

## BEET-PULP WATER COAGULATION TREATMENT WITH ALUMINIUM GEL

A. Ukrainets, V. Olishevskiy, N. Pushanko, K. Liapina, A. Marynin  
*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Beet-pulp water  
Coagulation  
Aluminium gel  
Cleaning effect*

---

**Article history:**

Received 16.07.2015  
Received in revised form  
17.08.2015  
Accepted 02.09.2015

---

**Corresponding author:**

A. Ukrainets  
**E-mail:**  
npnuht@ukr.net

---

---

**ABSTRACT**

The article examines the possibility of using ultrafine aluminum compounds for coagulation of clean beet-pulp water in the circuit of feed water preparation for diffusion plants. A method of preparing a stable aluminum gel by dispersing the encapsulated nanoaluminum in the polyethyleneglycol-water system is proposed. It is proved that, when using the reagent based on aluminum gel for beet-pulp water preparation, protein and pectin content is reduced to 50 and 70 %, respectively, and its cleaning effect is increased to 23 %, which opens up new approaches for its use in sugar production.

## КОАГУЛЯЦІЙНЕ ОЧИЩЕННЯ ЖОМОПРЕСОВОЇ ВОДИ ГЕЛЕМ АЛЮМІНІЮ

А.І. Українець, В.В. Олішевський, Н.М. Пушанко, К.В. Ляпіна, А.І. Маринін  
*Національний університет харчових технологій*

*У статті розглянуто можливість застосування сполук алюмінію в ультрадисперсному стані для коагуляційного очищення жомопресової води в схемі підготовки живильної води для дифузійних установок. Запропоновано спосіб одержання стабільностійкого гелю алюмінію шляхом диспергування інкапсульованого наноалюмінію в системі поліетиленгліколь–вода. Доведено, що у разі використання реагенту на основі гелю алюмінію в жомопресовій воді зменшується вміст білкових і пектинових речовин, відповідно, на 50 % та 70 % та збільшується ефект її очищення до 23 %, що відкриває нові підходи у водовикористанні цукрового виробництва.*

**Ключові слова:** жомопресова вода, коагуляція, гель алюмінію, ефект очищення.

**Постановка проблеми.** В сучасних умовах інтенсифікації виробництва взаємозв'язок економічних та екологічних факторів принципово змінюється, оскільки з'являється можливість створення екологічно чистих виробництв на основі безвідходних технологічних структур. Усе більше уваги приділяється формуванню безвідходної структури переробки сільськогосподарської сировини та підвищення екологізації виробництва за відносно менших витрат. При

цьому особлива увага приділяється взаємозв'язку харчової промисловості з водними ресурсами навколишнього середовища. Найбільш водомісткими галузями є цукрова, консервна, спиртова, крохмале-патокова, пивоварна, в яких нормативні витрати води на одиницю переробної сировини становлять від 10 до 40 м<sup>3</sup>. Близько 70 % загального водоспоживання в харчовій промисловості України припадає на підприємства цукрової промисловості.

Для дифузійних апаратів безперервної дії кількість одержаної жомпресової води складає 35...60 % до маси буряку в залежності від технологічності пресів віджимання, а саме: вмісту сухих речовин у віджатому жомі [7]. Повернення такої води з вмістом органічних речовин у водойми з екологічної точки зору неприпустиме, а очищення її до необхідних за сучасними вимогами кондицій вимагає суттєвих витрат.

Доцільність використання жомпресової води при проведенні процесу екстрагування сахарози пов'язана як зі зменшенням втрат сахарози в дифузійному відділенні, так і з необхідністю впровадження раціонального водовикористання на цукрових заводах.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогодні раціональне водовикористання на цукровому заводі передбачає повернення жомпресової води та деамонізованих аміачних конденсатів у дифузійний апарат замість частини свіжої барометричної води. Це певною мірою визначає якісні та кількісні параметри дифузійної установки і впливає на основні техніко-економічні показники заводу.

