

**Городецкий В.О., Семенихин С.О., Даишева Н.М., Котляревская Н.И.  
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРОВЕДЕНИЯ  
II САТУРАЦИИ САХАРОСОДЕРЖАЩИХ РАСТВОРОВ**

Городецкий Владимир Олегович, кандидат технических наук, заведующий отделом технологии сахара и сахаристых продуктов

Краснодарский НИИ хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия» (КНИИХП – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ), Краснодар, Россия  
E-mail: gorodecky\_v\_o@mail.ru

Семенихин Семен Олегович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов  
КНИИХП – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ, Краснодар, Россия  
E-mail: semenikhin\_s\_o@mail.ru

Даишева Наиля Мидхатовна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов  
КНИИХП – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ, Краснодар, Россия  
E-mail: daisheva\_n\_m@mail.ru

Котляревская Наталья Ивановна, научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов  
КНИИХП – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ, Краснодар, Россия  
E-mail: kotlyarevskaya\_n\_i@mail.ru

*Нерастворимые соли кальция являются неизбежным негативным следствием известково-углекислотной очистки диффузионного сока. При их высоком содержании усиливается накипеобразование на поверхностях теплообменного оборудования, в результате чего снижается эффективность теплопередачи и производительность выпарного оборудования. Это, в свою очередь, приводит к снижению содержания сухих веществ в сиропе и увеличению времени уваривания утфелей, что неизбежно сопровождается ростом потерь сахарозы. В статье приведены результаты исследований влияния степени обработки сока II сатурации, а также возврата суспензии осадка II сатурации на качество очищенных соков с учетом электрокинетических свойств полупродуктов, характеризуемых величиной поверхностного заряда. Теоретически обоснована и доказана экспериментальным путем необходимость определения оптимальной щелочности сока II сатурации. Теоретически обоснован возврат на дозревание суспензии осадка II сатурации для повышения эффекта очистки диффузионных соков и снижения содержания солей кальция. Приведены сравнительные данные влияния степени обработки сока II сатурации до значений рН 9,5; 9,0; 8,5; 8,0 на качество очищенного сока. Установлено, что оптимальное проведение II сатурации обеспечивает достижение наибольшего эффекта очистки, повышение чистоты сока на 1,3-1,4 %, снижение цветности на 30 % и минимальное содержание солей кальция. Кроме этого, обеспечивается повышение чистоты получаемого сиропа на 1,6-1,7 % и снижение его цветности на 15 %. Показано, что возврат на дозревание насыщенной*

*гидроксикарбонатом кальция суспензии осадка II сатурации способствует повышению чистоты сока на 0,6-0,8 %, снижению содержания солей кальция на 30 %, а цветности – на 20 %.*

**Ключевые слова:** технологические режимы, II сатурация очищенный сок, соли кальция, цветность, накипь, сатурация, дозревание.



**Для цитирования:** Разработка технологических режимов проведения II сатурации сахаросодержащих растворов / Городецкий В.О., Семенихин С.О., Дайшева Н.М., Котляревская Н.И. // Новые технологии. 2020. Вып. 3(53). С. 20-28. DOI: 10.24411/2072-0920-2020-10302.

**Gorodetsky V.O., Semenikhin S.O., Daisheva N.M., Kotlyarevskaya N.I.**  
**DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL MODES FOR II SATURATION**  
**OF SUGAR-CONTAINING SOLUTIONS**

Gorodetsky Vladimir Olegovich, Candidate of Technical Sciences, head of the Department of Sugar and Sugar Products Technology

Krasnodar Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products - a branch of the FSBNU «The North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking» (KSRISP - a branch of the FSBSI NCF SCHVW), Krasnodar, Russia

E-mail: [gorodecky\\_v\\_o@mail.ru](mailto:gorodecky_v_o@mail.ru)

Semenikhin Semen Olegovich, Candidate of Technical Sciences, a senior researcher of the Department of Technology of Sugar and Sugar Products

KSRISP – a branch of the FSBSI NCF SCHVW, Krasnodar, Russia

E-mail: [semenikhin\\_s\\_o@mail.ru](mailto:semenikhin_s_o@mail.ru)

Daisheva Naila Midkhatovna, Candidate of Technical Sciences, a senior researcher of the Department of Sugar and Sugar Products Technology Department

KSRISP – a branch of the FSBSI NCF SCHVW, Krasnodar, Russia

E-mail: [daisheva\\_n\\_m@mail.ru](mailto:daisheva_n_m@mail.ru)

Kotlyarevskaya Natalya Ivanovna, a researcher of the Department of Technology of Sugar and Sugar Products

