

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ ОЧИСТКИ ДИФфуЗИОННОГО СОКА СВЕКЛОСАХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Городецкий В.О., канд. техн. наук, Люсий И.Н., канд. техн. наук,  
Дайшева Н.М., канд. техн. наук, Семенихин С.О., канд. техн. наук,  
Котляревская Н.И., Усманов М.М.

*Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки  
сельскохозяйственной продукции – филиал Федерального государственного  
бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный центр  
садоводства, виноградарства, виноделия» (Краснодар)*

**Реферат.** В статье рассмотрена известково-углекислотной очистки диффузионного сока с отделением предефекационного осадка и проведением сатурационной обработки в одну ступень. Приведены теоретические предпосылки повышения седиментационно-фильтрационных свойств предефекационного осадка, позволяющих провести его отделение на существующем оборудовании, а также проведения сатурации в гомогенной среде жидкость-жидкость, описаны практические принципы их реализации. Проведена сравнительная оценка существующих и усовершенствованных технологий очистки диффузионного сока.

**Ключевые слова:** известково-углекислотная очистка, активация суспензии сатурационного осадка, отделение предефекационного осадка, карбонизация, бикарбонизация, сатурация, чистота, эффект очистки

**Summary.** The technology of lime-carbon dioxide purification of raw juice with separation of pre-liming mud and carrying out the carbonation treatment in one stage is considered in the article. The theoretical prerequisites for increasing in the sedimentation-filtration properties of the pre-liming mud, allowing its separation on the existing equipment, are given as well as for carrying out carbonation in a homogeneous liquid-liquid medium, and practical principles for their implementation are described. A comparative evaluation of existing and improved technologies for purification of raw juice is carried out.

**Key words:** lime-carbon dioxide purification, activation of carbonation mud, pre-liming mud separation, pre-carbonation, bicarbonation, carbonation, purity, purification effect

**Введение.** Типовая схема известково-углекислотной очистки диффузионного сока, применяемая на большинстве свеклосахарных заводов России, имеет ряд недостатков, так как не использует потенциал физико-химических свойств кальциевых соединений. Вследствие этого, для переработки сахарной свеклы требуется значительный расход оксида кальция на очистку – до 1,5-2,0 % CaO к её массе, что значительно превышает теоретически необходимый для проведения реакций осаждения несахаров при относительно низком достигаемом эффекте очистки диффузионного сока.

Перспективными направлениями, позволяющими реализовать потенциал и повысить эффективность известково-углекислотной очистки диффузионного сока, являются выведение основной массы несахаров до основной дефекации и проведение процесса сатурации в гомогенной среде жидкость-жидкость.

В результате проведенных нами исследований разработаны и запатентованы высокоэффективные способы очистки диффузионного сока (патенты РФ № 2568490 и № 2587042), позволяющие снизить себестоимость товарного сахара, увеличить его конкурентоспособность и прибыль предприятия, что является актуальным для отечественной свеклосахарной промышленности [1].

**Объекты и методы исследований.** Для определения эффективности известково-углекислотной очистки диффузионного сока, осуществляемой по различным схемам, были проведены лабораторные исследования. Объектами являлись корнеплоды сахарной свеклы, выращенные в Краснодарском крае. Отобранные корнеплоды очищали от загрязнений, измельчали в стружку на овощерезке Гамма-5 и из полученной стружки получали диффузионный сок в лабораторной диффузионной установке. Полученный диффузионный сок далее подвергался известково-углекислотной очистке (ИУО) с использованием гидроксида кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (известкового молока) и диоксида углерода  $\text{CO}_2$  (сатурационного газа, содержащего в своем составе 35-40%  $\text{CO}_2$ ) в соответствии с исследуемыми схемами. Показатели качества очищенных соков определяли в соответствии с «Инструкцией по химико-техническому контролю и учету сахарного производства» [2].

Основным требованием, предъявляемым к технологии проведения известково-углекислотной очистки диффузионного сока, является получение термоустойчивого очищенного сока высокой чистоты с минимальным содержанием кальциевых солей при одновременном сокращении расхода вспомогательных материалов, и одним из способов, позволяющим реализовать указанные выше требования, может служить прием отделения и удаления осадка веществ несхаристого комплекса свеклы из преддефекованного сока после осуществления процесса прогрессивной предварительной дефекации (ППД). Таким образом, предотвращается попадание на последующий процесс дефекации скоагулированных высокомолекулярных соединений (ВМС) и веществ коллоидной дисперсности (ВКД), которые могут пептизировать в высокощелочном сахарном растворе, каковым по сути является дефекованный сок.