Ступінь удосконалення процесу екстрагування багато в чому визначається умовами проведення технологічних операцій. Ефективність використання жомпресової води залежить від її якісних характеристик, а саме: зважених і розчинених домішок, вмісту сахарози та інших органічних речовин, ступеня мікробіологічного забруднення, ефекту очищення.

В останні десятиліття приділяється значна увага науковому напряму, пов'язаному з новими фізико-хімічними та біологічними властивостями матеріалів нанорозмірного діапазону [1]. Розвиток цих досліджень надає можливість створювати економічно привабливі й екологічно безпечні технології водопідготовки [2].

Використання властивостей наноматеріалів дозволяє отримати новий тип реагентів на основі металів (діоксиду титану, заліза й оксиду алюмінію) з високими коагулюючими властивостями [3]. Встановлено, що такі коагулянти, на відміну від традиційних реагентів, забезпечують одержання частинок коагулятів більших розмірів.

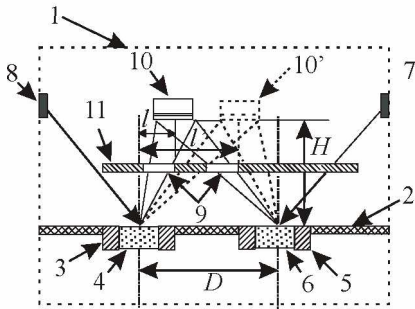
Висока коагулююча здатність реагенту алюмінію в наноформі підтверджується дослідженнями очистки середовищ від гумінових кислот порівняно з традиційним поліхлоридом алюмінію за рахунок утворення більш міцніших комплексів, які осаджуються швидше [4]. При цьому залишкова кількість алюмінію при використанні нанореагенту на 30 % нижча, ніж при використанні звичайного.

Перспективним є використання нанореагентів у харчовій промисловості, зокрема в цукровій [5]. Використання гідроксиду алюмінію в наноформі як додаткового реагенту в процесі попереднього вапнування дає змогу підвищити

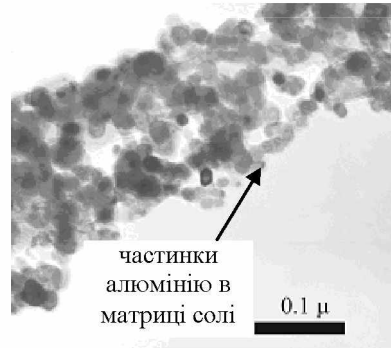
ефект очистки за рахунок коагуляції високомолекулярних з'єднань і речовин колоїдної дисперсності дифузійного соку [6]. Отже, літературні дані підтверджують високу ефективність використання нанореагентів у водопідготовці й очищенні стічних вод.

**Мета статті** полягає в дослідженні ефективності застосування сполук алюмінію в ультрадисперсному стані для коагуляційного очищення жомпресової води в схемі підготовки живильної води для дифузійних установок.

**Викладення основного матеріалу.** Для одержання наночастинок алюмінію використовували метод, що базується на інкапсуляції металевих частинок у хімічно інертне середовище шляхом випаровування металу та солі (галогенідів лужних металів) в замкнутому об'ємі та сумісної конденсації їхніх парових фаз на металеву підкладку [8]. Реалізацію даного способу здійснювали на установці, яка схематично представлена на рис. 1 (основні характеристики установки наведено в табл. 1).



**Рис. 1.** Схема установки інкапсуляції наночастинок алюмінію в хімічно-інертне середовище: 1 — вакуумна камера; 2 — плита; 3, 5 — мідні водоохолоджувані тиглі; 4 — злиток алюмінію; 6 — злиток солі; 7, 8 — електронно-променеві пушки для випаровування; 9 — отвори; 10 — підкладинка; 11 — захисний екран з отворами



**Рис. 2.** Електронно-мікроскопічне зображення конденсату, що формується при сумісному осадженні парових потоків хлориду натрію і алюмінію

**Таблиця 1.** Характеристики експериментальної установки інкапсуляції наночастинок алюмінію в хімічно-інертне середовище