KSRISP – a branch of the FSBSI NCF SCHVW, Krasnodar, Russia

E-mail: [kotlyarevskaya\\_n\\_i@mail.ru](mailto:kotlyarevskaya_n_i@mail.ru)

*Insoluble calcium salts are an inevitable negative consequence of the lime-carbon dioxide purification of diffusion juice. With their high content, scale formation on the surfaces of heat-exchange equipment is enhanced, resulting in a decrease in heat transfer efficiency and evaporation equipment performance. This, in turn, leads to a decrease in the solids content in the syrup and an increase in the time of fillmass boiling, which is inevitably accompanied by an increase in the loss of sucrose.*

*The article presents the results of studies of the effect of the degree of processing of juice of the second saturation, as well as the return of the suspension of sediment of the second saturation II on the quality of the purified juices, taking into account the electrokinetic properties of the intermediates characterized by the magnitude of the surface charge. The need to determine the optimal alkalinity of juice II saturation has been theoretically substantiated and experimentally proved. A return to ripening of a suspension of sediment of II saturation is theoretically justified to*

*increase the effect of purification of diffusion juices and reduce the content of calcium salts. Comparative data on the effect of the degree of processing of juice II saturation to pH values of 9.5; 9.0; 8.5; 8.0 on the quality of purified juice have been presented. It has been established that the optimal performance of the second saturation ensures the greatest cleaning effect, increasing the purity of the juice by 1.3-1.4 %, reducing the color by 30 % and the minimum content of calcium salts. In addition, it provides an increase in the purity of the resulting syrup by 1.6-1.7 % and a decrease in its color by 15 %. It has been shown that the return to ripening of a suspension of sediment of II saturation saturated with calcium hydroxycarbonate helps to increase the purity of the juice by 0.6-0.8 %, reduce the content of calcium salts by 30%, and color by 20 %.*

**Key words:** *technological modes, II saturation, purified juice, calcium salts, color, scale, saturation, ripening.*

**For citation:** Gorodetsky V.O., Semenikhin S.O., Daisheva N.M., Kotlyarevskaya N.I. Development of technological modes for II saturation of sugar-containing solutions // *Novye Tehnologii (Majkop)*. 2020. Issue 3(53). P. 20-28. DOI: 10.24411/2072-0920-2020-10302.

**Введение.** Существующая технология очистки диффузионных соков свеклосахарного производства предусматривает применение гидроксида кальция для адсорбции несахаров. Теоретический максимум достигаемого при известково-углекислотной очистке эффекта составляет 40 %, практический – 30-35 %. Однако, негативным следствием применения известково-углекислотной очистки является наличие остаточного содержания нерастворимых солей кальция в очищенных соках, которое при повышенной концентрации солей кальция приводит к значительному накипеобразованию на поверхностях теплообменного оборудования при выпаривании.

Для снижения содержания солей кальция в очищенном соке и предотвращения накипеобразования в настоящее время применяются антинакипины, в основном представляющие собой различные полиакрилаты. Образующие в результате кальций-полиакрилатные соединения являются малорастворимыми, в результате чего они не осаждаются на поверхностях теплообменного оборудования, однако, также и не поддаются удалению на фильтрационном оборудовании, вследствие чего способствуют увеличению количества мелассы и, кроме этого, в некотором количестве встраиваются в кристаллическую решетку сахара, снижая его качество.

Особо актуальна проблема накипеобразования стоит для сахарных заводов Краснодарского края, так как выращиваемые в регионе корнеплоды сахарной свеклы имеют низкую или вовсе отрицательную натуральную щелочность, характеризующуюся содержанием калиевых и натриевых солей. Учитывая, что калий и натрий имеют большую химическую активность, чем кальций, то они, замещая его в процессе переработки корнеплодов, переводят нерастворимые соли в растворимые, тем самым препятствуя накипеобразованию.

Общеизвестно, что целью II сатурации является получение очищенных соков с минимальным содержанием солей кальция, что при должном соблюдении технологического режима ее проведения исключает необходимость в применении антинакипинов. По мнению многих исследователей, считается, что минимальному содержанию солей кальция в соке II сатурации соответствует значение pH сока 9,0-9,2 [1-4]. В большинстве случаев указанный диапазон является актуальным, тем не менее, в начале сезона переработки корнеплодов сахарной свеклы этот диапазон следует уточнять для

определения оптимальной щелочности сока II сатурации, так как агроклиматические условия произрастания корнеплодов ежегодно меняются, вследствие чего указанный диапазон не постоянен.

