
БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

CONSTRUCTION AND CIVIL ENGINEERING

УДК 628.316.12

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2021.4.9>

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РЕАГЕНТНОГО ОЧИЩЕННЯ ДРЕНАЖНИХ ВОД ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Дегтяр М.В. – кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод
Харківського національного університету міського господарства
імені О.М. Бекетова

ORCID ID: 0000-0001-7836-1680

Душкін С.С. – доктор технічних наук,
професор кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод
Харківського національного університету міського господарства
імені О.М. Бекетова

ORCID ID: 0000-0002-9345-9632

У статті проведена оцінка ефективності використання різних технологічних прийомів очищення дренажних вод полігонів твердих побутових відходів (ТПВ), зокрема, запропонований спосіб активізації реагентного методу очищення із застосуванням розчину коагулянту сульфату алюмінію, підданого активації шляхом магнітної обробки та електрокоагуляції. Така технологія дозволить інтенсифікувати процес очищення дренажних вод, знизити дози сульфату алюмінію без погіршення якості очищення стічних вод, знизити експлуатаційні витрати та собівартість очищення дренажних вод.

Для досягнення мети в ході досліджень вивчений хімічний склад фільтрату полігонів ТПВ на різних етапах експлуатації полігону з урахуванням якісних особливостей фільтрату залежно від його віку.

Основна увага приділена оптимізації параметрів реагентного очищення стічних вод полігонів ТПВ, вивчена кінетика та виявлені закономірності процесу коагуляції у разі активації розчину коагулянту сульфату алюмінію.

При цьому були вивчені такі основні питання, як:

- зміна структурно-механічної гідратації гідроксиду алюмінію під час обробки стічних вод полігонів твердих побутових відходів активованим розчином коагулянту сульфату алюмінію;
- вплив активованого розчину коагулянту на зміну сил зчеплення контактного середовища;
- вплив активованого розчину коагулянту на гідравлічну крупність суспензії, що коагулюється.

У роботі доведено високу ефективність використання реагентного методу (в комбінації з біологічним очищенням) для фільтраційних вод, характерних для стадії метаногенезу,

детально описаний хімізм процесу та механізм зміни структурно-механічної гідратації гідроксиду алюмінію під час обробки стічних вод. Слід зазначити, що запропонована технологія має низку особливостей, зокрема, протягом активації розчину реагенту відбувається накладення магнітного поля, внаслідок чого відбувається зміна структури розчину і утворення додаткових центрів коагуляції.

Порівняно з іншими відомими технологіями, що мають стадію реагентного очищення, це дозволить інтенсифікувати процес коагуляції та знизити розрахункову дозу коагулянту на 25–30% без погіршення якості очищення.

Ключові слова: фільтрат, тверді побутові відходи, метод, ефективність, довкілля, гідравлічна крупність, ступінь структурно-механічної гідратації.

Degtyar M.V., Dushkin S.S. Optimization parameters of leachate reagent treatment

The article evaluates the effectiveness of various technological methods leachate treatment, in particular, a method for activating the reagent treatment method using a solution of aluminum sulfate coagulant, subjected to activation by magnetic treatment and electrocoagulation. This technology will intensify the process of leachate treatment, reduce the dose of aluminum sulfate without compromising the quality of wastewater treatment, reduce operating costs and the cost of leachate treatment, in general.

To achieve this goal in the course of research was studied the chemical composition of leachate at different stages of operation of the landfill, taking into account the qualitative characteristics of the leachate, depending on its age.

The optimization of the parameters of reagent leachate treatment was highlighted; has been studied the kinetics and identified patterns of the coagulation process when activating a solution of aluminum sulfate coagulant.

The following main issues have been studied:

– change of structural and mechanical hydration of aluminum hydroxide during leachate treatment with activated solution of aluminum sulfate coagulant;

– the effect of activated coagulant solution on the change of adhesion forces of the contact medium;

– the effect of activated coagulate solution on the hydraulic size of the coagulated suspension.

