

# Інтенсифікація процесу екстрагування сахарози з використанням хімічних реагентів

**С.П. Оляньська**, кандидат технічних наук, професор кафедри технології цукру і підготовки води, Національний університет харчових технологій

**В.В. Цирульнікова**, кандидат технічних наук, доцент кафедри молекулярної та авангардної гастрономії, Національний університет харчових технологій

*У статті розглянуто способи підвищення ефективності екстрагування сахарози із бурякової сировини з одночасним очищенням дифузійного соку. Наші дослідження показали можливість суттєвого підвищення ефективності очищення дифузійного соку при використанні реагенту «КРОСС-5» для отримання дифузійного соку. Науково обґрунтовано механізм коагуляції високомолекулярних сполук в процесі екстракції сахарози із стружки при застосуванні реагенту «КРОСС-5».*

*Очищений сік мав чистоту на 1,4 од. вище, вміст солей кальцію на 26,4 % нижче, забарвленість соку – на 24,7 % нижчу.*

*Ключові слова: бурякова стружка, екстрагування сахарози, високомолекулярні нецукри, очищення соку, методи інтенсифікації, вихід цукру.*

*В статье рассмотрены способы повышения эффективности экстракции сахарозы из свекловичной стружки с одновременной очисткой диффузионного сока. Наши исследования показали возможность существенного повышения эффективности очистки диффузионного сока при использовании реагента «КРОСС-5» для получения диффузионного сока. Научно обоснован механизм коагуляции высокомолекулярных веществ в процессе экстракции сахарозы из стружки при использовании реагента «КРОСС-5».*

*Очищенный сок имел чистоту на 1,4 ед. выше, содержание солей кальция на 26,4 % ниже, цветность – на 24,7 % ниже.*

*Ключевые слова: свекловичная стружка, экстракция сахарозы, высокомолекулярные несахара, методы интенсификации, выход сахара.*

*In this article the methods of increase the efficiency of extraction saccharose from beet cossets with simultaneous clearing diffusion juice are discussed. Our investigation showed possibility of considerable advancement of the efficiency of raw juice purification by means of using reagent «CROSS-5» for obtaining diffusion juice from sugar beet. The mechanism of coagulation of highmolecular nonsugars in process of extraction saccharose from beet cossettes by use reagent «CROSS-5» is scientifically proved.*

*Thin juice had purity 1,4 units higher, calcium salts on 26,4 % lower and colour – 24,7 % lower.*

*Keywords: beet cossettes, extraction of saccharose, high-molecular nonsugars, efficiency, sugar yield.*

Погіршення якості сировини, яка надходить на заводи України в останні роки (цукристість буряків у 2013 році склала 16,26%, у 2012 році – 16,11%), є причиною підвищеного вмісту нецукрів в дифузійному соку, що призводить до більших витрат вапна, більшого навантаження станції фільтрування, зниження ефекту очищення, підвищення вмісту солей кальцію та забарвленості соку. Підвищення вмісту солей кальцію та забарвленості соку – наслідок карбонізації [1, 2].

Процес екстрагування сахарози із бурякової стружки, якість одержаного дифузійного соку в значній мірі визначають ефективність наступних технологічних стадій виробництва, впливають на якість та вихід білого цукру, витрати енергетичних та природних ресурсів.

Одним із шляхів інтенсифікації процесу ек-

трагування сахарози є використання хімічних реагентів і флокулянтів, які дають можливість не тільки поліпшити гідродинамічні умови в дифузійному апараті, а й одночасно очистити дифузійний сік у процесі його отримання. Підвищити ефективність роботи дифузійної установки шляхом використання хімічних реагентів можна двома способами: додаванням у живильну воду, або обробленням бурякової стружки перед надходженням до дифузійного апарату.

