

Дозревание сока второй сатурации

Ю.И. ЗЕЛЕПУКИН, канд. техн. наук, доцент кафедры технологии броидильных и сахаристых производств

(e-mail: yura.zelepukin.57@mail.ru)

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

С.Ю. ЗЕЛЕПУКИН, инженер-технолог

ООО «Вестерос»

Введение

Производство сахара в России, по прогнозам, в сезоне 2021/22 г. достигнет около 5,40 млн т, т. е. заметен рост по сравнению с 2020/2021 г., когда было произведено 5,21 млн т с учётом сахара, выработанного из свекловичной мелассы, и сиропа, выведенного на хранение. Несмотря на резкий спад производства сахара за два последних сезона по сравнению с рекордными 7,77 млн т в сезоне 2019/20 г., Россия остаётся крупнейшим производителем свекловичного сахара в 2021/22 г. В её свеклосахарный комплекс входят около 4500 свеклосеющих хозяйств и 68 работающих в 2020 г. сахарных заводов.

Отечественная свеклосахарная отрасль в 2020 г., как и прежде, работала в условиях целенаправленной поддержки правительства. Инвестиции, направленные в обновление и модернизацию основных производственных фондов сахарных заводов, способствовали росту их мощностей и повышению эффективности выработки свекловичного сахара.

Общая загрязнённость свёклы в 2020 г. в среднем составила 6,5 % (в 2019 г. – 6,7 %). Сахаристость корнеплодов при приёмке равнялась 19,16 %, что на 1,15 % выше, чем в 2019 г. (18,01 %). Сахаристость выше среднеотраслевого показателя 19,16 % была достигнута (%): в Липецкой области – 20,85, Тамбовской – 20,71, Пензенской – 20,37, Воронежской – 19,98, Курской – 19,88, Белгородской – 19,76, Орловской области – 19,22. За календарный 2020 г. было

переработано 35,12 млн т свёклы, или на 11,24 млн т меньше уровня 2019 г. (46,36 млн т). Расход условного топлива в 2020 г. составил 3,92 %, в 2019 г. – 3,75 % к массе перерабатываемой свёклы. Лучшие показатели по расходу условного топлива – равные или ниже среднеотраслевого показателя 3,92 % достигнуты на 32 заводах. Отличные показатели по расходу условного топлива зафиксированы на Ромодановском и Заинском сахарных заводах – по 2,75 %, Успенском – 2,98 % и Колпнянском – 3,18 %.

Исходя из этих фактов, можно отметить, что на многих предприятиях отрасли имеется реальный резерв по дальнейшему сокращению расхода условного топлива на технологические нужды, что в настоящее время особенно актуально с учётом стоимости энерго-ресурсов и их возможного подорожания в перспективе.

Накипь в свеклосахарном производстве

На свеклосахарных заводах выпаривается большое количество воды, примерно равное количеству перерабатываемой свёклы. На это требуется значительное количество тепловой энергии, топлива. Экономия топлива может быть достигнута за счёт организации теплосилового хозяйства сахарных заводов, чёткого обслуживания оборудования, повышения его производительности. Одной из причин, приводящих к снижению производительности теплообменной аппаратуры, является

образование слоя отложений (накипи) на поверхности теплообмена. Формирование такого слоя накипи приводит к увеличению расхода топлива на технологические нужды. В данной статье авторы не рассматривают ряд других негативных явлений, связанных с влиянием кальциевых солей на выход сахара, мелассы и т. п., так как это требует дополнительного исследования и будет изложено в последующих материалах.

Решающее влияние на формирование накипи на свеклосахарных заводах оказывают кальциевые соли, которые имеют различное происхождение. Они формируются из органических кислот, образующихся при разложении коллоидов, из некоторых органических кислот и амидов, содержащихся в диффузионном соке, из органических кислот, полученных в результате разложения редуцирующих веществ (РВ) и на сатурациях из угольной кислоты.