The article proves the high efficiency of the reagent method (in combination with biological treatment) for filtration water characteristic of the stage of methanogenesis, describes in detail the chemistry of the process and the mechanism of changes in structural and mechanical hydration of aluminum hydroxide in wastewater treatment.

It should be noted that the proposed technology has a number of features, in particular, during the activation of the reagent solution is the imposition of a magnetic field, resulting in a change in the structure of the solution and the formation of additional coagulation centers.

Compared to other well-known technologies that have the stage of reagent purification, this will intensify the coagulation process and reduce the estimated dose of coagulant by 25–30%, without deterioration the quality of purification.

Key words: leachate, solid domestic waste, method, efficiency, environment, structural and mechanical hydration of aluminum hydroxide, hydraulic size.

Очищення дренажних вод являє складне завдання як з технологічної, так і з економічної точки зору. Одностадійна схема очищення фільтрату не дозволяє отримати високу ефективність очищення фільтрату [1, с. 107–109; 2, с. 3–5]. Основним фактором, що забезпечує необхідну якість фільтрату на виході, є багатостадійність процесу, зокрема, з використанням реагентного очищення, для полегшення і повноти протікання наступних стадій [1, с. 107–108; 2, с. 1–3; 3, с. 187–189].

Для очищення висококонцентрованих дренажних вод полігонів ТПВ використовуються фізичні, хімічні, біологічні методи, а також їх комбінація [3, с. 189–191; 4, с. 111–114]. Зокрема, в роботах [2, с. 10–12; 3, с. 189–191] пропонується використовувати стадію реагентного очищення та електролітичну обробку, а також оптимізацію параметрів реагентного очищення стічних вод з використанням FeSO_4 .

Таким чином, у роботі було досліджено особливості очищення дренажних вод полігонів ТПВ, зокрема, з використанням активованого розчину коагулянту сульфату алюмінію як стадії реагентного очищення.

Дослідження з ефективності використання активованого розчину коагулянту були виконані на модельній воді, склад якої наведено у таблиці 1.

При цьому були вивчені такі основні питання, як:

– зміна структурно-механічної гідратації гідроксиду алюмінію під час обробки стічних вод полігонів твердих побутових відходів активованим розчином сульфату алюмінію;

– вплив активованого розчину коагулянту на зміну сил зчеплення контактного середовища;

– вплив активованого розчину коагулянту на гідравлічну крупність зкоагульованої суспензії.

У процесах очищення стічних вод найпоширенішим є коагулянт сульфат алюмінію, одним з недоліків якого є чутливість до температури води, що очищується, в основі чого лежить висока гідратація гідроксиду алюмінію за низьких температур.

Збільшенню ступеня гідратації в умовах низьких температур сприяє стабілізація золю гідроксидів алюмінію, внаслідок чого процес коагуляції може протікати не досить повно.

Таблиця 1

Якісна характеристика дренажних вод полігонів ТПВ та модельної води

Об'єкт дослідження	Період досліджень	Якісні показники								
		Сухий залишок, мг/дм ³	БПК ₅ , мгО/дм ³	ХПК, мг/дм ³	СПАР, мг/дм ³	Завислі речовини, мг/дм ³	рН	Азот, мг/дм ³	Нітрати, мг/дм ³	Сульфати, мг/дм ³
Фільтрат полігону	Зимовий	19052,7	165,67	1317,6	0,45	261,7	7,6	260,3	112,2	2236,3
	Весняний	23800,5	178,28	1200	15	217,7	7,5	77,24	116,8	2316,8
	Літній	28848,7	225	1202	1,45	222,36	7,5	172,0	133,2	2214,4
	Осінній	22514,3	194,5	1106,5	0,8	265,4	7,6	67,7	117,4	1620,1
Модельна вода		24265–25612	132,5–133,8	1042,4–1055,5	1,5–1,7	225,77–230,4	7,6–7,8	160,6–165,4	123,2–127,4	1823,4–1942,7

Водонасичення продуктів зкоагульованих домішок стічних вод залежить насамперед від їх складу і структури. Зважаючи на малий радіус і великий заряд катіон Al^{3+} сильно гідратований. Гідроксильні групи, приєднані до катіонів Al^{3+} , також пов'язують велику кількість води. Особливо інтенсивно протікає включення води в початковий момент структуроутворення, коли, крім хімічної гідратації, відбувається механічне захоплення води.