Найбільш ефективними хімічними реагентами для підготовки живильної води слід назвати сульфат алюмінію, сульфат і бісульфат кальцію, які утворюються внаслідок оброблення води  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  та сірчистим газом, подвійний неамонізований суперфосфат, сірчану кислоту та інш. [3, 4, 5]. Заслу-

гове уваги спосіб оброблення бурякової стружки кальційвмісними напівпродуктами – пересатурованою суспензією осаду соку II сатурації або нефільтрованим соком, пересатурованим до рН 7,0...7,5 для утворення гідрокарбонату кальцію. Наявні іони  $\text{Ca}^{2+}$  запобігають переходу в дифузійний сік нецукрів, утворюючи з ними нерозчинні сполуки.

Аналіз літературних джерел показав, що для інтенсифікації процесу екстракції в останні роки широкого застосування набули синтетичні високомолекулярні флокулянти, механізм дії яких полягає в утворенні агрегатів за рахунок об'єднання декількох частинок через молекули адсорбованого чи хімічно зв'язаного полімеру.

Підтверджена висока ефективність застосування основного сульфату алюмінію (ОСА) та полімерного флокулянту-антисептика – полігексаметиленгуанідину гідрохлориду (ПГМГХ) в процесі екстрагування [6, 7, 8]. Дія полімерного реагенту ПГМГХ обумовлена його структурою та хімічною будовою. ПГМГХ є катіонним поліелектролітом, що зумовлює його флокуляційні та коагуляційні властивості щодо високомолекулярних сполук білково-пектинового комплексу.

Розроблено спосіб оброблення живильної води та бурякової стружки [8] флокулянтном ПГМГХ у кількості 0,003–0,004% до маси буряків. Встановлено, що з точки зору покращення якості дифузійного соку, найбільш ефективним є введення препарату за комбінованим способом: шляхом обробки бурякової стружки перед екстрагуванням та живильної води 0,1–0,2% розчином ПГМГХ. Оброблення бурякової стружки розчином ПГМГХ перед процесом екстрагування сприяє зменшенню втрат сахарози внаслідок зменшення інтенсивності мікробіологічних процесів, підвищенню ефекту очищення соку, зменшенню вмісту ВМС, в тому числі пектинових речовин, у дифузійному соку.

Запропоновано спосіб підготовки живильної води для дифузійної установки з використанням основного сульфату алюмінію (ОСА) [6, 8], який є сумішшю сульфату та дигідросульфату алюмінію. Коагуляційні властивості ОСА зумовлені здатністю утворювати під час гідролізу полімерні гідроксокомплекси, які мають високий позитивний заряд [9].

Спосіб підготовки живильної води для дифузійної установки із застосуванням ОСА передбачає використання 60% барометричної води + 40% конденсатів вторинних сокових парів без їх попередньої деамонізації. Встановлено, що за оптимальних витрат основного сульфату алюмінію 0,025–0,035% спостерігається зниження рН<sub>20</sub> води на 0,8–1,2 од., тому для забезпечення значень рН<sub>20</sub> 6,0...6,3 живильної води перед внесенням основного сульфату алюмінію доцільним є попереднє зниження рН<sub>20</sub> (аміачна вода + барометрична

вода) до 7,0...7,2 шляхом її сульфатації.

Використання ОСА сприяє інтенсифікації процесу екстрагування сахарози з бурякової стружки за рахунок збільшення вмісту плазмолізованих клітин, підвищення коефіцієнта дифузії сахарози, збільшення загального ефекту очищення. Чистота дифузійного соку підвищується на 1,9–2,0 од., чистота соку II карбонізації – на 1,2...1,3 од..

