

Снижение потерь массы и сахарозы — резерв повышения эффективности свеклосахарного производства

В.Н. КУХАР

А.П. ЧЕРНЯВСКИЙ

ООО «КОМПАНИЯ «ТМА»

Л.И. ЧЕРНЯВСКАЯ, д-р техн. наук (e-mail: li_ch@ukr.net)

Ю.А. МОКАНЮК

ИПР НААН Украины

Введение

Проблема повышения технологических качеств сахарной свёклы при выращивании и максимальной сохранности их от уборки до переработки является весьма актуальной. Широко применяемая в свекловичном производстве новая технология возделывания сахарной свёклы, включая использование гибридов последнего поколения, комплексную механизацию уборочных и погрузочно-транспортных работ, наличие высокопроизводительной техники, является большим достижением сельскохозяйственной науки и практики. Она позволила почти полностью ликвидировать тяжёлый физический труд в свекловодстве, расширить посевные площади, сократить материальные и финансовые затраты при выращивании и уборке, повысить экономическую эффективность свекловичного производства [12, 13, 15, 17–19].

Однако при высоком техническом уровне механизированного выращивания, уборки, погрузки и транспортировки до сахарного завода возникли некоторые особенности физического состояния и технологических качеств сырья, оказывающие существенное влияние на ход его хранения и эффективность переработки [1–4, 8].

Состояние вопроса о современном уровне технологических качеств сахарной свёклы в отрасли

Как установлено многолетними наблюдениями научных учреждений, публикациями в специализированных изданиях, отечественной и зарубежной периодике, отмечается ухудшение технологических качеств сахарной свёклы, убираемой механизированными способами и поставляемой на перерабатывающие предприятия [2, 6]:

– значительная загрязнённость свёклы землёй, зелёной массой (ботва, черешки листьев) и другими балластными примесями [4];

– сильные ранения, повреждения и деформация свекловичных корнеплодов при механизированных операциях по их уборке и погрузке в транспортные средства, по разгрузке с помощью свеклоукладочных машин или непосредственно в бурчаные [2, 4, 8].

Перечисленные выше особенности свекловичного сырья механизированной уборки обусловили следующие процессы при его хранении: ослабление природной устойчивости; интенсификацию микробиологических поражений; повышенную активность гидролитических процессов; прорастание корнеплодов и усиление дыхания, что неизбежно связано с увеличением потерь сахарозы;

более интенсивное снижение важнейших показателей технологических качеств свёклы, в частности увеличение содержания редуцирующих веществ, вредного азота и коллоидов, уменьшение натуральной щёлочности сока I сатурации, снижение чистоты очищенного сока и его термоустойчивости на выпарной станции и др. [10, 11, 14]. В результате переработки такого сырья неизбежно снижение технико-экономических показателей сахарных заводов: потери сахара в мелассе увеличиваются на 0,4–0,5 % к массе свёклы, выход сахарозы снижается, увеличиваются также неучтённые потери сахарозы от приёмки сырья до получения готовой продукции [9].

Методика расшифровки потерь сахарозы в производстве

На участке от выкапывания свёклы из земли, приёмки сырья и до передачи в переработку потери сахара обусловлены процессами дыхания, протеканием фитопатологических и микробиологических процессов. Именно здесь происходит значительное травмирование корнеплодов, дробление их на куски разного размера. Эти куски, обломки, хвостики свекломассы, попадая в воду, используемую для транспортирования на переработку, теряют большое количество сахарозы, переходящей в транспор-

тёрно-мочную воду. Далее травмирование корнеплодов происходит при погрузочно-разгрузочных операциях, в гидротранспортёрах, при использовании насосов, поднимающих их с нижнего на верхний транспортёры, при прохождении через механизмы, установленные на тракте подачи, через мойки (барабанные, кулачковые и ролико-форсуночные), водоотделители и пр. В результате в каждом корнеплоде образуются большие поверхности, не покрытые кожей, и ещё отсутствуют суберинизированные клетки, образующиеся при заживлении поверхностей в начальный период хранения [15].

Методики определения потерь массы и сахарозы изложены в Инструкции по химико-техническому контролю и учёту производства [5]. Они основаны как на прямых поляриметрических определениях сахарозы (например, в транспортёрно-мочной воде), так и на определении продуктов распада сахарозы — редуцирующих веществ и кислотных радикалов в технологических продуктах сахарного производства. Содержание редуцирующих веществ определяли методом Мюллера, количество кислотных радикалов — титрованием 0,1 н раствором NaOH элюатов этих же продуктов, пропущенных через катионит КУ-2, которым были заряжены ионообменные колонки [5].