Дослідження впливу активованого розчину коагулянту сульфату алюмінію на ступінь структурно-механічної гідратації коагульованих опадів виконували на модельній воді (таблиця 1).

Активации піддавали 10% розчин коагулянту сульфату алюмінію, яким оброблялася стічна вода в циліндрах з конічним днищем.

Ступінь структурно-механічної гідратації осаду з гідравлічною крупністю 0,2 м/с і більше визначалася відношенням:

$$\Gamma_o = \frac{\gamma_T - \gamma_o}{\gamma_o} \approx \frac{\gamma_T}{\gamma_o},$$

γ_0 – питома вага твердої речовини, що утворює каркас пластівців осаду, г/мл;
 γ_T – ваговий вміст твердої фази в одиниці об'єму осаду, г/мл;

$$\gamma_0 = \frac{G}{hf},$$

G – вагова кількість твердої фази в осаді, г;

h – висота шару осаду;

f – площа перерізу циліндра; см^2 (8,2 см^2).

Вплив активації розчину коагулянту сульфату алюмінію залежно від напруженості магнітного поля і вміст у розчині коагулянту анодно-розчиненого заліза показано на рисунку 1. Аналіз відповідних досліджень, наведених у таблиці 2, показує, що на ступінь структурно-механічної гідратації впливає величина напруженості магнітного поля і вміст анодно-розчиненого заліза в розчині коагулянту сульфату алюмінію.

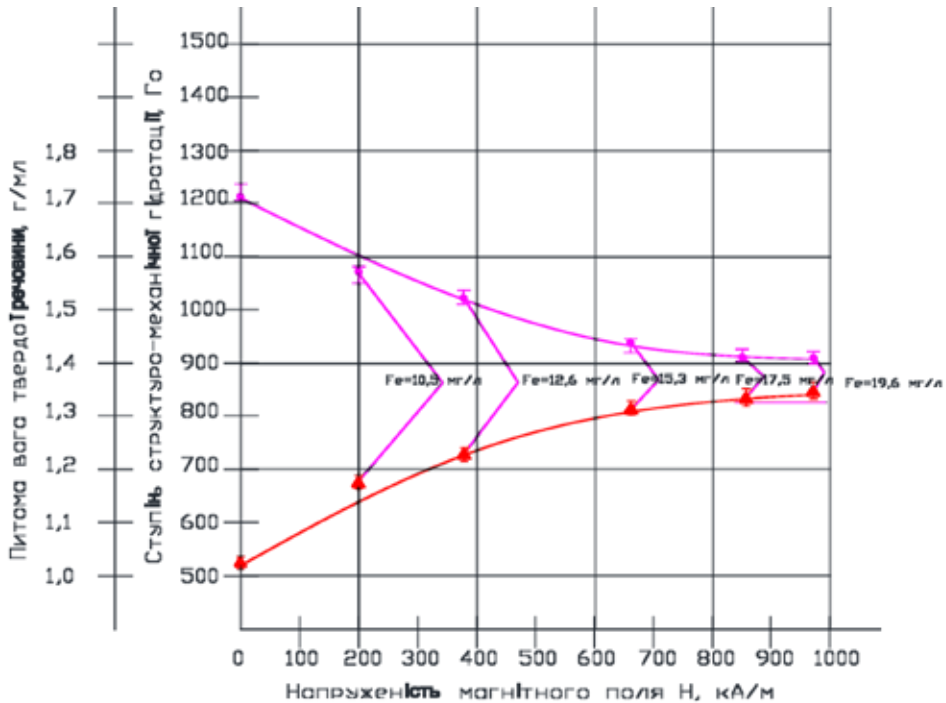


Рис 1. Зміна питомої ваги твердої речовини і ступеня структурно-механічної гідратації гідроксиду алюмінію під час обробки стічної води активованим розчином сульфату алюмінію