Как было отмечено выше, соли кальция не только способствуют образованию накипи на поверхностях теплообмена, но и увеличивают выход мелассы, снижая тем самым выход сахара-песка. В связи с этим сегодня большое внимание уделяется осаждению и удалению кальциевых солей из соков при производстве сахара. Однако целесообразнее было бы предотвратить их образование.

Существенную помощь технологической службе завода в решении этой задачи оказало бы наличие в заводской сырьевой лаборатории современных линий по опреде-



лению качественных показателей сахарной свёклы. В настоящее время считается, что содержание ионов калия, натрия и альфа-аминного азота наряду с сахарозой и общей загрязнённостью являются важнейшими показателями, характеризующими технологическое качество сахарной свёклы [1]. Именно эти показатели определяют современные автоматизированные линии по оценке качества свёклы (Venema, Betalyser, Analyser, RE, LO и т. п.) [1]. Такие линии начинают активно устанавливаться на передовых отечественных сахарных заводах. Для полноценной оценки качества свёклы введено понятие щелочного коэффициента $K_{щ}$, представляющего собой отношение содержания суммы щелочных металлов к содержанию альфа-аминного азота. Величину $K_{щ}$ можно считать одним из важнейших критериев оценки качества свёклы. Дело в том, что содержание K^+ , Na^+ и альфа-аминного азота ($C-NH_2-N$) практически не изменяется в технологическом процессе сахарного производства. Это позволяет проводить оценку как сырья, так и получаемых из него продуктов. Также установлено, что между величиной pH сиропа и величиной $K_{щ}$ имеется определённая зависимость. Из этой зависимости следует, что во избежание падения величины pH сиропа ниже значения 8,6, при которых имеет место коррозия трубок выпарных аппаратов, величина $K_{щ}$ должна быть более 1,8. Если же величина $K_{щ}$ ниже 1,8, то при переработке такой свёклы в процессе очистки диффузионного сока следует добавлять соду или щелочь, чтобы повысить величину pH_{20} сиропа [2].

Очень важно, чтобы величина pH_{20} сока, поступающего на выпарную установку, была 9,2–9,5, т. е. близкой к оптимальной для II сатурации. Значительное падение величины pH сока может иметь место в случае переработки свёклы

с получением соков с низкой натуральной щёлочностью. Для поддержания величины pH сока на выпарной установке, при которой не происходила бы инверсия, технологи сахарных заводов вынуждены поддерживать величину pH сока II сатурации выше оптимальной, что связано с повышением солей кальция в соке II сатурации. Последнее нежелательно, так как это приводит к быстрому загоранию поверхности нагрева с вытекающими отсюда последствиями.

Более эффективным мероприятием в таких случаях является добавление (раздельное или совместное) соды и тринатрийфосфата к соку II сатурации. Этим достигается повышение pH_{20} сока II сатурации и снижение солей кальция в нём.

Применение ионообменных смол для снижения солей кальция в соке

В сахарном производстве также могут применяться ионообменные смолы:

- для деионизации, т. е. удаления солей;
- обесцвечивания;
- умягчения сока, т. е. замены ионов Ca^{2+} на Na^+ ;
- замены сильных мелассообразователей Na^+ и K^+ на Mg^{2+} (способ Квентина).

Деионизация сока II сатурации при помощи ионообменных смол, пожалуй, самый эффективный способ увеличения выхода сахара. Например, при повышении чистоты сиропа с 92 до 96 % путём деионизации сока II сатурации выход сахара может быть увеличен примерно на 1 %. Однако деионизация сока при помощи ионитов связана с рядом трудноразрешимых задач: реализацией регенерационных оттоков, потреблением большого количества солей для регенерации, расхода большого количества ионообменных смол и т. д. Как видим, данный способ требует огромных затрат, которые

не окупаются за счёт дополнительно получаемого сахара. Именно этим и объясняется, что он не получил широкого распространения в настоящее время.

Обесцвечивание проводится при помощи анионообменных смол, удаляющих анионы. При применении анионообменных смол, так же как и активных углей, чистота обработанных продуктов практически не изменяется. Улучшение же качества продуктов в этом случае происходит за счёт снижения цветности и частично – солей кальция. Сказанное выше в равной мере относится как к ионообменным смолам, так и к водорастворимым анионитам.

