

Эффективность переработки свеклы пониженного качества

Вячеслав А. Голыбин¹ visg@yml.ru
Владимир А. Федорук¹ yzas2006@yandex.ru
Наталья А. Матвиенко¹ natali25_81@mail.ru
Виктория Б. Ромашова¹ viktoriy-romashova@yandex.ru

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Реферат. Качество перерабатываемой сахарной свеклы во многом определяет конечные результаты производственной деятельности сахарного завода – выход белого сахара, его качество, коэффициент завода. Проблемы качества свеклы обусловлены многими причинами, характерными именно для условий России. Результатом комплексного воздействия неблагоприятных факторов являются повышенные потери сахарозы и массы свеклы с накоплением в ней значительного количества вредных нес сахаров: в основном редуцирующих веществ, растворимых азотистых соединений и пектиновых веществ, высокомолекулярных соединений. Для достижения высоких показателей фильтрования производственных сахарных растворов после их карбонизации наряду с высоким эффектом адсорбционного удаления продуктов распада нес сахаров определяющим фактором является получение оптимальной структуры частиц карбоната кальция – основы фильтрационного осадка. Нами показана целесообразность управляемого процесса формирования структуры осадка карбоната кальция в процессе первой карбонизации путем ввода в очищаемый сок частиц специально подготовленного фильтроперлита. Предварительная подготовка заключалась в известково-углекислотной обработке фильтроперлита с определенной дисперсностью при заданном значении pH с получением максимальной положительной величины электрокинетического потенциала. Возврат активированной карбонатной суспензии сока II сатурации на предварительную прогрессивную преддефекцию способствует повышению эффекта очистки на этой операции на 39,2% в сравнении с контролем, улучшению дисперсного состава коагулята нес сахаров, что подтверждается увеличением скорости седиментации частиц осадка на 35% при уменьшении объема осадка V₂₅ на 16,9%. Эффективность очистки сока II сатурации повышается на 15,4% по сравнению с контролем, массовая доля солей кальция снижается на 25%, эффект удаления красящих веществ повышается на 16,5%.

Ключевые слова: сахарное производство, сахарная свекла, показатели качества, фильтроперлит

Efficiency of low quality beet processing

Vyacheslav A. Golybin¹ visg@yml.ru
Vladimir A. Fedoruk¹ yzas2006@yandex.ru
Natalya A. Matvienko¹ natali25_81@mail.ru
Viktoria B. Romashova¹ viktoriy-romashova@yandex.ru

¹ Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Summary. The quality of sugar beet processed determines the final results of the production activity of the sugar plant in many ways - the white sugar yield, its quality, the plant coefficient. The problems of beet quality are due to many reasons, which are specific for the conditions of Russia. The result of complex influence of unfavorable factors are increased sucrose losses and beet weight with the accumulation in it of a significant amount of harmful nonsugars: mainly reducing substances, soluble nitrogen compounds and pectin substances, high-molecular compounds. To achieve high filtration rates of industrial sugar solutions after their carbonization, along with the high adsorption effect of removing the decomposition products of nonsugars, the determining factor is the obtaining of the optimal structure of calcium carbonate particles, the basis of the filtration sludge. We have shown the advisability of a controlled process for the formation of calcium carbonate sludge in the first carbonization process by introducing particles of a specially prepared filter perlite into the juice to be purified. Preliminary preparation consisted of lime-carbon dioxide treatment of the filter perlite with a certain dispersion at a given pH value to obtain the maximum positive electrokinetic potential. The return of the activated carbonate suspension of the second saturation carbonation juice to the preliminary progressive preliming promotes an increase in the purifying effect in this operation by 39.2% in comparison with the control, an improvement in the dispersed composition of the nonsugars coagulate, which is confirmed by an increase in sedimentation rate of the sludge particles by 35% with a decrease in the sludge volume V₂₅ by 16.9%. The purification efficiency of juice II carbonation increases by 15.4% compared to the control, the calcium salts mass fraction is reduced by 25%, the effect of coloring substances removing increases by 16.5%.

Keywords: sugar production, sugar beet, quality indicators, filterperlite

Введение

Качество перерабатываемой сахарной свеклы во многом определяет конечные результаты производственной деятельности сахарного завода – выход белого сахара, его качество, коэффициент завода. Проблемы качества свеклы обусловлены многими причинами, характерными именно для условий России.