Перспективним напрямом підвищення роботи дифузійних установок є застосування електрофізичних методів обробки сировини шляхом встановлення імпульсного електроплазмолізатора бурякової стружки або сокостружкової суміші [10, 11]. Розроблено конструкції дво- і три-камерного електроплазмолізаторів з плоскопаралельним розміщенням електродів. Як показали промислові дослідження, при використанні імпульсного електроплазмолізатора перед колонним дифузійним апаратом збільшується ступінь плазмолізу клітин бурякової тканини з 40...45 до 84...85%, коефіцієнт дифузії сахарози підвищується з 0,68 до  $1,2 \text{ м}^2/\text{с} \cdot 10^{-9}$ ; відкачка дифузійного соку зменшується з 125...130% до 115...120% і збільшується ефект очищення дифузійного соку, зменшуються витрати вапна на очищення.

Мета нашої роботи – на основі комплексних теоретичних та експериментальних досліджень встановити ефективність застосування комплексного реагенту «КРОСС-5» для підготовки екстрагенту для дифузійної установки для підвищення загального ефекту очищення, покращення якості і виходу білого цукру.

Комплексний реагент «КРОСС-5» випускається ТОВ «Iris» відповідно ТУ У 24.6–3220955-001:2005. На даний реагент розроблено і затверджено Паспорт безпеки, одержано Висновок державної санітарно-епідеміологічної експертизи та Держстандарту та дозвіл на використання в цукровій промисловості.

Основною складовою речовиною високомолекулярного комплексного реагенту «КРОСС-5» є сополімер N, N-діалкіл-N, N-діаліламоній хлориду (ДАДААХ) з метакриловою кислотою з високим вмістом катіонних груп, в яких позитивний заряд знаходиться в кожній ланці молекули (рис. 1).

Дослідження проводили екстрагуванням сахарози з бурякової стружки за різних витрат «КРОСС-5» для обробки живильної води. Витрати реагенту становили  $1,6 \cdot 10^{-4} \%$ ...  $1,0 \cdot 10^{-3} \%$  до маси живильної води. Контрольна проба реагентом не оброблялась.

Експериментальні дані (табл. 1) підтверджують високу ефективність застосування реагенту, яка спостерігається уже при витратах  $3,3 \cdot 10^{-4}$ ... $5,0 \cdot 10^{-4} \%$  до маси живильної води, що призводить до підвищення чистоти дифузійного соку на 1,25...1,75 од., збільшення повноти коагуляції ВМС на 58,9...66,1%, пектинових речовин – на 53,3...60,0%.

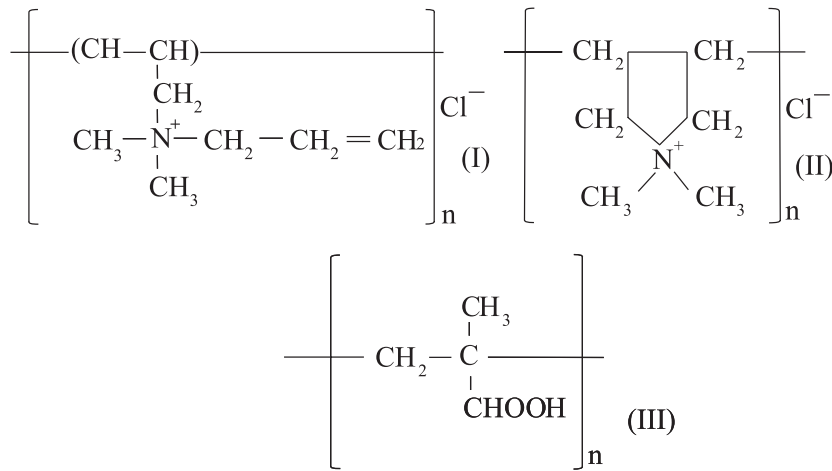


Рис. 1. Ланки ДАДААХ циклічної (I) та ациклічної (II) будови та ланки метакрилової кислоти (III)

Оптимальними витратами реагенту «КРОСС-5» є витрати  $6,6 \cdot 10^{-4} \% \dots 8,3 \cdot 10^{-4} \%$  до маси живильної води. За таких витрат чистота дифузійного соку підвищується на 2,45...2,5 од. порівняно з контрольним дослідом. Подальше збільшення витрат реагенту не призводить до покращення якості соку і економічно не доцільне.

