

УДК 664.1.03

UDC 664.1.03

05.00.00 Технические науки

Technical Sciences

**ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ
ДВУХСТАДИЙНОГО ПОЛУЧЕНИЯ
ДИФФУЗИОННОГО СОКА
СВЕКЛОСАХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА И
ЕГО ОЧИСТКИ**

**INNOVATIVE TECHNOLOGY OF DUAL-
STAGE OBTAINING RAW JUICE AND ITS
PURIFYING IN SUGAR INDUSTRY**

Городецкий Владимир Олегович
к.т.н., РИНЦ SPIN-код: 6930-7589

Gorodetsky Vladimir Olegovitch
Cand. Tech. Sci., RISC SPIN-code: 6930-7589

Семенихин Семён Олегович
к.т.н., РИНЦ SPIN-код: 1048-7200

Semenikhin Semen Olegovitch
Cand. Tech. Sci., RISC SPIN-code: 1048-7200

Люсий Игорь Николаевич
к.т.н., РИНЦ SPIN-код: 9380-3390

Lyciy Igor Nikolaevitch
Cand. Tech. Sci., RISC SPIN-code: 9380-3390

Даишева Наиля Мидхатовна
к.т.н., РИНЦ SPIN-код: 4679-7994

Daisheva Nailya Midhatovna
Cand. Tech. Sci., RISC SPIN-code: 4679-7994

Котляревская Наталья Ивановна
РИНЦ SPIN-код: 4396-7630

Kotlyarevskaya Natalia Ivanovna
RISC SPIN-code: 4396-7630

Усманов Мирсабир Мирабзалович
РИНЦ SPIN-код: 7918-2949
*Краснодарский научно-исследовательский
институт хранения и переработки
сельскохозяйственной продукции – филиал ФГБНУ
«Северо-Кавказский федеральный научный центр
садоводства, виноградарства, виноделия»,
Россия, 350072, г. Краснодар, ул. Тополиная аллея,
д.2 kisp@kubannet.ru*

Usmanov Mirsabir Mirabzalovitch
RISC SPIN-code: 7918-2949
*Krasnodar Research Institute of Agricultural Products
Storage and Processing – the branch of FSBSI «North-
Caucasian Federal Scientific Center of Gardening,
Viticulture, Winemaking»,
Russia, 350072, Krasnodar, Topolinaya alleya st., 2
kisp@kubannet.ru*

Типовая схема переработки сахарной свеклы, применяемая на большинстве свеклосахарных заводов России, принципиально не менялась несколько десятков лет. В результате, показатели эффективности работы отечественных свеклоперерабатывающих предприятий ниже среднемировых. В статье рассмотрена технология двухстадийного извлечения и последующей известково-углекислотной диффузионного сока с отделением преддефекационного осадка и проведения сатурационной обработки в одну ступень. Описаны теоретические основы двухстадийного извлечения сахарозы из свекловичной стружки и приведены основные критерии его осуществления. Показан химизм кальциевых соединений при активации возвращаемой на прогрессивную предварительную дефекацию суспензии сатурационных осадков, на котором основывается повышение седиментационно-фильтрационных свойств преддефекационного осадка, позволяющих провести его отделение на существующем оборудовании. Приведены теоретические предпосылки проведения сатурации в гомогенной среде жидкость-жидкость и описаны практические

The typical scheme of sugar beet processing, used at most sugar beet factories in Russia has not been fundamentally changed for several dozens of years. As a result, the performance indicators of domestic beet-processing enterprises are below the world average. The article considers the technology of two-stage extraction and subsequent lime-carbon dioxide raw juice purification with the separation of the preliming sludge and carrying out the carbonation treatment in one step. The theoretical foundations of a two-stage extraction of sucrose from sugar beet cossettes are described and the main criteria for its implementation are given. The chemistry of calcium compounds upon activation of a suspension of saturation precipitation, returned to a progressive preliminary defecation, is shown. On that the increasing of sedimentation-filtration properties of the preliming sludge is based that allows its separation on the existing equipment in based. The theoretical premises for carrying out saturation in a homogeneous liquid-liquid environment are given and practical principles for their realization are described. The comparative evaluation of existing and improved sugar beet processing technologies is carried out. The improved technology makes it possible to reduce the amount of raw juice while