Умягчение сока предусматривает замену ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} на ионы Na^+ . С одной стороны, замена слабых мелассообразователей на сильные, естественно, вызовет некоторое увеличение содержания сахара в мелассе. С другой стороны, такая замена будет способствовать меньшему загоранию выпарной установки, меньшему пребыванию сока на выпарной установке, соответственно и меньшему термохимическому разложению сахарозы. Оба эти момента практически как бы компенсируют друг друга. Данный способ может привести к некоторому увеличению содержания сахара в мелассе, что, однако, не скажется на снижении выхода сахара, так как будет компенсировано за счёт меньшего термохимического разложения сахарозы [2].

Основное же назначение способа умягчения сока II сатурации заключается в обеспечении чёткой работы выпарной установки (как и завода в целом) без остановки на выварку.

Способ умягчения сока при помощи ионитов является довольно сложным, дорогостоящим. Эффективность его применения в значительной степени зависит от содержания солей кальция в соке II сатурации.

В последнее время всё более широкое распространение получает новое перспективное направление борьбы с накипеобразованием в выпарных аппаратах – применение химических реагентов (Polystabil VZ, Giltev-78, Synstabil, «Реонол 45», «Реонол 40», антيناкипин С-12, DEFOSCALE и т. д.), образующих с катионами Ca^{+2} и Mg^{+2} растворимые комплексные соединения, не выпадающие в осадок.

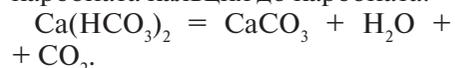
Проведение дозревания сока II сатурации

При всей приведённой выше информации в специальной литературе почему-то мало внимания уделяется такому способу умягчения сока II сатурации, как дозревание. Этот приём используют на сахарных заводах Польши, Чехии, Германии, Швеции и Венгрии при помощи специального оборудования – дозревателя.

Существует несколько гипотез, авторы которых пытаются объяснить процессы, происходящие при образовании накипи. Исходя из них, выпадение осадка на выпарной станции можно объяснить:

- во-первых, повышением концентрации всех примесей;
- во-вторых, повышением плотности раствора, вследствие чего растворимость большинства солей снижается;
- в-третьих, снижением температуры среды при переходе её к последним корпусам выпарки, что снижает растворимость большинства кальциевых солей;
- в-четвёртых, разложением на выпарке глиоксалевой и оксиминовой кислот и аллантаина с образованием оксалата кальция [3].

Кроме этого, на выпадение осадка на поверхности теплообмена влияет также соблюдение оптимального режима на II сатурации, что может привести к разложению бикарбоната кальция до карбоната:



Авторами были проведены лабораторные исследования на заводском диффузионном соке с различной чистотой по выявлению рациональных режимов проведения дозревания сока II сатурации. Сок II сатурации получали в лабораторных условиях, используя диффузионный сок Ч = 86,6 % и осуществляя очистку по типовой схеме: прогрессивная предварительная дефекация (60 °С, 10 мин, 15 % СаО от общего расхода извести на очистку, общий расход составлял 100 % к массе несахаров диффузионного сока) с возвратом суспензии сока II сатурации; тёплая основная дефекация (60 °С, 20 мин, 60 % СаО от общего расхода извести на очистку); горячая основная дефекация (85 °С, 10 мин); I сатурация (рН 11,0–11,2); фильтрация; дополнительная дефекация (85 °С, 5 мин, 25 % СаО от общего расхода извести на очистку); II сатурация (рН 9,0–9,5) – схема № 2. Очистка диффузионного сока по схеме № 1 исключала проведение дополнительной дефекации перед II сатурацией [4].

Дополнительная дефекация перед II сатурацией положительно сказывается на снижении начальных величин содержания солей кальция на 10,5 % и цветности сока II сатурации на 15,2 % по сравнению со схемой без дополнительной дефекации. Результаты исследований приведены в табл. 1.