Несмотря на это, в последнее время в практике сахарных заводов наметилась тенденция завершать процесс II сатурации при повышенном значении рН 9,5-9,6. По мнению технологов, определенный запас щелочности предотвратит снижение рН при сгущении очищенных соков на выпарной станции, тем самым препятствуя получению кислых продуктов в кристаллизационном отделении. Однако, такое решение недостаточно обосновано и недообработка сока II сатурации способствует снижению эффекта очистки, так как некоторая часть несахаров не будет адсорбирована, что приведет к увеличению неучтенных потерь сахара на выпарной станции, повышению накипеобразования, а также увеличению выхода мелассы и содержания сахара в ней.

Другим эффективным способом снижения содержания солей кальция в очищенных соках является применение дозревателей. В дозревателях нефильтрованный сок II сатурации выдерживают при перемешивании от 15 до 40 минут (по данным разных исследователей) [1-4]. За счет этого происходит дополнительная кристаллизация солей кальция на поверхности частиц карбоната кальция. Некоторые исследователи предлагают осуществлять возврат части суспензии осадка II сатурации в нефильтрованный сок II сатурацией, чтобы они являлись центрами кристаллизации уже в ходе технологического процесса. При этом в обоих случаях не учитывается поверхностный заряд ( $\zeta$ -потенциал) частиц суспензии осадка.

Поэтому, снижение содержания кальциевых солей в очищенных соках путем совершенствования технологических режимов проведения II сатурации является актуальной задачей для повышения эффективности сахарного производства.

Для решения поставленной задачи проведены исследования влияния степени обработки сока II сатурации, а также возврата суспензии осадка II сатурации на качество очищенных соков с учетом электрокинетических свойств полупродуктов, характеризующихся величиной поверхностного заряда –  $\zeta$ -потенциала.

**Объекты и методы исследований.** Объектами исследования являлись диффузионный сок и полученные из него необработанные и обработанные соки II сатурации. Для оценки качественных показателей соков использовали типовые методы анализа [5, 6]. Определение  $\zeta$ -потенциала частиц суспензий проводили методом суспензионного эффекта по разности рН нефильтрованного и фильтрованного соков, приведенном в работе [7].

В начале получали диффузионный сок путем обработки свекловичной стружки экстрагентом, подкисленным серной кислотой до значения рН 5,8, в соотношении 1:1. В полученном диффузионном соке определяли содержание сахарозы, сухих веществ и чистоту.

На первом этапе исследований изучали степени обработки сока II сатурации на качество очищенных соков. Очистку диффузионного сока проводили по типовой схеме, применяемой в свеклосахарном производстве, включающую прогрессивную предварительную дефекацию (50°C, 30 минут, рН 11,2), холодную основную дефекацию (50°C, 20 минут, рН 12,4), горячую основную дефекацию (80°C, 10 минут), I сатурацию (рН 10,8), фильтрацию и дополнительную дефекацию (рН 12,0). После этого, необработанный сок II сатурации делили на 4 равные части и сатурировали до значений рН 9,5; 9,0; 8,5; 8,0, после чего фильтровали и анализировали.

На втором этапе проводили выпаривание сока со значением рН 9,5, до которого обрабатывают сок в производстве, и оптимально обработанного сока со значением рН 8,5 на глицериновой бане при температуре 126°С до содержания сухих веществ в сиропах 30 %, после чего их анализировали.

На третьем этапе исследований изучали влияние возврата на дозревание суспензии осадка II сатурации на качество очищенного сока. Постановку эксперимента осуществляли аналогично первому этапу до получения нефильтрованного сока II сатурации со значением рН 8,5. После этого сок делили на 2 равные части. Первую часть нефильтрованного сока оставляли для дозревания при перемешивании на 15 минут, а вторую часть подвергали фильтрованию и отделяли суспензию, которую сатурировали до рН 8,0 и возвращали в нефильтрованный сок, после чего проводили дозревание сока при перемешивании в течение 15 минут. После дозревания оба образца очищенного сока фильтровали и анализировали.