В условиях прогрессивного нарастания щелочности на ППД частицы осадка образуют конгломераты с достаточной скоростью осаждения, однако при сгущении объем суспензии осадка преддефекованного сока составляет 25-30 % от общего объема сока, а сам осадок практически не фильтруем, что свидетельствует о рыхлой, способной к сжатию структуре его частиц, обусловленной сильной гидратированностью в щелочной среде. Кроме того, получаемый при фильтровании слой осадка должен быть промыт чистой водой с целью его обессахаривания для снижения потерь сахарозы в производстве, что трудно осуществить в случае с сильно гидратированным осадком.

В процессе проведения исследований по усовершенствованию известково-углекислотной очистки нами были проведены лабораторные эксперименты по выявлению возможности формирования осадка ППД, обладающего высокими седиментационно-фильтрационными свойствами, в целях последующего его отделения и обессахаривания на современном оборудовании путем снижения гидратированности осадка. Для достижения этой цели необходимо придать частицам осадка положительный заряд за счет накопления в растворе зарядообразующих ионов кальция, что позволит удерживать в их адсорбционном слое анионы органических кислот и красящих веществ, а также ВМС и ВКД.

Один из возможных путей решения поставленной задачи – это смешивание диффузионного сока с активированной суспензией осадка II сатурации. Известен способ активации возвращаемой на ППД суспензии сатурационного осадка гидроксидом кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (известковым молоком). Нашими исследователями был предложен способ активации осадка ППД диоксидом углерода (сатурационным газом) до показателей рН ниже 8,0 (бикарбонизацией или пересатурированием).

**Обсуждение результатов.** На первом этапе была приведена сравнительная оценка показателей качества очищенного сока, полученного при разных способах активации возвращаемой на преддефекацию суспензии осадка II сатурации, результаты которой представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Сравнительная оценка качества очищенного сока при разных способах активации возвращаемого на преддефекацию осадка II сатурации

Показатель	Значение показателя			
	Способы активации			
	раствором Ca(OH) <sub>2</sub> (известный)	пересатурированием до pH		
8,0		7,7	7,5	
Диффузионный сок: чистота, %	87,2	87,2	87,2	87,2
Преддефекованный сок: скорость осаждения, (S <sub>5</sub> ), см/мин	3,0	3,9	4,7	5,1
объем осадка (V <sub>25</sub> ), %	28,4	20,5	15,4	13,6
коэффициент фильтрации (F <sub>к</sub> )	5,8	4,0	3,1	2,7

Из приведенных данных видно, что способ активации суспензии осадка II сатурации раствором гидроксида кальция по всем показателям уступает способу его активации пересатурированием, причем, чем глубже степень пересатурирования, тем выше чистота очищенного сока и эффект очистки, а цветность очищенного сока и содержание в нем солей кальция при этом значительно ниже. Кроме того, предлагаемый способ активации осадка II сатурации пересатурированием и последующее возвращение его на преддефекацию позволяет существенно улучшить седиментационно-фильтрационные свойства преддефекационного осадка, что является решающим фактором для его отделения.

Установлено также, что скорость осаждения преддефекационного осадка (S<sub>5</sub>) в опыте с активацией осадка II сатурации гидроксидом кальция составила 3,0 см/мин, а в опытах с активацией этого осадка бикарбонизацией до различных значений pH она увеличивалась с 3,9 см/мин при pH 8,0 до 5,1 см/мин при pH 7,5. При этом объем осадка (V<sub>25</sub>) в первом опыте составил 28,4 %, а в трех последующих уменьшился с 20,5 до 13,6 %, коэффициент фильтрации (F<sub>к</sub>), соответственно, в первом опыте составил 5,8 с понижением от 4,0 до 2,7 в последующих.

В результате активации в растворе образуется и накапливается гидрокарбонат кальция, концентрация которого тем выше, чем глубже степень пересатурирования и, соответственно, ниже pH суспензии. Наличие значительного количества гидрокарбоната кальция в возвращаемой на преддефекацию активированной суспензии позволяет улучшить фильтрационно-седиментационные свойства преддефекованного сока за счет положительного заряда осадка, удерживающего дополнительное количество отрицательно заряженных коллоидно-диспергированных несахаров диффузионного сока.