В схеме № 1 на II сатурации происходит образование карбоната кальция, причём из-за небольшого перепада по щёлочности, по всей

видимости, осадок имеет мелкую структуру. В процессе дозревания частицы такого осадка способны сокристаллизовываться, при этом происходит укрупнение частиц осадка. Однако процесс сокристаллизации сопровождается также частичной потерей карбонатом кальция противоионов, которыми являются красящие вещества и другие группы несахаров, т. е. эти несахара переходят в раствор. Подтверждением этого является повышение цветности при дозревании сока, полученного по схеме № 1.

В случае проведения дополнительной дефекации на II сатурацию поступает сок с избытком извести. В ходе сатурации образуется достаточно много осадка карбоната кальция. Можно предположить, что фракции осадка довольно неоднородны по размерам. При дозревании происходит растворение очень мелких кристаллов с повторной кристаллизацией карбоната кальция на более крупных частицах. Наличие в соке мицелл карбоната кальция, обладающих большой адсорбционной активностью, способствует интенсивной адсорбции на них красящих веществ, которые затем включаются в кристаллы карбоната кальция и выводятся из сока с осадком. Вследствие этого цветность сока снижается, что и подтверждается экспериментально (схема № 2).

Анализируя данные, полученные в ходе эксперимента, мы видим, что увеличение цветности сока, полученного по схеме № 2,

Таблица 1. Влияние дополнительной дефекации перед II сатурацией на качество сока при дозревании

Длительность дозревания, мин	Схема № 1		Схема № 2	
	Цветность, усл. ед. на 100 СВ	Соли кальция, % на 100 СВ	Цветность, усл. ед. на 100 СВ	Соли кальция, % на 100 СВ
0	34,3	0,732	29,1	0,655
10	35,1	0,697	24,3	0,678
20	37,4	0,705	27,0	0,681
30	39,1	0,702	29,4	0,690
40	45,8	0,706	30,4	0,693

заметно лишь после 20 минут дозревания, в то время как в соке, полученном по схеме № 1, она увеличивается в конечном итоге на 33,5 %. Наблюдается незначительное снижение концентрации солей кальция в процессе дозревания сока II сатурации, полученном по схеме № 1, примерно на 4 % и их увеличение в соке, полученном по схеме № 2, – на 6 %.

Для сравнения были проведены опыты с диффузионным соком хорошего качества: Ч = 88,2 %; содержание редуцирующих веществ 0,97 % на 100 СВ; натуральная щёлочность 0,015 % СаО.

Опытные данные, приведённые в табл. 2, свидетельствуют о снижении содержания солей кальция в процессе дозревания соков, полученных по схемам № 1 (Ч = 86,0 %) и № 2 (Ч = 88,8 %).

Прирост цветности сока, полученного по схеме № 1, за 40 минут составил 40,6 %, по схеме № 2 цветность практически не изменилась.

Таким образом, при переработке свёклы хорошего технологического качества с положительной натуральной щёлочностью дозревание сока II сатурации целесообразно. При этом содержание солей кальция снижается на 19 %; цветность сока, полученного по схеме № 2, практически не увеличивается, а после 40 минут дозревания становится на 43,5 % меньше, чем у сока, полученного по схеме № 1 без дополнительной дефекации.

Исследовался вопрос о выявлении влияния осадка сока II сатурации на эффективность проведения процесса дозревания. Нарастание цветности сока II сатурации при отделении осадка перед дозреванием составило около 50 %. В присутствии осадка нарастание цветности сока II сатурации при дозревании, полученного по схеме № 1, составляло обычно 27–36 %. По-видимому, отсутствие осадка приводит к тому, что при высокой температуре процесса дозревания

продукты распада ряда нес сахаров, а также сахарозы, не имея возможности адсорбироваться на частицах осадка карбоната кальция из-за почти полного его отсутствия, повышают в конечном итоге цветность раствора. Кроме того, часть из них, соединяясь с ионом кальция, дают растворимые соли, тем самым увеличивая их содержание в соке. Таким образом, с учётом изменения цветности и содержания солей кальция подтверждается целесообразность проведения дозревания сока в присутствии осадка.