**Результаты и обсуждение.** Результаты исследований первого этапа представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние степени обработки сока II сатурации на качество очищенных соков

Наименование показателя	Значение показателя				
	Диффузионный сок	Сок II сатурации			
Значение рН нефильтрованного сока	-	9,50	9,00	8,50	8,00
Значение рН фильтрованного сока	-	9,42	8,98	8,58	8,10
ζ-потенциал, мВ	-	+5	+2	-7	-9
Содержание сухих веществ, %	12,50	11,70	11,60	11,50	11,60
Содержание сахарозы, %	10,75	10,35	10,35	10,35	10,35
Чистота, %	86,00	88,46	89,22	90,00	89,22
Эффект очистки, %	-	19,86	25,78	31,74	25,78
Цветность, ед. ICUMSA	-	307,50	240,00	212,50	232,50
Содержание солей кальция, % к массе сока	-	0,019	0,010	0,008	0,012
Содержание солей кальция, % к массе сухих веществ	-	0,162	0,086	0,069	0,103

Из представленных данных следует, что оптимальной степенью обработки сока II сатурации является значение рН 8,5, так как при этом достигается наибольший эффект очистки 31,74 % и наименьшая цветность очищенного сока 212,50 ед. ICUMSA. Содержание солей кальция при степени обработки до значения рН 8,5 более чем в два раза меньше, чем при степени обработки до рН 9,5, что обеспечивает наименьшее накипеобразование на поверхности теплообменного оборудования. При степени обработки до рН 9,0 и 8,0 эффект очистки незначительно меньше, чем при 8,5. Степень обработки до значения рН 9,0 также как и 9,5, не обеспечивает достаточный перевод солей кальция в нерастворимые соединения, как при степени обработки до рН 8,5. Отрицательное значение ζ-потенциалов в соках, обработанных до значений рН 8,5 и 8,0, свидетельствует о том, что в них карбонат кальция был переведен в гидроксикарбонат. Однако порог их содержания был превышен только в соке со значением рН 8,0, о чем свидетельствует снижение эффекта

очистки, обусловленное разрушением осадка и выделением красящих веществ и солей кальция обратно в раствор.

В связи с этим, для следующего этапа были отобраны образцы сока II сатурации со степенями обработки 9,5, являющейся оптимальной по мнению технологов, и 8,5, являющейся оптимальной по результатам исследований. Результаты исследования влияния степени обработки сока II сатурации на качество получаемых сиропов представлены в таблице 2.

Из полученных данных следует, что недостаточная обработка сока II сатурации не способствует предотвращению снижения pH при выпаривании, так как разница между двумя экспериментами составила 0,08 единиц. В эксперименте с оптимальной обработкой сока II сатурации повышение pH с 8,50 до 9,04 обусловлено тем, что содержащийся в растворе гидрокарбонат кальция был разрушен под влиянием высокой температуры и переведен в карбонат. Более низкая цветность и высокая чистота также свидетельствуют о том, что обработку сока II сатурации следует вести не по значению pH, а по значению оптимальной щелочности, которое необходимо определять в начале производственного сезона и корректировать в ходе его осуществления.

Таблица 2 – Влияние степени обработки сока II сатурации на качество получаемых сиропов

Наименование показателя	Значение показателя	
	Сок II сатурации	
Значение pH сока	9,50	8,50
Значение pH сиропа	9,12	9,04
Изменение значения pH	-0,38	+0,54
Цветность, ед. ICUMSA	500,0	425,0
Содержание сухих веществ, %	30	30
Содержание сахарозы, %	26,6	27,2
Чистота, %	88,67	90,33

Из полученных данных двух этапов исследования следует, что недостаточная степень обработки сока II сатурации до значения pH 9,5 не препятствует получению кислых продуктов в кристаллизационном отделении, а снижает эффект очистки и обоснована только лишь для подстраховки от чрезмерной обработки сока II сатурации, приводящей к разрушению осадка с высвобождением красящих веществ.

Полученные на первом этапе исследований данные о том, что при чрезмерной обработке сока II сатурации раствор насыщается гидрокарбонатами кальция, обусловили проведение исследований третьего этапа, направленных на выявление влияния возврата суспензии осадка II сатурации на дозревание и качество получаемого очищенного сока. В ходе исследований изучали возможность перевода растворимых солей кальция нефилтрованного сока II сатурации в нерастворимые за счет их реакции с гидрокарбонатами, содержащимися в возвращаемой пересатурированной суспензии осадка II сатурации. Данные представлены в таблице 3.

Из представленных данных следует, что возврат отрицательно заряженных частиц суспензии осадка II сатурации способствует дополнительной адсорбции на поверхности положительно заряженных несахаров, в том числе красящих веществ и солей кальция. В результате этого повышение чистоты очищенного сока составило 0,6-0,8 %, а снижение

содержания солей кальция и цветности – 30 и 20 % соответственно. В производственных условиях применение возврата на дозревание суспензии осадка II сатурации позволит без значительных капитальных вложений повысить эффективность известково-углекислотной очистки диффузионного сока.