Этот прием позволяет изменить структуру преддефекационного осадка, так как, теряя гидратную оболочку, частицы белково-пектинового комплекса в составе осадка уплотняются и становятся более жесткими, при этом скорость осаждения преддефекационного осадка, измеренная за первые пять минут (S<sub>5</sub>), объем сгущенной суспензии через 25 минут отстаивания (V<sub>25</sub>) и коэффициент фильтрации (F<sub>к</sub>) по своим значениям приближаются к показателям суспензии осадка I сатурации, что свидетельствует о возможности отделения и обессахаривания преддефекационного осадка в процессе фильтрации.

Нами установлено, что частицы кристаллического осадка карбоната кальция приобретают тем больший положительный заряд, чем глубже пересатурирование, обу-

словленное накоплением в растворе зарядообразующих катионов  $\text{Ca}^{2+}$  гидрокарбоната кальция  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , что и подтверждается усредненными результатами экспериментов, приведенными в табл. 2.

Таблица 2 – Зависимость концентрации гидрокарбоната кальция от  $\text{pH}_{20}$  пересатурированной суспензии сатурационного осадка

Показатель	Значение показателя			
	8,5	8,0	7,0	6,5
$\text{pH}_{20}$ суспензии осадка				
Содержание гидрокарбоната кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ в фильтрате суспензии, мг/дм <sup>3</sup>	829,6	1122,4	1769,0	2147,0

В дальнейшем были проведены лабораторные испытания способа очистки с активацией возвращаемой суспензии сатурационного осадка диоксидом углерода и отделением осадка ППД в сравнении с типовым, не предусматривающим активацию возвращаемой суспензии и отделение осадка ППД, в условиях пониженного качества свеклосырья. Средние результаты лабораторных испытаний приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Показатели качества соков при известково-углекислотной очистке по разработанному и типовому способам

Показатель	Значение показателя	
	Способы известково-углекислотной очистки диффузионного сока	
	разработанный	типовой
Диффузионный сок		
Содержание сухих веществ (СВ), %	12,7	13,0
Чистота, (Ч), %	85,59	85,58
Преддефекованный сок		
Фильтрационный коэффициент, ( $F_k$ )	8,20	29,00
Средняя скорость осаждения за 5 мин., см./мин.	5,1	4,0
Объем осадка через 25 мин., %	17,0	22,86
Очищенный сок (сок II сатурации)		
Содержание ВКД, г/100 г СВ	0,294	0,470
Цветность, ед. оптической плотности	304	312
Общий эффект известково-углекислотной очистки диффузионного сока, %	28,75	27,30
Увеличение эффекта очистки ( $\Delta$ , %)	1,45	-
Общий расход извести на очистку, % СаО	1,23	1,71
Снижение расхода извести, %	0,48	-

Как видно из данных табл. 3, среднее значение фильтрационного коэффициента ( $F_k$ ) в разработанном способе составляет 8,2, то есть максимально приближено к значению фильтрационного коэффициента суспензии осадка I сатурации (среднее значение этого коэффициента составляет 8-10 в зависимости от качества перерабатываемого сырья). Это позволило не только отделить фильтрованием коллоидно-диспергированные несахара, о чем свидетельствуют снижение концентрации веществ коллоидной дисперсности с 0,470 до 0,294 г/на 100 г СВ и увеличение эффекта известково-углекислотной очистки диффузионного сока на 1,45 % по сравнению с типовым способом, но и значительно сократить расход извести с 1,71 до 1,23 %, т.е. на 0,48 % CaO к массе свеклы, или на 28 % к общему расходу извести при проведении очистки диффузионного сока.

На основании проведенных исследований разработан способ отделения осадка сопутствующих веществ (несахаров) преддефекованного сока, защищенный патентом РФ № 2568490 на изобретение «Способ очистки диффузионного сока».

Как показано выше, отделение осадка несахаров перед основной дефекацией создает благоприятные условия для повышения эффективности последующей адсорбционной очистки сока на I сатурации. Образующийся осадок карбоната кальция ( $CaCO_3$ ), относительно свободный от ВМС, в условиях оптимального pH I сатурации способен более интенсивно удалять красящие вещества и соли кальция, образующие малорастворимые соединения с анионами органических кислот диффузионного сока. Это дает возможность сократить расход извести, не снижая эффекта очистки.