- – ступінь структурно-механічної гідратації;
- ▲ – питома вага твердої речовини, г/мл

У разі вмісту анодно-розчиненого заліза більше 17,5 мг/дм^3 і напруженості магнітного поля 850 кА/м ступінь структурно-механічної гідратації практично не змінюється. Збільшення адсорбційної ємності гідроксиду алюмінію в результаті активації розчину коагулянту сприяє значному зниженню кольоровості фільтрату

і збільшенню питомої ваги осаду, отриманого в процесі коагуляції. Таким чином, за магнітно-електричної активації розчину коагулянту сульфату алюмінію збільшується питома вага твердої речовини, яка є базою (каркасом) для пластівців осаду, що демонструють дані таблиці 2.

Таблиця 2

Зміна ступеня структурно-механічної гідратації гідроксиду алюмінію та питомої ваги твердої речовини контактного середовища у разі активації розчину коагулянту

Параметри активації		Ступінь структурно-механічної гідратації, Го		Зміна питомої ваги твердої речовини, %	Питома вага твердої речовини, г/мл		Зміна питомої ваги твердої речовини, %
Напруженість магнітного поля, кА/м	Вміст анодно-розчиненого заліза, мг/дм ³	Середнє значення	Результати окремих дослідів		Середнє значення	Результати окремих дослідів	
0	0	1215	1212	-	1,035	1,031	-
			1214			1,034	
			1216			1,036	
			1218			1,039	
200	10,5	1067	1062	12,21	1,183	1,180	14,3
			1066			1,181	
			1069			1,184	
			1071			1,187	
375	12,5	1025	1020	15,6	1,226	1,223	18,5
			1024			1,224	
			1027			1,227	
			1029			1,230	
650	15,4	933	930	23,2	1,308	1,303	26,4
			932			1,307	
			934			1,310	
			936			1,312	
850	17,5	916	913	24,6	1,327	1,320	28,2
			914			1,324	
			918			1,329	
			919			1,335	
975	19,8	910	907	25,1	1,337	1,333	29,2
			908			1,336	
			912			1,338	
			913			1,341	

Таким чином, використання активованого розчину коагулянту дозволяє зменшити гідратацію зкоагульованих домішок стічних вод, що дає змогу прискорити процес утворення пластівців, підвищити питому вагу пластівців, що утворюються, величина якої впливає на седиментацію зкоагульованих домішок і утворення осаду, що дозволить прискорити процес освітлення стічної води загалом [4, с. 115–116; 5].

Далі розглянемо аналіз впливу активованого розчину коагулянту на гідравлічну крупність зкоагульованої суспензії, величину якої, зокрема, характеризує ефективність процесу седиментації, зважаючи на те, що швидке і повне розділення багатокомпонентної системи – дренажних вод полігонів ТПВ – певною мірою залежить від гідравлічної крупності суспензії, що утворилася під час обробки води коагулянтами.

Використання активованого розчину коагулянту дозволяє збільшити гідравлічну крупність зкоагульованої суспензії та інтенсивність процесу седиментації.

Дослідження виконувалися на модельній воді, якісна характеристика якої представлена в таблиці 1. Умови експерименту:

- температура 10,6–12,5°C;
- напруженість магнітного поля – 325 кА/м;
- вміст анодно-розчиненого заліза – 10,5–15,4 мг/дм³;

На рисунку 2 показано вплив активованого розчину сульфату алюмінію на гідравлічну крупність зкоагульованої суспензії у разі очищення дренажних стічних вод.

Встановлено, що використання активованого розчину сульфату алюмінію впливає на збільшення гідравлічної крупності суспензії у всьому діапазоні виконаних досліджень: так, у разі використання звичайного розчину коагулянту вміст дрібної суспензії з гідравлічною крупністю 0,1 мм/с становить за звичайного розчину коагулянту 65%, активованого розчину – 43%; за гідравлічної крупності 0,2 мм/с – 32% і 25% відповідно; за гідравлічної крупності 0,3 мм/с – 35% і 12% відповідно; за гідравлічної крупності 0,4 мм/с – 18% і 10% відповідно.