№ п/п	Параметр	Значення
1	Прискорююча напруга електронно-променевої гармати, кВ	18
2	Струм, що витрачається на нагрівання пікладинки, А	0,2
3	Струм, що витрачається на випаровування NaCl, А	0,1
4	Струм, що витрачається на випаровування алюмінію, А	0,8
5	Вміст NaCl в отриманому конденсаті, %	30
6	Відстань між тиглями та підкладкою, H, мм	300
7	Осьова відстань між тиглем з алюмінієм і підкладкою, l, мм	150
8	Залишковий тиск атмосферного газу в камері, Па	$1 \cdot 10^{-2}$

Результати електронної мікроскопії, представлені на рис. 2, показують, що в результаті електронно-променевого випаровування на підкладці формується конденсат, який містить наночастинки алюмінію практично сферичної форми. Наявність сольватної оболонки з хлориду натрію забезпечує уповільнений ріст наночастинок алюмінію в процесі конденсації та запобігає їх агломерації. Це дозволяє зберігати такі частинки в звичайних умовах, а в разі необхідності видалити оболонку за рахунок взаємодії з водою.

З метою одержання стабільно-стійких колоїдних розчинів високої в'язкості (гелей) алюмінію на основі інкапсульованих наночастинок алюмінію нами проводились дослідження можливості використання як стабілізуючого компонента поліетиленгліколю. Гель алюмінію отримували шляхом диспергування інкапсульованого наноалюмінію в системі поліетиленгліколь-вода при постійному нагріванні до температури 60...80 °С. Для запобігання агломерації колоїдної системи на останній стадії застосовували швидке охолодження до кімнатної температури [9]. Такий підхід дозволив одержати колоїдний розчин високої в'язкості (рис. 3).



Рис. 3. Зовнішній вигляд гелю алюмінію

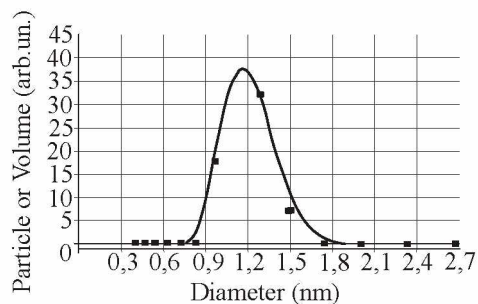


Рис. 4. Розподіл колоїдного розчину частинок алюмінію за розмірами

Аналіз розмірних характеристик гелю алюмінію визначали методом лазерної кореляційної спектроскопії з використанням аналізатора розміру частинок «Zetasizer Nano ZS» з кутом детектування 173°. Розподілення за розміром в одиницях інтенсивності отримували з аналізу кореляційної функції з використанням алгоритму General purpose програмного забезпечення Zetasizer Software 7.11.

Результати досліджень показують (рис. 4), що зниження в'язкості гелю алюмінію шляхом його розведення дистильованою водою не викликає агрегації твердої фази, яка при цьому залишається в нанорозмірному діапазоні.

Для дослідження ефективності коагулюючої дії гелю наноалюмінію використовували жомпресову воду, отриману в лабораторних умовах після пресування знесолодженої бурякової стружки. Як порівняльний реагент використовували сульфат алюмінію. В отриманих зразках визначали чистоту, вміст білкових і пектинових речовин.

Оскільки коагулянти з вмістом алюмінію мають свій температурний оптимум, то для визначення температури проведення процесу для обробки було використано п'ять зразків жомпресової води. Оброблювані зразки підігрівали на електромагнітній мішалці в діапазоні від 50 до 80 °С, додавали до них реагенти в кількості 2,5 % до маси води та витримували при відповідних температурах протягом 10 хв при перемішуванні протягом перших 2 хв. Після закінчення досліджень проби фільтрували і визначали чистоту, вміст білкових і пектинових речовин. Результати дослідження представлені в табл. 2.

З результатів табл. 2 видно, що температура проведення процесу, за якого спостерігається максимальний ефект очищення жомпресової води на рівні 11 %, становить 55...60 °С. Подальше підвищення температури призводить до зниження ефективності процесу коагуляції, що, можливо, пов'язано зі зменшенням активності коагулянту при вищих температурах або з температурним гідролізом білкових та пектинових речовин і неможливістю продуктів гідролізу до коагуляції, що є питанням подальших досліджень.