Для цитирования

Голыбин В.А., Федорук В.А., Матвиенко Н.А., Ромашова В.Б. Эффективность переработки свеклы пониженного качества // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 2. С. 206–210. doi:10.20914/2310-1202-2018-2-206-210

For citation

Golybin V.A., Fedoruk V.A., Matvienko N.A., Romashova V.B. Efficiency of low quality beet processing. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 2. pp. 206–210. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-2-206-210

Дефицит влаги, недостаточное количество и несоблюдение оптимальных сроков ввода удобрений, неустойчивые погодные условия вегетации (весенние похолодания, ранние осенние заморозки), несовершенство уборочной техники и обусловленное этим значительное травмирование корнеплодов, подмораживание и оттаивание – все эти факторы способствуют снижению технологических показателей свеклы.

В результате комплексного воздействия неблагоприятных факторов на сахарные заводы поступает сырье, не отвечающее требованиям ГОСТ 52647–2006 «Свекла сахарная. Технические условия».

Количество травмированных корнеплодов при механизированной уборке достигает 37–45%, из них 20% и более сильно поврежденных.

В травмированных корнеплодах свеклы более интенсивно протекают основные жизненные процессы дыхания и прорастания, возрастает активность ферментов (например, инвертазы), разрушающих сахарозу, усиливаются микробиологические процессы, вызывающие появление гнилой массы.

Результатом комплексного воздействия неблагоприятных факторов являются повышенные потери сахарозы и массы свеклы с накоплением в ней значительного количества вредных несахаров: в основном редуцирующих веществ (РВ), растворимых азотистых соединений и пектиновых веществ, высокомолекулярных соединений.

При увеличении количества гнилой массы в свекле на 1% ее сахаристость снижается на 0,2–0,3%, содержание РВ возрастает на 40–85%, чистота свекловичного сока снижается на 1%, очищенного сока и сиропа на 1,1%.

Каждый процент гнилой массы в свекле вызывает снижение выхода сахара на 0,3%, увеличение содержания сахара в мелассе на 0,1%.

Наличие гнилой массы наиболее заметно отражается на изменении ее углеводного комплекса. Так, при увеличении доли гнилой массы до 20% сахаристость свеклы снижается до 13,6%, содержание РВ возрастает в 5–6 раз, ухудшается качество свекловичного сока – чистота (Ч) снижается с 87,3 до 67,4%, содержание органических кислот увеличивается в 25 раз [1–4].

Важным показателем качества свеклы является степень ее подвяливания (потеря влаги). Потеря 15% массы корнеплода при хранении повышает активность фермента инвертазы в 6 раз, что приводит к снижению сахаристости свеклы и увеличению в ней содержания вредного несахара – РВ.

При хранении подвяленной на 13% свеклы потери сахарозы составили более 6%, количество пораженных гнилью корней – 55%,

увеличение РВ – 40%, снижение чистоты свекловичного сока на 11,3%.

Значительным изменениям подвергается состав свеклы, поврежденной в процессе хранения заморозками и оттаявшей – в ней накапливалось до 45% загнивших корней, из них с почерневшей тканью – 26–30%.

При заражении оттаявшей свеклы слизеобразующими бактериями появляются высокомолекулярные соединения типа декстран и леван, резко ухудшающие фильтрационно-седиментационные показатели сатурационных соков.

При хранении такой свеклы в течение 55 суток ее сахаристость снизилась до 6,7%, доля РВ увеличилась с 0,24 до 6,20% (в 25,8 раза). Для сравнения содержание растворимой золы при этом выросло с 0,55 до 1,50%, или в 2,7 раза. Существенные изменения в углеводном комплексе подмороженной, а затем оттаявшей свеклы исключили возможность ее переработки – расчетный выход сахара 0,2%, а потери сахарозы в мелассе вследствие появления в свекловичном соке дополнительных несахаров-мелассообразователей составили 5,64% к массе свеклы, т. е. возросли более чем в 3 раза.

При наличии в бактериозной свекле 8–10% гнилой массы из-за присутствия высокомолекулярных соединений (из них наиболее вредный полисахарид декстран) сатурационные соки практически невозможно отфильтровать.

Вследствие появления пораженной бактериозом свеклы Ч диффузионного сока снизилась с 86,2 до 82,5%, содержание декстрана увеличилось с 0,018 до 0,075%, величина рН снизилась с 6,2 до 5,5, содержание РВ увеличилось в 3,5 раза, скорость фильтрования сока I сатурации снизилась в 7,6 раза, скорость осаждения частиц осадка – в 2,1 раза, объем осадка увеличился в 1,8 раза [5].