Під час дослідження впливу активованого розчину коагулянту на гідравлічну крупність зкоагульованої суспензії було встановлено, що ефективність залежить від вмісту завислих речовин у вихідній воді. Діапазон застосування активованого розчину перебуває в межах 25–250 мг/дм³. Найкращий результат досліджень було зафіксовано за вмісту завислих речовин у вихідній воді 100–150 мг/дм³ (рисунок 2).

Зі збільшенням кількості суспензії до 250 мг/дм³ ефективність обробки зменшується, а у разі подальшого підвищення вмісту завислих речовин використання активованого розчину коагулянту стає недоцільним. У разі зменшення вмісту завислих речовин до 25–50 мг/дм³ ефективність використання розчину коагулянту також зменшується: у разі каламутності 25 мг/дм³ завислі речовини з гідравлічною крупністю 0,2 мм/с видаляються на 23,1%, а 1,2 мм/с – 10,2%; у разі каламутності 50 мг/дм³ відповідно 26,2% і 12,5%; 100 мг/дм³ – 41,6% і 24,1%.

Таким чином, ефективність впливу активованого розчину коагулянту на гідравлічну крупність підвищується зі зменшенням останньої, що підтверджується проведеними дослідженнями для всього діапазону обробленої води.

Кількість суспензії, що випала у стічній воді, обробленій активованим розчином коагулянту, значно вища ніж за умови звичайної коагуляції. Так, суспензія розміром 0,2 мм/с у разі використання активованого розчину коагулянту видаляється на 91,1%, за звичайного – на 67,8%. Зі збільшенням гідравлічної крупності

зкоагульованої суспензії ефективність видалення суспензії трохи знижується: найбільша кількість суспензії під час обробки води активованим розчином коагулянту досягається за гідравлічної крупності 0,2 мм/с, а найменша – за 1,2 мм/с.

Отже, обробка дренажних вод полігонів ТПВ активованим розчином коагулянту сприяє підвищенню гідравлічної крупності зкоагульованих завислих речовин, при цьому збільшується кількість суспензії, що осідає з різною гідравлічною крупністю, що в підсумку інтенсифікує процес очищення.

Таким чином, у ході дослідження встановлено, що ступінь структурно-механічної гідратації суспензії у разі використання активованого розчину коагулянту сульфату алюмінію нижчий, ніж у разі використання звичайного розчину коагулянту. Структурно-механічна гідратація суспензії, що утворюється під час обробки стічної води активованим розчином коагулянту, залежить як від вмісту в розчині активованого сульфату алюмінію анодно-розчиненого заліза, так і від напруженості магнітного поля.

Коагуляція фільтрату активованим розчином коагулянту сприяє підвищенню гідравлічної крупності завислих речовин, при цьому збільшується кількість суспензії, що осідає з різною гідравлічною крупністю, що в підсумку інтенсифікує процес очищення води.

Також встановлено, що у разі використання активованого розчину сульфату алюмінію відбувається збільшення сил зчеплення контактного середовища, що активізує інтенсифікацію процесу очищення води, сприяє зниженню доз коагулянту у разі реагентного предочищення фільтрату.