Изучено также влияние температуры на изменение показателей сока при дозревании. При повышенной температуре дозревания цветность сока возрастает: по схеме № 1 (95 °С) – на 29,4 %, по схеме № 2 (85 °С) – на 10 % (табл. 3). Нарастание цветности можно объяснить негативным влиянием высокой температуры на сахарозу и нес сахара, продукты распада которых дают красящие вещества. Таким образом, повышенная температура дозревания (более 85 °С) нецелесообразна, поскольку приводит к ускорению реакций распада нес сахаров, что повышает цветность, а также к распаду сахарозы –

увеличиваются её неучтённые потери.

Были проведены эксперименты по ведению процесса дозревания при различной степени перемешивания. Исследовательские работы выполнены на диффузионном соке Ч = 87,1 %.

Интенсивность перемешивания оказывает определённое влияние на цветность и содержание солей кальция сока в процессе дозревания (табл. 4). Так, при дозревании сока без перемешивания наблюдается нарастание цветности. В данном случае снижается доступ нес сахаров, в частности красящих веществ, к адсорбционной поверхности осадка, так как в процессе адсорбции участвует в основном только верхний слой осадка, контактирующий с соком. За счёт разложения некоторого количества нес сахаров, а также сахарозы при высокой температуре происходит нарастание цветности и содержания солей кальция.

При умеренном перемешивании (частота 60 мин⁻¹) цветность сока в процессе дозревания почти не меняется. Содержание солей кальция через 30 минут также остаются почти на том же уровне. Более интенсивное перемешивание (600 мин⁻¹)

Таблица 2. Влияние дополнительной дефекации на дозревание сока

Длительность дозревания, мин	Схема № 1		Схема № 2	
	Цветность, усл. ед. на 100 СВ	Соли кальция, % на 100 СВ	Цветность, усл. ед. на 100 СВ	Соли кальция, % на 100 СВ
0	22,4	0,262	18,4	0,235
10	24,9	0,244	18,4	0,215
20	28,0	0,235	18,2	0,194
30	30,1	0,241	18,0	0,187
40	31,5	0,251	17,8	0,189

Таблица 3. Влияние температуры дозревания на качество очищенного сока

Длительность дозревания, мин	Схема № 1		Схема № 2	
	Цветность, усл. ед. на 100 СВ	Соли кальция, % на 100 СВ	Цветность, усл. ед. на 100 СВ	Соли кальция, % на 100 СВ
0	47,1	0,902	36,4	0,852
10	42,8	0,861	35,1	0,881
20	44,1	0,852	37,4	0,878
30	47,3	0,859	38,8	0,858
40	54,0	0,868	40,0	0,857

Таблица 4. Влияние интенсивности перемешивания сока в процессе дозревания на его качество

Длительность дозревания, мин	Частота 0 мин ⁻¹		Частота 60 мин ⁻¹		Частота 600 мин ⁻¹		Частота 1000 мин ⁻¹		Частота 1500 мин ⁻¹	
	Цветность, усл. ед. на 100 СВ	Соли кальция, % на 100 СВ	Цветность, усл. ед. на 100 СВ	Соли кальция, % на 100 СВ	Цветность, усл. ед. на 100 СВ	Соли кальция, % на 100 СВ	Цветность, усл. ед. на 100 СВ	Соли кальция, % на 100 СВ	Цветность, усл. ед. на 100 СВ	Соли кальция, % на 100 СВ
0	27,6	0,786	27,6	0,768	27,6	0,768	27,6	0,768	27,6	0,768
10	28,5	0,793	27,1	0,836	25,0	0,816	28,3	0,849	30,6	0,872
20	30,2	0,812	26,6	0,771	23,2	0,759	29,8	0,784	30,9	0,811
30	31,0	0,800	26,4	0,762	22,4	0,732	30,4	0,770	31,8	0,808