принципы их реализации. Проведена сравнительная оценка существующей и усовершенствованной технологии переработки сахарной свеклы. Усовершенствованная технология позволяет снизить отбор диффузионного сока при одновременном повышении его чистоты, за счет чего обеспечивает снижение расхода вспомогательных материалов, топливно-энергетических ресурсов, упрощение технологической схемы при повышении качества очищенного сока, а именно, более высокой его чистоты, достигаемой за счет снижения степени перехода в него высокомолекулярных соединений и повышении эффекта разрушения редуцирующих веществ

Ключевые слова: САХАРНАЯ СВЕКЛА, ИЗВЛЕЧЕНИЕ САХАРОЗЫ, ДИФФУЗИОННЫЙ СОК, ИЗВЕСТКОВО-УГЛЕКИСЛОТНАЯ ОЧИСТКА, ПРОГРЕССИВНАЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ДЕФЕКАЦИЯ, СУСПЕНЗИЯ ОСАДКА, АКТИВАЦИЯ СУСПЕНЗИИ, КАРБОНИЗАЦИЯ, САТУРАЦИЯ, ОЧИЩЕННЫЙ СОК

improving its purity, thereby reducing the consumption of auxiliary materials, fuel and energy resources, simplifying the technological scheme while improving the quality of the purified juice, namely, its higher purity, achieved by reducing the degree of transition of high-molecular compounds in it and increasing the effect of destruction of reducing substances

Keywords: SUGAR BEET, SUCROSE EXTRACTION, RAW JUICE, LIME-CARBON DIOXIDE PURIFICATION, PROGRESSIVE PRELIMING, MUD SUSPENSION, MUD SUSPENSION ACTIVATION, PRECARBONATION, CARBONATION, PURIFIED JUICE

Doi: 10.21515/1990-4665-132-073

Эффективность переработки свеклосахарного сырья в значительной степени зависит от его качества и технологии получения и последующей очистки диффузионного сока. Современное состояние техники и технологии отечественного сахарного производства не обеспечивает достаточной полноты извлечения сахарозы из свеклы, высокоэффективную известково-углекислотную очистку, не отвечает потребностям страны, вследствие чего не обеспечивает достижения среднемировых показателей. Решению этих проблем служат совершенствование существующих и создание инновационных технологий переработки сахарной свеклы.

В технологическом процессе сахарного производства гидроксид кальция и диоксид углерода являются основными реагентами, применяемыми для очистки диффузионного сока. Именно очистка диффузионного сока с использованием гидроксида кальция и диоксида углерода является одним из важнейших процессов свеклосахарного

производства, в значительной степени определяющим эффективность использования сырья, топливно-энергетических и материальных ресурсов, а также конечные результаты работы завода. В настоящее время расход гидроксида кальция, добавляемого к диффузионному соку в процессе очистки, составляет до 1,5-2,0 % CaO к массе свеклы, что нельзя считать оптимальным, так как он значительно превышает теоретически необходимый для проведения реакций осаждения несахаров. Также, средняя величина расхода условного топлива за рубежом длительное время находится на уровне 3,0-3,3 % к массе свеклы, в то время как на ряде предприятий России он достигает 4,8-4,9 %.

Теоретическое количество реагентов, требуемых для проведения известково-углекислотной очистки, рассчитывается исходя из чистоты диффузионного сока. Известно, что диффузионный сок свеклосахарного производства представляет собой поликомпонентную систему, в состав которой входит сахароза и сопутствующие вещества (несахара), представленные растворимыми белками, пектиновыми соединениями и продуктами их разложения, редуцирующими сахарами, аминокислотами, азотистыми соединениями, солями органических и неорганических кислот. При обессахаривании свекловичной стружки по типовой (диффузионной) технологии из нее в диффузионный сок переходит 95-98 % сахарозы и около 80 % растворимых несахаров.

Все несахара в большей или меньшей мере препятствуют получению кристаллической сахарозы и увеличивают выход мелассы, поэтому одной из основных задач технологии сахарного производства является максимальное удаление несахаров из производственных сахаросодержащих растворов (полупродуктов). Учитывая это, каждая технологическая операция свеклосахарного производства должна обеспечивать проведение очистки полупродуктов от несахаров.

Следовательно, для снижения ресурсоемкости свеклосахарного производства необходимо уже на стадии извлечения сахарозы проводить процесс таким образом, чтобы получать диффузионный сок с чистотой выше чистоты клеточного сока, препятствуя переходу в него несахаров, при минимально возможной величине его отбора. Соблюдение двух этих критериев позволит увеличить эффект очистки на диффузии и снизить потребности топливно-энергетических ресурсов на стадии сгущения очищенного сока до сиропа. Другой составной частью высокоэффективной технологии переработки сахарной свеклы является известково-углекислотная очистка диффузионного сока, обеспечивающая низкий расход известнякового камня, угля на его обжиг, вспомогательных материалов и прочих сопутствующих затрат. Это позволит сократить себестоимость товарного сахара, то есть повысит его конкурентоспособность.