В следующих разделах нашей публикации будут освещены потери массы и сахарозы на различных участках от уборки до переработки и получения готовой продукции.

Потери массы и сахара в поле при уборке

По результатам международных испытаний в Европе десяти основных типов свеклоуборочных машин в ворохе получено корнеплодов: с нормальным срезом от 68,5 до 89,4 %; низким срезом и скошенной обрезкой — от 0,9 до

14,4 %; высоким срезом и наличием ботвы более 2 см — 3,8–16,7 %; менее 2 см — 4,4–10,1 %. Как видно из представленных данных, убранная свёкла ещё в ворохе характеризуется как открытой поверхностью (низкий срез и скошенная поверхность), так и большим количеством связанных примесей. Потери свекломассы в земле составляют от 8 до 22 %; бой, обломки, хвостики — 1,6–3,2 % к массе свёклы. По итогам этих испытаний, исходя из европейских расчётов с учётом урожайности 95 т/га, потери сахарозы на 1 га (при среднем уровне сахаристости свёклы 16 %) составляют от 1,2 до 3,3 т за счёт потерь в земле и 0,34 т — за счёт обломков, хвостиков и боя [22].

В целях снижения безвозвратных потерь массы и сахарозы, а также для улучшения качества свёклы при уборке современными ботво- и корнеуборочными комплексами следует уделять внимание качеству обработки поля, равномерности плантации, качеству семян и равномерной густоте насаждений [2].

Хранение свёклы в полевых кагатах и на призаводском свеклопункте

В соответствии с агротехническими требованиями к работе свеклоуборочных машин количество сильно повреждённых корнеплодов не должно превышать 5 % при поточном и 8 % при перевалочном способах уборки [15]. Каждая погрузка, разгрузка, перевалка добавляет к вороху свёклы по 4 % сильно механических повреждённых корнеплодов [1, 4]. Многолетними исследованиями в производственных условиях подтверждено, что свёкла в кагатах на призаводском свеклопункте имеет в среднем от 19 до 25 % корнеплодов с сильными механическими повреждениями. В нашем специальном исследовании [15] кагат, в котором корнеплоды были

уложены после двойной перегрузки, имел по всему объёму содержание сильно повреждённых корнеплодов более 35 %.

Свёкла, которая попадает из кагата в бурачную или гидротранспортёр перед подачей на переработку, характеризуются большим количеством механических повреждений, которые наносятся при механизированной уборке, погрузке, укладке в кагаты, погрузке и разгрузке с автомашин и вагонов. В этой же свекловодной массе находится огромное количество обломков, хвостиков, головок, имеющих большие открытые поверхности, с которых вымывается сахар в транспортёрно-мочную воду. При гидротранспортировании и мойке корнеплода с его повреждённых поверхностей и разбитых частей сахароза переходит в воду [9, 15].

На этом участке потери обусловлены в основном:

- потерями массы и сахарозы при краткосрочном хранении свёклы в кагатах, на сплавных площадках и в бурачных за счёт интенсификации дыхания корнеплодов и развития фитопатологических и микробиологических процессов;

- потерями массы и сахарозы в отходах механизмов, установленных на тракте подачи после улавливания и возврата в производство товарной свекломассы;

- потерями боя, хвостиков и сахарозы, которая вымывается из них в транспортёрно-мочную воду.

Тракт подачи и моечное отделение. Потери сахарозы в транспортёрно-мочной воде

По мнению финских учёных, потери сахарозы в транспортёрно-мочной воде в значительной степени зависят от погодных условий и степени повреждения свёклы [15, 20]. На сахарных заводах Финляндии они колеблются от

0,12 до 0,4 % к массе свёклы. Были также проведены исследования по расшифровке учтённых и неучтённых потерь на этом участке. Установлено, что общие потери составляют 0,59 % к массе свёклы, потери сахара при хранении в кагатах – 19 %, за счёт мелкого боя – 19,2 %, в транспортёрно-моечной воде – 37,1%, неучтённые потери – 24,7 %.

По данным немецких исследователей, потери сахарозы при подаче свёклы гидротранспортёром в суммарном выражении колеблются от 0,02 до 0,5 % к массе свёклы для нормальной свёклы и до 1% для свёклы мороженой. Ими было доказано, что на степень вымывания сахара из свёклы влияют следующие факторы: способ подачи на завод, высота падения при загрузке бурчаных, погодные условия, степень зрелости корнеплодов, степень повреждения при уборке, погрузке, разгрузке и длительность их хранения [20].