на декількох часточках дисперсної фази, утворюючи між ними водневі зв'язки. Електрична взаємодія між полімерними ланцюгами «КРОСС-5» і поверхневими зарядами суспендованих часточок ВМС викликає дестабілізацію поверхонь їх від'ємно заряджених груп, що призводить до швидкої коагуляції і збільшення ступеня коагуля-

Таблиця 1  
Залежність якісних показників дифузійного соку від витрат реагенту «КРОСС-5» для підготовки живильної води

№ п/п	Технологічні показники	Витрати реагенту «КРОСС-5» до маси живильної води, %						Контрольна проба
		$1,6 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$8,3 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	
1	Приріст чистоти, од.	0,75	1,25	1,75	2,45	2,5	2,5	0
2	Вміст ВМС, г на 100 г СР	1,5	1,15	0,95	0,85	0,8	0,8	2,8
3	Вміст пектинових речовин, г на 100 г СР	0,9	0,7	0,6	0,52	0,49	0,49	1,5

Суттєве підвищення чистоти дифузійного соку при використанні комплексного реагенту «КРОСС-5» зумовлено високою коагуляційною здатністю реагенту з високим вмістом катіонних груп, в яких позитивний заряд знаходиться в кожній ланці макромолекули, до від'ємно заряджених високомолекулярних сполук, в тому числі і пектинових речовин. При збільшенні витрат реагенту з  $1,6 \cdot 10^{-4} \%$  до  $8,3 \cdot 10^{-4} \%$  повнота коагуляції ВМС збільшується з 46,4% до 71,4 %, а пектинових речовин – з 40,0% до 67,3%.

Використання комплексного високомолекулярного реагенту з високим вмістом катіонних груп викликає в процесі екстракції інтенсивну міжмолекулярну взаємодію реагенту з ВМС і пектиновими речовинами як на поверхні стружки так і в середині, порушує стійкість гетерогенного дисперсного середовища.

Нами запропоновано механізм дії реагенту «КРОСС-5» [12, 13], який полягає в тому, що макромолекули полікатіонного типу можуть адсорбуватись різними своїми частинами одночасно

ці ВМС і пектинових речовин, дозволяє підвищити чистоту дифузійного соку.

Суттєвий вплив на процес екстракції має якість жомопресованої води, вміст мезги в жомопресовій воді і в дифузійному соку, який надходить на подальші технологічні процеси [14]. За ритмічної роботи мезгоуловлювачі дифузійного соку і жомопресованої води кількість мезги в дифузійному соку повинна становити не більше 1 г/л, в жомопресовій воді – від 3 г/л до 4 г/л.

В промислових умовах ТОВ «Чортківський цукровий завод», який використовував реагент «КРОСС-5» для підготовки живильної води, нами було досліджено вплив реагенту «КРОСС-5» на якість дифузійного соку і жомопресованої води, вміст мезги в цих соках.

Результати проведених досліджень (табл. 2 і табл. 3) показали, що при застосуванні комплексного реагенту очищення «КРОСС-5» зменшується вміст мезги в жомопресовій воді і в дифузійному соку більш ніж на 30% внаслідок підвищення пружності стружки, що сприяє покращенню якос-

Таблиця 2

№ п/п	Технологічні показники	Без використання реагенту «КРОСС-5»	З використанням реагенту «КРОСС-5»
1	Вміст мезги, г/л: – жомопресова вода – дифузійний сік	3,07 2,37	2,1 1,6
2	Вміст мезги, г/л: – жомопресова вода – дифузійний сік	3,45 1,94	2,40 1,28
3	Середнє, г/л: – жомопресова вода – дифузійний сік	3,26 2,16	2,25 1,44