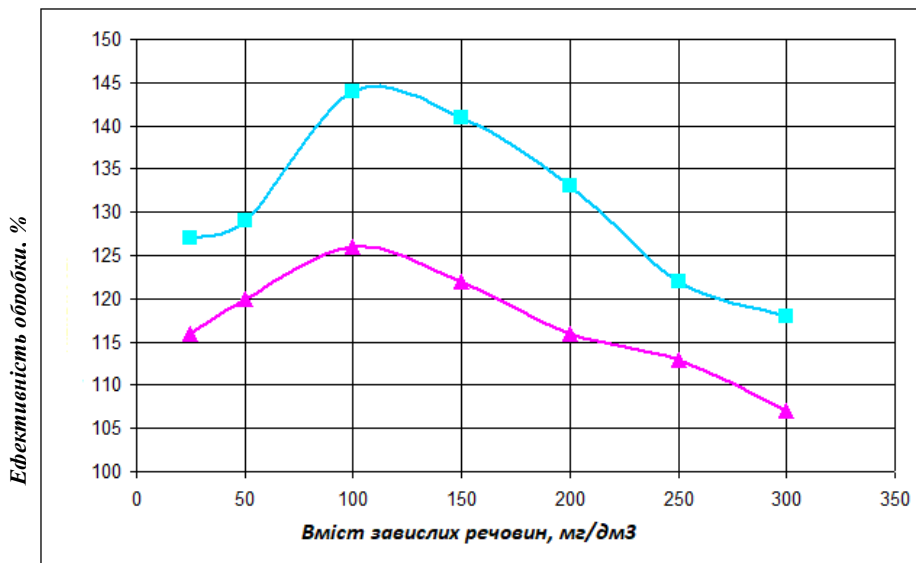


Рис. 2. Вплив активованого розчину коагулянту на гідравлічну крупність зкоагульованої суспензії залежно від вмісту завислих речовин ($t = 12,1^{\circ}\text{C}$; $H = 325 \text{ kA/m}$; $\text{Fe}^{3+} = 12,5 \text{ мг/дм}^3$):

—■— гідравлічна крупність $\geq 0,2 \text{ мм/с}$;

—▲— гідравлічна крупність $\geq 1,2 \text{ мм/с}$

за 100% прийнято вміст завислих речовин за звичайної коагуляції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Кашковський В.І., Кухар В.П. Способи знешкодження високотоксичних стоків звалищ твердих побутових відходів. *Наука та інновації*. 2005. Вип. 6, Т. 1. С. 107–116.
2. Baig S. Treatment of landfill leachates: Lapeyrouse and Satrod case studies. *Ozone science and engineering*. 1999. Vol. 21. P. 1–22.
3. Bolyard S.C., Reinhart D.R. Application of landfill treatment approaches for stabilization of municipal solid waste. *Waste Management*. 2016. Vol. 55. P. 22–30.
4. Дегтяр М.В. Інтенсифікація процесів очищення висококонцентрованих стічних вод. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування* : зб. наукових праць 2015. Вип.1 (69). С. 111–116.
5. Dushkin S., Martynov S., Dushkin S.S., Degtyar M. Purification of filtering drainage wastewater of solid waste landfills with modified coagulant solutions. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2021. URL: <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03604-8>.

REFERENCES:

1. Kashkovsky, V., Kuhar, V. (2005). Sposoby zneshkodzhennya vysokotoksychnykh stokiv zvalyshch tverdykh pobutovykh vidkhodiv [Methods of neutralization of highly toxic effluents from solid waste landfills]. *Nauka ta inovatsiyi – Science and innovation*. 6, Vol. 1. 107–116 [in Ukrainian].
2. Baig S. (1999). Treatment of landfill leachates: Lapeyrouse and Satrod case studies. / S. Baig, I. Coulomb, P. Courant. *Ozone science and engineering*. 21. P. 1–22 [in English].
3. Bolyard, S.C., Reinhart, D.R. (2016). Application of landfill treatment approaches for stabilization of municipal solid waste. *Waste Management*. Vol. 55. P. 22–30 [in English].
4. Degtyar M. (2015). Intensyfikatsiya protsesiv ochyshchennya vysokokontsentryvanykh stichnykh vod [Intensification of highly concentrated wastewater treatment processes]. *Visnyk Natsional'noho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya*. Zb. naukovykh prats'. 1 (69), 111–116 [in Ukrainian].
5. Dushkin S., Martynov, S., Dushkin, S.S. Degtyar, M. (2021). Purification of filtering drainage wastewater of solid waste landfills with modified coagulant solutions. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03604-8> [in English].