приводит к уменьшению цветности сока в процессе дозревания на 11 % по отношению к начальной цветности. Содержание солей кальция также снижается на 4 %. Таким образом, в данном случае возможность доступа к адсорбционной поверхности значительно лучше, чем в предыдущих опытах. Дальнейшее увеличение частоты вращения мешалки (до 1000, 1500 мин⁻¹) приводит к нарастанию цветности и содержания солей кальция в соке, которое можно объяснить механическим воздействием на структуру осадка. Происходит растворение мелких кристаллов карбоната кальция, что повышает содержание солей кальция в соке. При этом наблюдается и частичный переход красящих веществ в сок. Кроме того, при сильном перемешивании происходит интенсивное взаимодействие кислорода воздуха с обрабатываемым раствором, что также увеличивает нарастание цветности.

Выводы

Из полученных результатов осуществлённого авторами эксперимента можно сделать вывод, что при переработке свёклы пониженного технологического качества проведение дозревания сока II сатурации без дополнительных мероприятий нецелесообразно. В связи с этим были поставлены эксперименты по поиску вариантов проведения дозревания при переработке свёклы пониженного качества. Результаты исследова-

ния будут изложены в последующих статьях.

Эффективность процесса дозревания отмечается при переработке диффузионного сока нормального качества, чистотой не менее 88 %. Процесс дозревания сока II сатурации необходимо проводить без отделения осадка, при температуре 85–86 °С, в течение 25–30 мин при частоте вращения перемешивающего устройства 600 мин⁻¹, что соответствует числу Рейнольдса 55.

Список литературы

1. Методы оценки технологических качеств сахарной свёклы с использованием показателей содержания калия, натрия и альфа-аминного

азота, определённых в свёкле и продуктах её переработки / В.Н. Кухар, А.П. Чернявский, Л.И. Чернявская, Ю.А. Моканюк // Сахар. – № 1. – 2019. – С. 18–36.

2. Бугаенко, И.Ф. Анализ потерь сахара в сахарном производстве и пути их снижения / И.Ф. Бугаенко. – Курск : АП «Курск», 1994. – 128 с.

3. Накипеобразование в сахарном производстве (монография) / В.А. Голыбин, Ю.И. Зелепукин, В.А. Федорук, А.А. Ткачёв. – Воронеж : ВГУИТ, 2012. – 168 с.

4. Голыбин, В.А. О целесообразности выдержки сока II сатурации / В.А. Голыбин, Ю.И. Зелепукин // Сахарная промышленность. – 1985. – № 9. – С. 33–35.

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы по снижению содержания солей кальция в соке II сатурации в процессе его дозревания. В итоге исследования дозревания сока II сатурации было определено влияние основных факторов (длительность, наличие осадка, температура, интенсивность перемешивания) на протекание этого процесса. Были найдены основные параметры, позволяющие существенно понизить содержание солей кальция в соке.

Основные рекомендации для промышленности по проведению дозревания сока II сатурации включают в себя следующее: длительность процесс должна составлять 25–30 мин при температуре 84–86 °С. Дозревание необходимо проводить до отделения от сока осадка, а интенсивность перемешивания должна поддерживать в аппарате турбулентный режим, при котором коэффициент Рейнольдса был бы не ниже 55.

Ключевые слова: соли кальция, дозревание, длительность, температура, интенсивность перемешивания.

Summary. The article discusses the issues of reducing the content of calcium salts in juice II saturation during the process of its maturation.

In the process of studying the ripening of the juice of the second saturation, the influence of the main factors (duration, presence of sediment, temperature, mixing intensity) on the conduct of this process was determined. The main parameters were found to significantly reduce the content of calcium salts in the juice.

The main recommendations for the industry for the maturation of juice II saturation include the following: the duration of the process should be 25–30 minutes at a temperature of 84–86 °C. Maturation must be carried out before the sediment is separated from the juice, and the mixing intensity must maintain a turbulent regime in the apparatus at which the Reynolds coefficient would be at least 55.

Keywords: calcium salts, ripening, duration, temperature, mixing intensity.