Таблиця 3

№ п/п	Технологічні показники	Без використання реагенту «КРОСС-5»	З використанням реагенту «КРОСС-5»
1	Жомопресова вода: – чистота, % – рН <sub>20</sub>	82,8 5,65	85,2 6,08
2	Жомопресова вода: – чистота, % – рН <sub>20</sub>	81,6 5,58	83,9 5,92
3	Жомопресова вода: – чистота, % – рН <sub>20</sub>	81,9 5,55	83,2 5,88
4	Дифузійний сік: – чистота, %	87,2	89,4
5	Дифузійний сік: – чистота, %	86,2	88,6
6	Дифузійний сік: – чистота, %	87,2	89,7

Таблиця 4

**Підвищення ефективності очищення при застосуванні комплексного реагенту «КРОСС-5» для підготовки живильної води**

№ п/п	Технологічні показники	Контрольний дослід	Дослід з використанням реагенту «КРОСС-5»
1	Клітинний сік: – чистота, % – рН <sub>20</sub>	87,0 6,3	87,0 6,3
2	рН живильної води	6,23	6,41
3	Дифузійний сік: – вміст мезги в соку, г/л – вміст редукувальних речовин, % – чистота, % – рН <sub>20</sub>	2,26 0,215 87,4 5,95	1,5 0,186 89,6 6,25
4	Ефект очищення клітинного соку на дифузії, %	3,36	22,15
5	Сік I карбонізації: – рН <sub>20</sub> – швидкість осадження, середня за 5 хв., S <sub>5</sub> см/хв	11,2 3,24	11,2 4,38
6	Витрати вапна на очищення, СаО % до маси соку	2,2	1,9
7	Очищений сік II карбонізації: – чистота, % – рН <sub>20</sub> – вміст солей кальцію, г на 100 г СР – забарвленість, од. ICUMSA	91,6 9,2 0,125 350,6	93,0 9,2 0,092 264,0
8	Сумарний ефект очищення «клітинний сік – очищений сік», %	38,26	49,66



ті дифузійного соку. Чистота жомопресованої води підвищується на 2,0...2,4 од., дифузійного соку – на 2,2...2,5 од., дещо підвищується рН жомопресованої води і дифузійного соку.

В лабораторних умовах було проведено повне очищення дифузійного соку з використанням реагенту «КРОСС-5» для підготовки живильної води на дифузію і контрольний дослід без використання реагенту (табл. 4).

При використанні реагенту «КРОСС-5» на дифузії підвищується ефект очищення клітинного соку до 22,2%; чистота дифузійного соку – на 2,2 од., дещо підвищується рН соку, зменшується вміст редукувальних речовин у соку на 13,5%. Суттєве покращення якості дифузійного соку, який надходить на вапняно-вуглекислотне очищення, дозволяє зменшити загальні витрати вапна на 0,3% СаО до маси соку, витрати вапняку – на 0,6%.

Використання реагенту «КРОСС-5» сприяє підвищенню пружності стружки, зменшенню вмісту мезги в дифузійному соку і високомолекулярних речовин, що призводить до покращення седиментаційно-фільтраційних показників соку І карбонізації: середня швидкість седиментації соку за 5 хв збільшується з 3,24 см/хв до 4,38 см/хв – на 35,2% порівняно з контрольним дослідом, що дозволить стабілізувати роботу заводу при переробленні буряків погіршеної якості. Покращення якості очищеного соку і зменшення вмісту солей кальцію в соку з 0,125% до 0,092%, забарвленості – з 350,6 од. ICUMSA до 264 од. ICUMSA (майже на 25% порівняно з контрольним дослідом), призводить до збільшення чистоти соку ІІ карбонізації з 91,6% до 93,0%, що забезпечує збільшення виходу цукру на 0,3...0,4% до маси буряків.