Молекулы декстрана адсорбируются поверхностью кристаллов сахара в процессе их формирования и роста, что снижает качество сахара и делает невозможным использование его для выработки продуктов детского питания, различных напитков и т. д.

В соответствии с регламентными требованиями современной схемы физико-химической очистки диффузионного сока присутствующие в исходном соке РВ подвергаются щелочно-термическому разложению в управляемых условиях по температуре, продолжительности процесса, активной известковой щелочности. С учетом обеспечения нормативной термостойчивости очищенного сока в условиях высокотемпературного выпаривания остаточное содержание РВ в соке не должно превышать 0,020–0,025% к его массе. Следовательно,

при возможном интервале начальной массовой доли РВ в диффузионном соке из свеклы различного качества 0,08–0,35% для достижения рекомендуемой остаточной их доли степень щелочно-термического разложения указанных несахаров должна составлять 90% и более. При их разложении образуется более 100 различных химически активных соединений с короткими углеродными цепочками, имеющими в своем составе карбонильные группы, которые могут реагировать друг с другом и образовывать окрашенные соединения. Вследствие различной прочности органических связей продуктов распада РВ с переменной степенью полимеризации образуются объемные структуры первичных макромолекул ацидокарбонатов гидроксикальция, которые при агрегатировании влияют на дисперсность и коэффициент сжимаемости осадков [6].

В результате в очищаемом соке появляются новые группы несахаров – красящие вещества и высокомолекулярные соединения. Задача последующих операций технологического комплекса очистки диффузионного сока – максимальное удаление красящих веществ и других вторичных продуктов распада за счет адсорбции карбонатом кальция в процессе карбонизации известковой щелочности с последующим удалением образовавшегося осадка карбоната кальция с несахарами путем фильтрования или седиментации.

Основными показателями качества готовой продукции – белого сахара, являются цветность водного раствора и зольность. Указанные вторичные несахара – продукты распада РВ, вследствие невозможности их полного удаления при традиционной известково-углекислотной очистке диффузионного сока, являются одними из основных причин снижения качества сахара. С учетом сказанного возникает задача интенсификации процессов очистки диффузионного сока за счет применения эффективных приемов [7].

Горячая известковая обработка диффузионного сока позволяет обеспечить более полную степень распада РВ, однако в сравнении

с низкотемпературной обработкой производственные растворы имеют высокую цветность и повышенное содержание продуктов полимеризации красящих веществ. Например, при 90 °С таких соединений в очищаемом соке больше на 36% в сравнении с низкотемпературной известковой обработкой. При образовании микрочастиц карбоната кальция в присутствии ВМС образуются мелкодисперсные структуры с низкими фильтрационно-седиментационными показателями, что в производственных условиях снижает производительность фильтровального оборудования. Скорость фильтрования производственного раствора с учетом повышенного содержания в исходном соке РВ и при высокотемпературной известковой обработке снижается почти в 2 раза.

Результаты и обсуждение

Для достижения высоких показателей фильтрования производственных сахарных растворов после их карбонизации наряду с высоким эффектом адсорбционного удаления продуктов распада несахаров определяющим фактором является получение оптимальной структуры частиц карбоната кальция – основы фильтрационного осадка.

Нами показана целесообразность управляемого процесса формирования структуры осадка карбоната кальция в процессе первой карбонизации путем ввода в очищаемый сок частиц специально подготовленного фильтроперлита. Предварительная подготовка заключалась в известково-углекислотной обработке фильтроперлита с определенной дисперсностью при заданном значении рН с получением максимальной положительной величины электрокинетического потенциала (ЭКП). Ввод в очищаемый сок такой суспензии обеспечивает в процессе карбонизации формирование более однородных частиц карбоната кальция, которые можно отнести к малосжимаемым структурам, а также обеспечивает высокий эффект адсорбционной очистки продуктов щелочного распада РВ (таблица 1).

Таблица 1.

Показатели сока в зависимости от варианта проведения I карбонизации

Table 1.

Indicators of juice depending on the variant of the carbonation 1st

Показатели эффективности карбонизации сока The efficiency of carbonation of the juice	Ввод фильтроперлита перед карбонизацией Enter filterperlite before carbonation	Типовой вариант карбонизации Typical carbonation variant
Эффект адсорбционного удаления красящих веществ, % Effect of adsorption removal of dyes, %	55,8	48,4
Скорость фильтрования сока, см ³ /с Juice filtration rate, cm ³ / s	0,98	0,72
Скорость седиментации осадка, см/мин Sedimentation rate, cm /min	3,05	2,35

Из приведенных данных видно существенное улучшение фильтрационно-седиментационных показателей производственных сахарных растворов при предварительном вводе в очищаемый сок активированного фильтроперлита – скорость фильтрования сока увеличилась на 36,1%, скорость седиментации – на 29,8%.