Согласно исследованиям Уленброка, потери сахарозы в транспортёрно-моечной воде составляют: у неповреждённых корнеплодов – 0,08 %; повреждённой поверхностью – 0,12 %; битых корнеплодов – 0,25 % к массе свёклы. При увеличении высоты падения корнеплодов от 1 до 6 м потери сахарозы увеличиваются в 10 раз, при этом свежая свёкла повреждается больше, чем хранившаяся. В транспортёрно-моечной воде хранившаяся свёкла теряет приблизительно в два раза меньше сахарозы, чем свежая [20]. Вымытая из корнеплодов сахароза разлагается с образованием различных продуктов, в том числе кислот.

Нами были проведены исследования определения потерь сахарозы в транспортёрно-моечной воде. В зависимости от оснащённости моечного отделения вся транспортёрно-моечная вода попадает или на фильтр, или в уловитель типа

Майя, с него – на классификатор товарной свекломассы. Последняя направлялась в переработку с общим потоком свёклы. Общее количество боя, не попадающее в завод, составляло в среднем от 0,5 до 3,0 % к массе переработанной свёклы. Сахаристость массы боя была 12 %, тогда как основной поток свёклы характеризовался сахаристостью 16–16,5 %. Количество боя размером меньше 1 см, попадающего в жом, составляло в среднем 0,22 % к массе переработанной свёклы, содержание сахарозы в нём – 3,5–5 %. Таким образом, свекловичный бой и хвостики, направляемые на корм животным и на поля фильтрации, содержат сахарозы значительно меньше, чем отдельные части корнеплода. Следовательно, остаток сахарозы переходит в транспортёрно-моечную воду при нахождении в ней свёклы, её обломков и боя.

По многочисленным данным исследователей, общее количество боя в виде обломков, хвостиков, головок, кусков и частей корнеплодов составляет 5–6 % к массе переработанной свёклы. Очень важно правильно выполнить классификацию этого боя, чтобы отсортировать товарную свекломассу и подать её на переработку. Товарная свекломасса, количество которой примерно 3 % к массе переработанной свёклы, идёт в производство с общим потоком корнеплодов. Часть мелкого боя (сколы, хвостики, обломки головок) размером до 10 мм, количество которого 1,2–2 %, имеющая сахаристость от 3,5 до 6 %, направляется на корм скоту. Расчёт показывает, что из-за этого теряется 0,06–0,095 % сахара к массе переработанной свёклы.

Мы определяли также потери массы свёклы, уходящей с водой на поля фильтрации, путём отбора и процеживания воды через тканевый фильтр. Установлено, что в среднем в 10 л транспортёр-

но-моечной воды содержится 20 г свекловичного боя, в 1 м³ – 2000 г боя. Содержание сахарозы в нём составляло 1,54 % к его массе. За сутки для восьмитысячного завода содержание очень мелкого боя в виде мезги будет составлять 128 т. Для завода производительностью 8 тыс. т свёклы в сутки количество выводимого осадка после отстойников составляет около 20 % к массе транспортёрно-моечной воды. Выводимый осадок и содержит унесённую водой свекловичную мезгу. По расчёту видно, что с уносимой мезгой теряется 0,02 % к массе свёклы сахара.

Эти данные были получены нами на заводе, практикующем обычную схему приёмки, хранения и подачи в переработку свёклы с помощью насоса. Зарубежные и отечественные исследователи отмечают, что именно свекловичные насосы являются источником основного дробления корнеплодов свёклы [21]. Сахарные заводы Западной Европы для уменьшения травмирования корнеплодов, снижения потерь сахарозы в транспортёрно-моечной воде, уменьшения количества транспортёрно-моечной воды в обороте используют так называемую сухую подачу. Данное техническое решение на этом участке предполагает приёмку свёклы с нескольких автомобилей на сборочный транспортёр, расположенный в приямке. Механизмами свёкла подаётся в верхний лоток гидротранспортёра, далее проходит механизмы для улавливания лёгких и тяжёлых примесей, затем попадает в моечное отделение. «Сухая» подача как раз исключает использование свеклонасосов, заменяя их ленточными транспортёрами.