Часто в производственной практике происходит так, что чистота диффузионного сока оказывается ниже чистоты клеточного сока свекловичной стружки. Это объясняется тем, что при диффузионном извлечении сахарозы из стружки на начальной ступени процесса происходит переход в сок в основном сахарозы, а в конечной – и несахаров клеточного сока, снижающих качество диффузионного сока, особенно при повышенной величине отбора сока (125-130 %). Проведенными нами ранее исследованиями установлено, что достижение чистоты последних фракций диффузионного сока, равной чистоте клеточного сока, наблюдается при величине отбора около 105 % к массе свеклы [1, 2]. Но, при такой величине отбора остаточное содержание сахарозы в частично обессахаренной свекловичной стружке составляет 2,0-2,5 % к её массе, что значительно превышает нормируемую величину ее потерь. Снизить потери сахарозы со свекловичным жомом до нормативной величины или даже ниже позволит последующее глубокое прессование до содержания сухих

веществ в нем 23-26 % и выше. Однако, в этом случае требуется возврат в диффузионный процесс всей жомопрессовой воды, которую, в этом случае, следует рассматривать как часть диффузионного сока, получаемого на последней стадии обессахаривания свекловичной стружки. При этом не стоит опасаться ухудшения качества диффузионного сока, поскольку ткани свеклы при глубоком прессовании приобретают свойства фильтрующей перегородки, препятствующей переходу несахаров в жомопрессовую воду. Чистота жомопрессовой воды будет не ниже чистоты клеточного сока свекловичной стружки, что свидетельствует о том, что возврат жомопрессовой воды после прессового доизвлечения сахарозы не приводит к снижению чистоты диффузионного сока.

Исходя из вышеизложенного, следует, что эффективный процесс обессахаривания свекловичной стружки должен осуществляться в две стадии:

– извлечение основной массы сахарозы диффузионным способом с получением минимального количества диффузионного сока (отбора) с максимальной чистотой (не ниже чистоты клеточного сока);

– доизвлечение сахарозы глубоким прессованием частично обессахаренной свекловичной стружки с достижением нормативного содержания сахарозы в прессованном жоме в пересчете к массе свекловичной стружки.

В результате, переход с одностадийного извлечения на двухстадийное позволяет снизить отбор диффузионного сока на 10-15 % к массе свеклы и повысить его чистоту на 1,0-1,2 %.

Следующим высокоэффективным технологическим приемом, позволяющим повысить эффективность известково-углекислотной очистки диффузионного сока, является отделение преддефекационного осадка [3, 4]. Это позволяет вывести основную массу несахаров из сока до основной дефекации, на которой происходит их обратный переход в раствор из

адсорбционного слоя, образованного на частицах осадка карбоната кальция при проведении предварительной прогрессивной дефекации.

Однако, для осуществления отделения преддефекационного осадка на существующем в настоящее время оборудовании необходимо придать ему достаточные для этого седиментационно-фильтрационные свойства. Это возможно осуществить за счет внесения в диффузионный сок готового осадка карбоната кальция в виде суспензии сока II сатурации, в которой повышено содержание в растворе катионов Ca^{2+} , так как это увеличит степень осаждения анионов органических кислот в виде малорастворимых соединений. Наиболее технологически приемлемым способом повышения содержания катионов Ca^{2+} является активация возвращаемой суспензии сатурационного осадка диоксидом углерода до рН $7,0 \pm 0,2$. В этом случае происходит снижение содержания анионов карбонат CO_3^{2-} и повышение содержания анионов бикарбоната HCO_3^- , а так как растворимость бикарбоната кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ на порядок выше, чем растворимость карбоната кальция CaCO_3 , то в растворе увеличится содержание катионов Ca^{2+} . Кроме того, в условиях низкого содержания анионов CO_3^{2-} , повышенного содержания анионов HCO_3^- и катионов Ca^{2+} частицы CaCO_3 приобретают положительный поверхностный заряд, что способствует более полному осаждению отрицательно заряженных сопутствующих веществ, а именно, высокомолекулярных соединений и веществ коллоидной дисперсности диффузионного сока.