Ефективність процесу коагуляції залежить від його тривалості. Чим менша тривалість осадження забруднення, тим продуктивнішим є процес, тому метою наступного етапу досліджень було визначення тривалості оброблення жомпресової води гелем алюмінію. Зважаючи на одержані раніше результати (табл. 2), в подальших дослідженнях використовувався температурний режим на рівні 55 °С. Оброблювані зразки підігрівали на електромагнітній мішалці, додавали до них реагент в кількості 2,0 % до маси води і після інтенсивного перемішування в перші 2 хв витримували від 5 хв до 35 хв з інтервалом 5 хв при температурі 55 °С та подальшому повільному перемішуванні. Після закінчення досліджень проби фільтрували і визначали чистоту, вміст білкових та пектинових речовин. Результати досліджень представлені в табл. 3.

*Таблиця 2. Вплив реагентів на показники жомпресової води*

Жомпресова вода	Параметри обробки			Чистота жомпресової води, %	Вміст білкових речовин, % до м.в.	Вміст пектинових речовин, % до м.в.
	температура обробки, °С	тривалість обробки, хв	кількість реагенту, % до м.в.			
Без додавання реагентів	50	10	—	72,22	0,817	0,75, %
З додаванням Al <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	50	10	2,5	73,62	0,717	0,65
З додаванням гелю алюмінію	50	10	2,5	74,36	0,541	0,179
	60	10	2,5	75,82	0,365	0,120
	70	10	2,5	73,85	0,682	0,28
	80	10	2,5	72,84	0,704	0,285

З результатів табл. 3 видно, що для досягнення максимального ефекту очищення достатньо тривалості оброблення 10...15 хв, при цьому вміст білкових речовин зменшується на 50 %, а вміст пектинових речовин — більш ніж на 70 %.

Це підтверджує загальну тенденцію більш повного видалення пектинових речовин, тоді як білкові речовини видаляються не в повній мірі. При цьому збільшення тривалості проведення процесу підвищує ефективність очищення, що несуттєво, тому можна вважати, що кінцева раціональна тривалість процесу становить 15 хв при ефекті очищення жомопресової води до 14 %.

*Таблиця 3. Вплив гелю алюмінію на показники жомопресової води*

Жомопресова вода	Параметри обробки			Чистота жомопресової води, %	Вміст білкових речовин, % до м.в.	Вміст пектинових речовин, % до м.в.
	температура обробки, °С	тривалість обробки, хв	кількість реагенту, % до м.в.			
Без додавання реагентів	55	—	—	73,62	0,717	0,65
З додаванням гелю алюмінію	55	5	2,0	74,02	0,541	0,179
	55	10	2,0	74,62	0,365	0,120
	55	15	2,0	75,55	0,342	0,123
	55	20	2,0	75,74	0,304	0,118
	55	25	2,0	75,75	0,300	0,118
	55	30	2,0	75,77	0,300	0,116

### **Висновки**

Жомопресована вода в схемі підготовки живильної води для дифузійних установок містить значну кількість високомолекулярних забруднень, які унеможливають її використання для процесу екстрагування без додаткового очищення. Сучасні схеми підготовки живильної води мають ряд недоліків і не завжди забезпечують достатньо високий ефект очищення. Враховуючи сучасні тенденції поширення використання наноматеріалів у водопідготовці питної води й очищення стічних вод, можна стверджувати, що застосування таких матеріалів при очищенні жомопресової води матиме позитивний ефект. Дослідження можливості отримання гелю алюмінію шляхом диспергування інкапсульованого наноалюмінію в системі поліетиленгліколь–вода та його використання як коагулянта в процесі обробки жомопресової води підтвердило, що оброблення жомопресової води реагентом із вмістом наноалюмінію зменшує вміст білкових і пектинових речовин, відповідно, на 50 та 70 %, при чому пектинові речовини видаляються повніше, ніж білкові. Також встановлено, що раціональна температура проведення процесу оброблення складає 55 °С, що, у свою чергу, не потребує додаткового нагрівання або охолодження оброблюваної води. Тривалість процесу при цьому складає 10...15 хв. Ефект очищення води збільшується до 23 %. Це дає змогу повертати таку воду в дифузійний апарат і забезпечити оптимальний перебіг процесу екстрагування сахарози з бурякової стружки.