По современной технологии очистки диффузионного сока часть сгущенной суспензии сока I и II сатурации возвращается в определенную зону pH прогрессивного преддефекатора [8–10]. Частицы карбонатного осадка сока II сатурации имеют положительный ЭКП +7÷12 мВ. В процессе II сатурации образуется менее загрязненная поверхность осадка карбоната кальция, чем на I сатурации. Возврат такой суспензии способствует более полной коагуляции ВМС и ВКД диффузионного сока на стадии прогрессивной преддефекации (ППД). Важным является ввод именно суспензии сока II сатурации, полученной при управляемом формировании структуры осадка на основе вводимых частиц активированного

фильтроперлита перед стадией карбонизации. Вызывает интерес влияние возврата суспензии, полученной в процессе карбонизации оксида кальция с предварительным вводом активированного фильтроперлита. Исследовали варианты возврата в процесс преддефекационной обработки различных карбонатных суспензий при очистке диффузионного сока из свеклы длительного хранения (Ч сока 86,3%, pH 5,95).

Вариант 1. Возврат суспензии сока I сатурации с последующим вводом CaO до pH 11,0 (контроль).

Вариант 2. Ввод в диффузионный сок суспензии сока II, ввод CaO до pH 11,0.

Вариант 3. Ввод части суспензии сока II сатурации непосредственно в диффузионный сок и в зону pH 8,0 – 8,5 с последующим вводом CaO до pH 11,0.

Определяли качественные показатели очищаемого сока после прогрессивной преддефекации, I и II сатурации (таблица 2).

Таблица 2.

Технологические показатели качества соков

Table 2.

Technological indicators of juice quality

Показатели Parameter	Вариант возврата суспензии Suspension return option		
	№ 1	№ 2	№ 3
Сок после ППД Juice after progressive preliminary liming			
Ч, % Purity, %	87,6	87,9	88,4
Эффект очистки, % The cleaning effect, %	12,5	14,2	17,4
S ₅ , см/мин (cm/min)	2,85	3,40	3,85
V ₂₅ , %	26,0	23,1	21,6
Сок I сатурации Carbonation 1st			
V _ф , см ³ /с (cm ³ /s)	0,069	0,078	0,094
S ₅ , см/мин (cm/min)	3,40	3,75	4,45
V ₂₅ , %	22,9	19,6	17,5
Сок II сатурации Carbonation 2nd			
Ч, % Purity, %	90,0	90,4	90,7
Общий эффект очистки, % Total effect purification, %	29,9	32,7	34,5
Массовая доля солей кальция, % CaO Mass fraction of calcium salts, % CaO	0,036	0,031	0,027
Цветность, усл. ед. Chroma, conventional units	16,4	14,90	13,7

Возврат активированной карбонатной суспензии сока II сатурации на ППД способствует повышению эффекта очистки на этой операции на 39,2% в сравнении с контролем, улучшению дисперсного состава коагулята несахаров, что подтверждается увеличением скорости седиментации частиц осадка на 35% при уменьшении объема осадка V₂₅ на 16,9%. Эффективность очистки сока II сатурации повышается на 15,4% по сравнению с контролем, массовая доля солей кальция снижается на 25%, эффект удаления красящих веществ повышается на 16,5%.