Таким образом, в результате отделения преддефекационного осадка требуемое количество известкового молока, направляемое на основную дефекацию, сокращается с 1,0-1,2 % СаО к массе свеклы до 0,7-0,8 %, а общее количество на проведение известково-углекислотной очистки – с 1,6-1,8 % СаО к массе свеклы до 1,3-1,4 %.

Еще одним следствием отделения преддефекационного осадка является возможность упрощения последующих стадий путем проведения

сатурационной обработки в одну ступень за счет исключения I сатурации и следующего за ней обязательного отделения осадка I сатурации. В результате снижается аппаратуроемкость технологической схемы и сокращается время воздействия на производственные соки негативных факторов – высоких температуры и щелочности, и, как следствие, появляется возможность сократить неучтенные потери сахарозы [5].

Однако, для проведения одноступенчатой сатурации требуется увеличить величину адсорбции несахаров, а наиболее технологически эффективный способ заключается в ее проведении в гомогенной среде жидкость-жидкость. Для этого, необходимо провести карбонизацию дефектованного сока до величины 60 % щелочности по фенолфталеину от щелочности дефектованного сока. При данной степени карбонизации концевые группы уже не способны удерживать сахарополикарбонат в растворе, в результате чего кальций-карбонатные цепочки становятся центрами образования микрочастиц осадка карбоната кальция коллоидной дисперсности с положительным поверхностным зарядом. Также следует отметить, что при указанной степени карбонизации образующийся коллоидный карбонат кальция представляет собой гель сахарокарбонатов гидроксикальция с присутствием ацидокарбонатов неорганических и органических кислот производственных соков. Высокая адсорбционная способность коллоидного карбоната кальция объясняется обычной обменной реакцией – вытеснением сахарозы со слабыми кислотными свойствами из сахарокарбонатов анионами солей.

Таким образом, в процессе сатурации одновременно происходят образование мицелл карбоната кальция с адсорбированными на их поверхности анионами кислот и их последующее агрегатирование с неизбежной частичной десорбцией несахаров адсорбционного слоя.

Также, введение в схему рециркуляции с одновременным глубоким пересатурированием до величины рН ниже 8,0 части сатурированного сока и смешивание его с карбонизированным соком позволяет достигнуть

нового эффекта – реакции гидрокарбоната кальция пересатурированного сока с гидроксидом гидроксикальция карбонизированного сока, невозможного при других способах известково-углекислотной очистки. Этот эффект можно назвать эффектом «мгновенной» сатурации.

В результате того, что реакция проходит в гомогенной среде жидкость – жидкость, а не в гетерогенной жидкость – газ, то скорость ее протекания очень высокая. Как следствие, образующийся карбонат кальция откладывается на поверхности всех частиц твердой фазы смеси, так как не имеет необходимого времени для нормальной кристаллизации, и придает осадку положительный заряд, способствуя повышенной адсорбции противоионов.

Сравнительные показатели качества очищенных соков, полученных по типовой и усовершенствованной технологиям получения диффузионного сока и его очистки, представлены в таблице.

Таблица – Сравнительные показатели качества очищенных соков, полученных по типовой и усовершенствованной технологиям получения диффузионного сока и его очистки

Наименование показателя	Значение показателя	
	Технология получения и очистки	
	типовая	усовершенствованная
Реакция среды (рН)	9,2	9,2
Содержание солей кальция, % СаО к массе сока	0,071	0,055
Содержание солей кальция, % к массе сухих веществ	0,696	0,391
Содержание высокомолекулярных соединений, % к массе сухих веществ	3,97	3,20
Эффект перехода высокомолекулярных соединений, % к массе сухих веществ	37,9	30,6
Содержание редуцирующих веществ, % к массе сока	0,1131	0,0511
Содержание редуцирующих веществ, % к массе сухих веществ	1,0775	0,5009
Эффект разрушения редуцирующих веществ, %	81,5	91,4
Чистота, %	88,43	89,30
Увеличение чистоты, %	–	0,87
Эффект очистки, %	30,6	36,4

Из представленных данных видно, что полученный по усовершенствованной технологии очищенный сок имеет более высокое качество. Так, эффект разложения редуцирующих веществ в усовершенствованной технологии (91,4 %) выше, по сравнению с типовой технологией (81,5 %), а эффект перехода высокомолекулярных соединений и коллоидных веществ в очищенный сок ниже – 37,9 и 30,6 % соответственно. Содержания солей кальция в соке, полученном по усовершенствованной технологии, ниже на 0,016 % СаО к массе сока чем в соке, очищенном по типовой технологии, или на 22,5 % (абсолютных). В конечном итоге, усовершенствованная технология обеспечивает увеличение эффекта очистки диффузионного сока на 5,8 %.