Таблица 3 – Влияние возврата на дозревание суспензии осадка II сатурации на качество очищенного сока

Наименование показателя	Значение показателя	
	Без возврата суспензии осадка II сатурации	С возвратом суспензии осадка II сатурации
Содержание сухих веществ, %	11,60	11,50
Содержание сахарозы, %	10,60	10,60
Чистота, %	91,38	92,17
Цветность, ед. ICUMSA	211,75	170,50
Содержание солей кальция, % к массе сока	0,013	0,009
Содержание солей кальция, % к массе сухих веществ	0,112	0,078

**Выводы.** Анализ полученных результатов показал, что оптимальный режим проведения II сатурации сахаросодержащего раствора необходимо осуществлять после выявления значения оптимальной щелочности, соответствующего минимальному значению содержания солей кальция, а не по значению pH. Значение оптимальной щелочности сока II сатурации необходимо определять в начале производственного сезона и корректировать в ходе его осуществления.

Соки, обработанные до минимального содержания солей кальция, имеют максимальную чистоту и низкую накипеобразующую способность. Это особенно актуально для сахарных заводов Кубани, так как при переработке сахарной свеклы, выращенной в засушливые годы, соки II сатурации получаются с низкой или отрицательной натуральной щелочностью, что является одной из причин повышенного содержания солей кальция в них. Оптимальное проведение II сатурации обеспечивает достижение наибольшего эффекта очистки, повышение чистоты на 1,3-1,4 %, снижение цветности на 30 % и минимальное содержание солей кальция.

Сатурационная обработка соков до значения pH 8,5 при соблюдении оптимальной щелочности приводит не к снижению pH сиропа, а к его повышению за счет разрушения гидрокарбоната кальция под влиянием высокой температуры и переводом его в карбонат. В связи с этим, опасения возможности получения сиропов с кислой реакцией безосновательны. Кроме того, появляется возможность сульфитировать сиропы для снижения их цветности. Оптимальное проведение II сатурации обеспечивает повышение чистоты сиропа на 1,6-1,7 % и снижение его цветности на 15 %.

Возврат насыщенной гидрокарбонатом кальция суспензии осадка II сатурации способствует повышению чистоты на 0,6-0,8 % очищенных соков за счет дополнительной адсорбции положительно заряженных несахаров, в том числе солей кальция, на

образующем отрицательно заряженном карбонате кальция. В результате содержание солей кальция снижается на 30 %, а цветность – на 20 %.

***Литература:***

1. Сапронов А.Р., Сапронова Л.А., Ермолаев С.В. Технология сахара. СПб.: Профессия, 2013. 296 с.
2. Бугаенко И.Ф., Тужилкин В.И. Общая технология отрасли: научные основы технологии сахара: учебник для студентов вузов. СПб.: Гиорд, 2007. 512 с.
3. Современные технологии и оборудование свекло-сахарного производства. Часть 1 / Штангеев В.О. [и др.]. Киев: Цукор Украины, 2003. 352 с.
4. Ловкис З.В., Петюшев Н.И., Турбан Т.И. Очистка диффузионного сока в сахарном производстве. Минск: Беларуская навука, 2013. 232 с.
5. Бугаенко И.Ф. Технохимический контроль сахарного производства. М.: Агропромиздат, 1989. 230 с.
6. Чернявская Л.С., Пустоход А.П., Иволга Н.С. Технохимический контроль сахара-песка и сахара-рафинада. М.: Колос, 1995. 327 с.
7. Савостин А.В., Шурай П.Е. Оперативный метод определения заряда суспензий в сахарном производстве // Сахар. 2009. №12. С. 40-42.

***Literature:***

1. Sapronov A.R., Sapronova L.A., Ermolaev S.V. Technology of sugar. St. Petersburg: Profession, 2013. 296 p.
2. Bugaenko I.F., Tuzhilkin V.I. General industry technology: the scientific basis of sugar technology: a textbook for university students. St. Petersburg: Giord, 2007. 512 p.
3. Modern technologies and equipment for sugar beet production. Part 1 / Shtangeev V.O. [et al.]. Kiev: Zucor of Ukraine, 2003. 352 p.
4. Lovkis Z.V., Petyushev N.I., Turban T.I. Purification of diffusion juice in sugar production. Minsk: Belaruskaya Navuka, 2013. 232 p.
5. Bugaenko I.F. Technochemical control of sugar production. M.: Agropromizdat, 1989. 230 p.
6. Chernyavskaya L.S., Pustokhod A.P., Ivolga N.S. Technochemical control of granulated sugar and refined sugar. M.: Kolos, 1995. 327 p.
7. Savostin A.V., Shurai P.E. An operational method for determining the charge of suspensions in sugar production // Sugar. 2009. No. 12. P. 40-42.