Лабораторные исследования проводились в следующем порядке. Диффузионный сок подвергали ППД с отделением осадка по представленному выше способу. Осветленный сок подвергали обработке известковым молоком (дефековали). Дефекованный сок с температурой 82-85 °С и активной щелочностью 0,7-0,8 % CaO карбонизировали диоксидом углерода, снижая активную щелочность до 0,30-0,35 % CaO (оставляя приблизительно 35-40 % от начальной щелочности). Далее  $\frac{2}{3}$  сока помещали в лабораторную экспериментальную установку – сатуратор с бикарбонизатором. Сок в установке бикарбонизировали диоксидом углерода и смешивали с оставшимся карбонизированным соком на входе в установку, поддерживая pH смеси 9,5-9,8. Окончательно сок в установке доводили до значений pH 9,0-9,2 и активной щелочности 0,020-0,025 % CaO, оптимальных для сока II сатурации, выдерживали при температуре 85°С 30-40 минут для "дозревания" и фильтровали. Фильтрат анализировали по показателям содержания сухих веществ (СВ), сахарозы (Сх), чистоты (Ч), содержания редуцирующих веществ (РВ), солей кальция и цветности. Отделенную суспензию активировали диоксидом углерода и направляли на смешивание с диффузионным соком.

Параллельно с этим проводили очистку этого сока по типовой схеме без отделения осадка ППД и по схеме с отделением осадка ППД и далее по типовой схеме с двумя сатурациями. Одной из целей известково-углекислотной очистки диффузионного сока является повышение термостабильности очищенного сока, поскольку все последующие технологические процессы проводятся при повышенных температурах.

Показателем термостабильности служит содержание редуцирующих веществ: чем их меньше в очищенном соке, тем выше его термостабильность. Также немаловажное значение имеет содержание солей кальция, имеющих тенденцию отлагаться на поверхностях нагрева в процессах сгущения сахарных растворов и кристаллизации из них сахарозы. Эти показатели качества соков, очищенных по вышеописанным схемам ИУО, представлены в табл. 4.

Таблица 4 – Результаты сравнительного анализа эффективности различных способов очистки диффузионного сока

Показатель	Способы известково-углекислотной очистки диффузионного сока		
	1*	2*	3*
Диффузионный сок:			
чистота, %	84,6	84,6	84,6
содержание РВ, % к м.пр./100СВ	0,123/0,887	0,123/0,887	0,123/0,887
Преддефекованный сок:			
объем осадка ( $V_{25}$ ), %	36,0	24,0	20,0
скорость осаждения, ( $S_5$ ), см/мин	3,2	3,4	4,4
коэффициент фильтрации ( $F_k$ )	нефилтр.	8,2	8,0
Сок I сатурации			
объем осадка ( $V_{25}$ ), %	24,0	21,0	-
скорость осаждения, ( $S_5$ ), см/мин	3,5	3,8	-
коэффициент фильтрации ( $F_k$ )	7,95	2,2	-
Очищенный сок (сок II сатурации)			
объем осадка ( $V_{25}$ ), %	-	-	22,0
скорость осаждения, ( $S_5$ ), см/мин	-	-	4,0
коэффициент фильтрации ( $F_k$ )	-	-	1,5
чистота, %	88,5	89,4	89,8
эффект очистки, %	28,6	34,9	37,6
цветность, усл. ед.	17,0	15,5	14,5
содержание РВ, % к м.СВ	0,078	0,069	0,064
эффект разложения РВ, %	91,2	92,2	92,8
содержание солей Са, % СаО	0,331	0,233	0,215

1\* – типовой способ очистки диффузионного сока;

2\* – способ очистки диффузионного сока с отделением преддефекационного осадка;

3\* – разработанный способ очистки диффузионного сока с отделением преддефекационного осадка с последующими карбонизацией и бикарбонизацией.

Как видно из данных табл. 4, наилучшие результаты, с точки зрения эффекта очистки, цветности, содержания редуцирующих веществ и солей кальция в очищенном соке, получены по способу очистки диффузионного сока с отделением преддефекационного осадка и последующей карбонизацией и бикарбонизацией сока. Общий эффект очистки при этом увеличился до 37,6 %, что по градации К. Вукова [3] является высоким показателем (35-40 %).