В результате проведенного комплекса теоретических и экспериментальных исследований разработана высокоэффективная технология двухстадийного извлечения диффузионного сока и его очистки, позволяющая:

- снизить отбор диффузионного сока на 10-15 % к массе свеклы;
- снизить содержания солей кальция в очищенном соке на 0,015-0,017 % СаО к массе сока;
- снизить эффект перехода высокомолекулярных соединений в очищенный сок на 7,0-7,5 %;
- повысить эффект разложения редуцирующих веществ на 9,5-10,5 %;
- повысить чистоту очищенного сока на 0,8-0,9 %.

Литература

1. Сравнительная характеристика существующей и разработанной технологий извлечения сахарозы из свекловичной стружки [Электронный ресурс] / В.О. Городецкий, С.О. Семенихин, В.В. Лисовой, Н.И. Котляревская // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ), 2016. – № 121(07). – Шифр информрегистра (Doi): 10.21515/1990-4665-121-031. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/07/pdf/31.pdf> (Дата обращения 30.08.2017).

2. Пат. № 2504587 Российская Федерация. Способ диффузионно–прессового извлечения сахарозы из свекловичной стружки [Текст] / Ю.И. Молотилин, В.О. Городецкий, Н.М. Даишева, С.О. Семенихин; заявл. 18.01.2012 г.; опубл. 20.01.2014 г.

3. Отделение преддефекационного осадка свеклосахарного производства как способ повышения качества очищенного сока [Текст] / Городецкий В.О., Решетова Р.С., Лисовой В.В., [и др.] // Известия ВУЗов. Пищевая технология, 2016. – № 2-3. – С. 40-43.

4. Разработка эффективного способа повышения чистоты сока II сатурации [Текст] / Городецкий В.О., Люсый И.Н., Семенихин С.О. [и др.] // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания, 2017. – № 3. – С. 78-83.

5. Пат. № 2587042 Российская Федерация. Способ очистки диффузионного сока [Текст] / Ю.И. Молотилин, И.Н. Люсый, В.О. Городецкий, Н.М. Даишева, С.О. Семенихин; заявл. 23.03.2015 г.; опубл. 10.06.2016 г.

References

1. Sravnitel'naya harakteristika sushchestvuyushchej i razrabotannoj tekhnologij izvlecheniya saharozy iz sveklovichnoj struzhki [Elektronnyj resurs] / V.O. Gorodeckij, S.O. Semehin, V.V. Lisovoj, N.I. Kotljarevskaja // Politematicheskij setevoj ehlektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU). – 2016. – № 121(07). – Shifr informregistra (Doi): 10.21515/1990-4665-121-031. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2016/07/pdf/31.pdf> (Data obrashhenija 30.08.2017).

2. Pat. № 2504587 Rossijskaja Federacija. Sposob diffuzionno–pressovogo izvlechenija saharozy iz sveklovichnoj struzhki [Tekst] / Ju.I. Molotilin, V.O. Gorodeckij, N.M. Daisheva, S.O. Semehin; zajavl. 18.01.2012 g.; opubl. 20.01.2014 g.

3. Otdelenie preddefekacionnogo osadka sveklosaharnogo proizvodstva kak sposob povyshenija kachestva ochishhennogo soka [Tekst] / Gorodeckij V.O., Reshetova R.S., Lisovoj V.V., [i dr.] // Izvestija VUZov. Pishhevaja tehnologija, 2016. – № 2-3. – S. 40-43.

4. Razrabotka jeffektivnogo sposoba povyshenija chistoty soka II saturacii [Tekst] / Gorodeckij V.O., Ljusyj I.N., Semehin S.O. [i dr.] // Tehnologii pishhevoj i pererabatyvajushhej promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya, 2017. – № 3. – S. 78-83.

5. Pat. № 2587042 Rossijskaja Federacija. Sposob ochistki diffuzionnogo soka [Tekst] / Ju.I. Molotilin, I.N. Ljusyj, V.O. Gorodeckij, N.M. Daisheva, S.O. Semehin; zajavl. 23.03.2015 g.; opubl. 10.06.2016 g.