Однак для більш детального дослідження параметрів процесу оброблення необхідно встановити раціональний режим перемішування жомопресової води та коагулянту на основі гелю алюмінію, а також раціональні межі рН, при яких спостерігається оптимум коагуляції білкових і пектинових речовин жомопресової води.

**Література**

1. Гусев А.И., Ремпель А.А. Нанокристаллические материалы / А.И. Гусев, А.А. Ремпель. — М.: Физматлит, 2001. — 224 с.
2. *Наноматериалы*, нанопокрывтие, нанотехнологии: Учебное пособие / Н.А. Азаренков, В.М. Береснев, А.Д. Погребняк, Л.В. Маликов, П.В. Турбин. — Х.: ХНУ им. В.Н. Каразина, 2009. — 209 с.
3. *Influence of shear force on floc properties and residual aluminum in humic acid treatment by nano-Al13* / [W. Xu, B. Gao, B. Du та ін.] // *Journal of hazardous materials*. — 2014. — № 271. — P. 1—9.
4. *Xu H.* Survey of treatment process in water treatment plant and the characteristics of flocs formed by two new coagulants / H. Xu, D. Wang, C. Ye. // *Colloids and surfaces*. — 2014. — № 456. — P. 211—221.
5. *Перший досвід використання реагента в нанорозмірному стані для додаткового очищення дифузійного соку в цукровому виробництві* / Л.М. Верченко, С.В. Ткаченко, А.І. Маринін, К.Г. Лопатько // *Цукор України*. — 2012. — № 12. — С. 11—16.
6. *Верченко Л.М.* Влияние гидроксида алюминия в наноформе на несахара диффузионного сока / Л.М. Верченко, С.В. Ткаченко, Л.М. Хомичак // *Сахар*. — 2013. — № 10. — С. 44—47.
7. *Современные технологии и оборудование свеклосахарного производства*. В 2-х ч. Ч.1 / В.О. Штангеев, В.Т. Кобер, Л.Г. Белостоцкий, В.А. Лагода, В.А. Шестаковский. — К.: Цукор України, 2003. — 352 с.
8. *Patent Ukraini 82448 Sposob polucheniya inkapsulirovannih nanoporoshkov I ustanovka dlya ee realizacii* / A.I. Ustinov, T.V. Melnichenko, K.V. Liapina, V.I. Chaplyuk. — Opubl. 10.04.2008, Bul. № 7 (in Ukraine).
9. *Patent Ukraini 91374 Sposob dispergirovaniya I stabilizacii nanochastic medi v vodnih sredah* / P.G. Dulnev, K.V. Liapina, O.E. Davidova, A.I. Ustinov. — Opubl. 10.07.2014, Bul. № 13 (in Ukraine).

**КОАГУЛЯЦИОННАЯ ОЧИСТКА ЖОМОПРЕССОВОЙ ВОДЫ ГЕЛЕМ АЛЮМИНИЯ**

**А.И. Украинец, В.В. Олишевский, Н.Н. Пушанко, К.В. Ляпина, А.И. Маринин**  
*Национальный университет пищевых технологий*

*В статье рассмотрена возможность применения соединений алюминия в ультрадисперсном состоянии для коагуляционной очистки жомопрессовой воды в схеме подготовки питательной воды для диффузионных установок. Предложен способ получения стабильно устойчивого геля алюминия путем диспергирования инкапсулированного наноалюминия в системе полиэтилен-гликоль–вода. Доказано, что при использовании реагента на основе геля алюминия в жомопрессовой воде уменьшается содержание белковых и пектиновых веществ, соответственно, на 50 и 70 % и увеличивается эффект ее очистки до 23 %, что открывает новые подходы в водоиспользовании сахарного производства.*

**Ключевые слова:** жомопрессовая вода, коагуляция, гель алюминия, эффект очистки.