#### Висновок

Таким чином, використання високомолекулярного комплексного реагенту «КРОСС-5» з високим вмістом катіонних груп, в яких позитивний заряд знаходиться в кожній ланці макромолекули, дозволяє інтенсифікувати процес екстракції, підвищити ефективність вапняно-вуглекислотного очищення, зменшити вміст ВМС в дифузійному соку, вміст мезги в соку – більш ніж на 30,0%, що дає можливість зменшити витрати вапна на очищення на 0,3% СаО, дозволяє зменшити вміст солей кальцію і забарвленість очищеного соку ІІ карбонізації, підвищити чистоту соку на 1,4%, що дозволяє збільшити вихід цукру на 0,4...0,5% до маси буряків.

#### Список використаних джерел

1. *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції цукровиків України. «Конкурентоспроможність українського цукру на національному та світовому ринках – вимога часу».* – К. : Цукор України, 2014. – 212 с.
2. *Матеріали Міжнародної науково-технічної*

*конференції цукровиків України «Шляхи диверсифікації виробництва продукції на цукрових заводах України».* – К. : Цукор України, 2013. – 206 с.

3. Шалатонов В.Н., Липец А.А. Влияние продуктов гидролиза сульфата алюминия на удаление несахаров диффузионного сока // Сахарная промышленность. – 1987. – № 1. – С. 17–19.

4. *Подготовка свекловичной стружки к экстракции* / Даишев М.И., Решетова Р.С., Молотилин Ю.И. и др. // Сахарная промышленность. – 1994. – № 4. – С. 15–17.

5. Молотилин Ю.И. Оптимальные условия подготовки свекловичной стружки к экстракции / Молотилин Ю.И., Орлова Н.В., Бессарабова З.В. // Сахарная промышленность. – 1995. – № 6. – С. 14–15.

6. *Сучасні способи інтенсифікації процесу екстрагування цукрози з використанням хімічних реагентів* / Гусятинська Н.А., Купчик М.П., Липец А.А., Тетеріна С.М. та інші. // Наукові праці НУХТ. – 2005. – № 16. – С. 71–73.

7. *Використання препарату «Біодез-Р» в процесі екстрагування цукрози з бурякової стружки* // Гусятинська Н.А., Купчик М.П., Липец А.А. та інші. // Цукор України. – 2006. – № 1–2. – С. 31–34.

8. Гусятинська Н.А. Наукове обґрунтування та розроблення фізико-хімічних методів інтенсифікації вилучення сахарози із цукрових буряків: автореф. дис. на здобуття ступеня доктора техн. наук: спец. 05.18.05 «Технологія цукристих речовин та продуктів бродіння». – Київ, 2008. – 41 с.

9. Запольський А.К. Застосування гідроксульфату алюмінію для очищення питних і стічних вод та механізм його гідролізу в розбавлених водних розчинах // Матеріали Шостої міжнародної наук.-техн. конференції. 19–21 жовтня 1999 р.: У 2 ч. – К. : УДУХТ. – 2000. Ч І. – С. 95.

10. Купчик М.П., Українець А.І. Сучасні електротехнології для бурякоцукрового виробництва // Цукор України. – 2006. – № 1–2. – С. 17–19.

11. *Застосування електротехнологій в цукровому виробництві* / Купчик М.П., Гулий І.С., Лебовка М.І. та інші. // Цукор України. – 2003. – № 1. – С. 9–12.

12. Олянская С.П., Цирульникова В.В. Підвищення ефективності технологічних процесів очищення дифузійного соку у схемі з відділенням переддефекосатураційного осаду нецукрів до основного вапнування // Цукор України. – 2011. – № 11. – С. 9–15.

13. Олянская С.П., Цирульникова В.В. Дополнительные реагенты для очистки диффузионного сока // Сахар. – 2012. № 7. – С. 40–47.

14. *Технологічний процес виробництва цукру з цукрових буряків. Правила ведення технологічного процесу виробництва цукру з цукрових буряків ПУП 15.83-37-106:2007* / Мінагрополітики України // Цукор України. – 2007. – 420 с.