтруючого матеріалу та швидкості фільтрації.

**Список літератури**

1. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод / Ковальчук В. А. – Рівне: ВАТ "Рівненська друкарня", 2002. – 622 с. ІSBN 966-7358-24-0.
2. 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>
3. Uglyar, Yu. M. Electroflotocoagulation wastewater treatment of LLC «Kolomyia meat-processing plant» [Electronic resource] / Yu. M. Uglyar, I. D. Borshchyshyn, 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>
4. Лукашенко С.В., Сироватський О.А., Карагяур А.С. Застосування еластичного пінополіуретану для очищення стічних вод м’ясної промисловості // Комунальне господарство міст.- 2025.- №1 (189).- С. 243 – 250. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2025-1-189-243-251>
5. Lukashenko S., Syrovatskyy O., Karahiaur A., Haiduchok O. Enhancing the treatment efficiency of fat-containing wastewater using elastic polyurethane foam filters // The 16th International scientific and practical conference “Innovative development models: trends and innovations”(April 22–25, 2025).- Athens, Greece: International Science Group, 2025.- P. 151 – 154.