Заключение

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что возврат на прогрессивную преддефекацию суспензии сока II сатурации, сформированной при предварительном вводе на сатурацию активированного фильтроперлита позволяет существенно повысить эффективность как процесса преддефекации, так и операции II сатурации, что является особенно важным при переработке свеклы пониженного качества с повышенным содержанием вредных несахаров.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Wright M. Microbiology in the sugar industries // Sugar Industry. 2018. № 2. P. 83–87.
- 2 Bergwall Ch. New microbiological challenges for the sugar industry with focus on thermophilic acidophilic bacteria // Sugar Industry. 2018. № 1. P. 28–32.
- 3 Antczak-Chrobot A., Bąk P., Wojtczak M. Changes in technological quality of frost damaged sugar beet during storage // Sugar Industry. 2017. № 8. P. 471–475.
- 4 Wojtczak M. et al. Changes in the content of organic acids and inorganic anions in sugar beet during long-term storage // Sugar Industry. 2016. № 12. P. 760–764.
- 5 Гольбин В.А., Кульнева Н.Г., Федорук В.А. Мероприятия по обеспечению сохранности сахарной свеклы // Сборник докладов Международной научно-практической конференции «О проблемах обеспечения в современных условиях количественной и качественной сохранности материальных ценностей, поставляемых и закладываемых в государственный резерв». Часть 1. М.: ООО «Галлея-Принт», 2011. С. 142–152.
- 6 Гольбин В.А. и др. Влияние различных факторов на щелочно-термическое разложение редуцирующих веществ // Вестник ВГУИТ. 2014. № 2. С. 153–157.
- 7 Зелепукин Ю.И. и др. Интенсификация известково-углекислотной очистки диффузионного сока // Сахар. 2016. № 1. С. 40–43.
- 8 Рад М.А., Рад А.А., Шревель Ж. Оценка очистки сока на сахарных заводах // Сахар и свекла. 2015. № 2. С. 17–32.
- 9 Сапронов А.Р., Сапронова Л.А., Ермолаев С.В. Технология сахара. СПб.: Профессия, 2013. 296 с.
- 10 де Бруин Я.М. Поиск и устранение отклонений в свеклосахарном производстве: обзор // Сахар и свекла. 2013. № 1. С. 36–45.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Вячеслав А. Гольбин** д.т.н., профессор, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, visg@yandex.ru
- Владимир А. Федорук** к.т.н., доцент, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, yzas2006@yandex.ru
- Наталья А. Матвиенко** к.т.н., доцент, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, natali25_81@mail.ru
- Виктория Б. Ромашова** студент, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, viktoriy-romashova@yandex.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 15.04.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 14.05.2018

REFERENCES

- 1 Wright M. Microbiology in the sugar industries. Sugar Industry. 2018. no. 2. pp. 83–87.
- 2 Bergwall Ch. New microbiological challenges for the sugar industry with focus on thermophilic acidophilic bacteria. Sugar Industry. 2018. no 1. pp. 28–32.
- 3 Antczak-Chrobot A., Bąk P., Wojtczak M. Changes in technological quality of frost damaged sugar beet during storage. Sugar Industry. 2017. no. 8. pp. 471–475.
- 4 Wojtczak M. et al. Changes in the content of organic acids and inorganic anions in sugar beet during long-term storage // Sugar Industry. 2016. no. 12. pp. 760–764.
- 5 Golybin V.A., Kulneva N.G., Fedoruk V.A. measures to ensure the safety of sugar beet. Sbornik докладov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy ykonferentsii «O problemah obespecheniya v sovremennyih usloviyah kolichestvennoy i kachestvennoy sohrannosti materialnyh tselestey, postavlyemyih zakladyvaemyih v gosudarstvennyy rezerv». [Collection of reports of the International scientific and practical conference "On the problems of providing quantitative and qualitative safety of material values supplied and pledged to the state reserve"]. Moscow, LLC "Halley-Print", 2011. pp. 142–152. (in Russian)
- 6 Golybin V.A. et al. Influence of different factors on the alkali-thermal decomposition of reducing substances. *Vestnik VGUIET* [Proceedings of VSUET], 2014, no. 2, pp. 153–157 (in Russian).
- 7 Zelepukin V.I. et al. Intensification of lime-carbon dioxide extract purification. *Sahar* [Sugar]. 2016. no. 1. pp. 40–43 (in Russian)
- 8 Rad M.A., Rad A.A., Shrevel' Zh. Evaluation of cleaning the juice at sugar factories. *Sakhar i svekla* [Sugar and beet]. 2015 no. 2 pp. 17–32. (in Russian)
- 9 Saponov A.R., Saponova L.A., Ermolaev S.V. Tehnologiya sahara [Technology of sugar]. Saint-Petersburg, Profession, 2013. 296 p. (in Russian).
- 10 de Bruin J.M. Search and elimination of deviations in the sugar industry: a review. *Sahar i svekla* [Sugar and beet]. 2013. no. 1. pp. 36–45. (in Russian).

INFORMATION ABOUT AUTHORS

- Vyacheslav A. Golybin** Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of fermentation and sugar industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, visg@yandex.ru
- Vladimir A. Fedoruk** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology of fermentation and sugar industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, yzas2006@yandex.ru
- Natalya A. Matvienko** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology of fermentation and sugar industries department, Voronezh state university of engineering technologies, a Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, natali25_81@mail.ru
- Viktoriya B. Romashova** student, technology of fermentation and sugar industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, viktoriy-romashova@yandex.ru

CONTRIBUTION

all authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 4.15.2018

ACCEPTED 5.14.2018