Полученные данные позволяют сделать обоснованный вывод о том, что первый этап химической очистки диффузионного сока, завершаемый отделением осадка несугаров (сопутствующих веществ) после проведения предварительной прогрессивной дефекации и последующей основной дефекации осветленного преддефекованного сока, придает ему высокие термостабильные свойства, что подтверждают показатели эффекта разложения редуцирующих веществ (более 90 %), а второй этап физико-химической очистки способствует получению очищенного сока с минимально возможной концентрацией солей кальция при высоком эффекте очистки диффузионного сока.

По результатам проведенных исследований нами разработан способ очистки диффузионного сока, защищенный патентом РФ № 2587042 на изобретение «Способ очистки диффузионного сока» с отделением преддефекационного осадка и последующей карбонизацией и бикарбонизацией сока, представленный в виде схемы на рисунке.

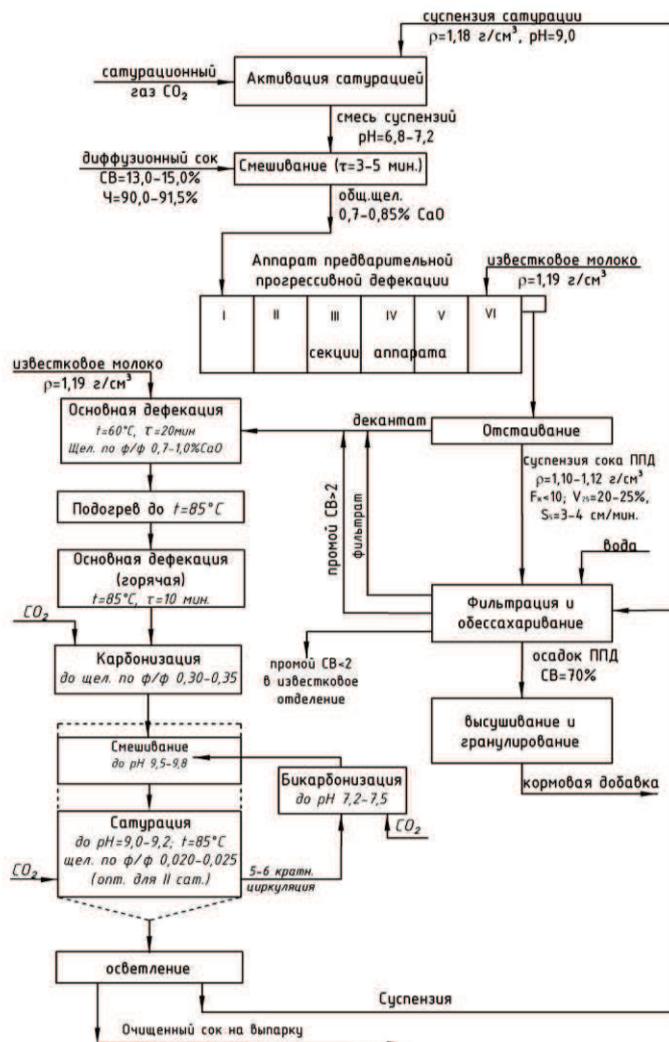


Рис. Структурная схема вывода «сопутствующих веществ» диффузионного сока с фильтруемым преддефекационным осадком и проведения основной известково-углекислотной очистки в одну ступень

**Выводы.** В результате проведенных исследований разработана высокоэффективная технология очистки диффузионного сока позволяющая: снизить содержания солей кальция в очищенном соке на 30-35% по сравнению с типовой; снизить цветность очищенного сока на 2,0-2,5 условных единиц; повысить эффект разложения редуцирующих веществ на 9,5-10,5 %; повысить эффект очистки сока на 5-7 %, что будет способствовать увеличению выхода сахара на 0,3-0,4 % к массе свеклы; сократить суммарный расход гидроксида кальция на очистку в среднем на 0,5 % CaO к массе свеклы или 15-25 % от общего расхода на очистку.

### Литература

1. Городецкий В.О. Инновационная технология двухстадийного получения диффузионного сока свеклосахарного производства и его очистки / В.О. Городецкий, С.О. Семенихин, И.Н. Люсий [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – №8 (132). Шифр информрегистра (Doi): 10.21515/1990-4665-132-073. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2017/08/pdf/73.pdf> (Дата обращения 17.01.2018).
2. Инструкция по химико-техническому контролю и учету сахарного производства. – Киев: ВНИИСП, 1983. – 479 с.
3. Vukov, K.A cukorgyari letisztiraseimeleti kerdesei. – Cukoripar, 1972. – №4. – С. 137-146, №5. – С.163-171.