Время нахождения свёклы в гидротранспортёрах до моечного отделения зависит от системы размещения кагатов на при заводском свеклопункте и длины гидротранспортёров и может составлять от 5 до 20 мин, а длительность её на-

Таблица 1. Показатели качества транспортёрно-моечной воды в зависимости от длительности сезона

Показатель	Длительность производства, сут				
	10	16	18	28	60
pH ₂₀	11,1	9,8	10,3	9,6	8,0
Количество прореагировавшего 0,1 н раствора NaOH	1,5	2,8	3,1	3,5	3,5
Навеска сока, г	20	20	20	20	10
Эквивалентное количество кислотных радикалов, мг-экв/100 г воды	0,7575	1,4140	1,5655	1,7675	3,5350
Количество молочной кислоты, мг/100 г воды	68,175	127,26	140,895	159,075	318,15
Потери сахарозы, мг/100 г воды	94,69	176,75	195,69	220,94	441,88
Потери сахарозы, % к массе воды	0,095	0,177	0,196	0,221	0,442

хождения в оборудовании, установленном на верхнем лотке для удаления лёгких и тяжёлых примесей, мойках (барабанной, кулачковой и ролико-форсуночной) — от 8 до 12 мин. На сахарных заводах стран СНГ рекомендуется ежегодно фиксировать эту длительность и оформлять актом. Данные сведения используются для расчёта количества прилипшей и впитанной корнеплодами влаги и обоснования разницы в сахаристости принятой свёклы и поступившей на переработку.

Следует отметить, что свёкла особенно повреждается в случаях, когда используются свекловичные насосы. Гидроподача свёклы повсеместно используется на сахарных заводах. Недостатком этого

способа являются высокие потери сахара в транспортёрно-моечной воде и расходы на её очистку, что обусловлено повреждением сырья и длительным его пребыванием в гидротранспортёре и мойке. По опубликованным данным, потери сахара на этой стадии составляют от 0,3 до 0,5 % и более [21]. Стоимость такого способа подъёма выше, чем способа сухой подачи, удельный расход энергии при использовании гидравлического транспорта составляет 3,5 кВт·ч/т свёклы, для схемы сухой подачи он уменьшается до 2,2 кВт·ч/т свёклы, т. е. на 63 % [21].

Потери сахарозы в транспортёрно-моечной воде обусловлены тем, что процесс перехода сахарозы из клеток свёклы начи-

нается уже в лотке гидротранспортёра и протекает тем интенсивнее, чем больше количество механически повреждённых корнеплодов. Вымытая из корнеплодов свёклы сахароза разлагается с образованием различных продуктов, в том числе кислот.

Результаты изменений показателей качества транспортёрно-моечной воды приведены в табл. 1.

Было установлено, что потери сахарозы в транспортёрно-моечной воде вследствие её разложения возрастают при увеличении длительности производственного сезона и на 60-е сутки работы завода составляют 0,442 % к массе транспортёрно-моечной воды, что вполне согласовывается с данными других исследователей [20].

В табл. 2 приведены результаты математической обработки экспериментальных и расчётных данных, а на рис. 1 представлена зависимость содержания суммы кислот в транспортёрно-моечной воде от длительности производственного сезона. Коэффициент корреляции r между полученными и расчётными данными составляет 0,9867.

Образующиеся кислоты практически не удаляются при отставивании транспортёрно-моечной воды. Очень малая их часть при добавлении извести даёт нерастворимые соли кальция и выпадает в осадок, большая часть накапливается в циркулируемой воде, вызывая снижение её pH.

Таблица 2. Результаты математической обработки экспериментальных данных количества органических кислот в транспортёрно-моечной воде в зависимости от длительности сезона производства

Коэффициент корреляции r	Критерий достоверности коэффициента корреляции t_r	Ошибка коэффициента корреляции m_r	Среднеквадратическое отклонение		Ошибка коэффициента регрессии		Уравнение регрессии*
			σ_x	σ_y	$m_{b_{y/x}}$	$m_{b_{x/y}}$	
0,9867	10,51785	0,0152	19,87	93,33	0,02	0,441	$Y = 24,58983 + 5,045917 \cdot X$

* X — длительность производства, сут; Y — содержание органических кислот, мг/100 г воды.

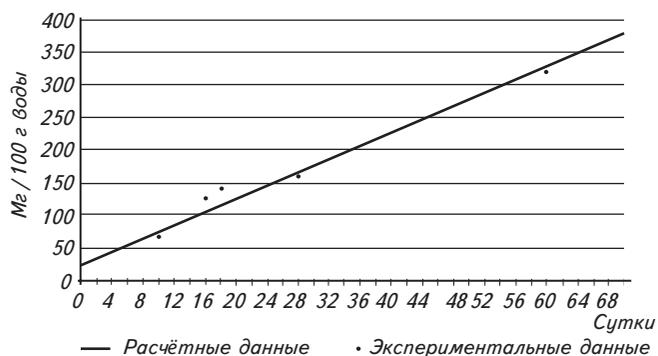


Рис. 1. Изменение содержания суммы кислот в транспортёрно-мочной воде в зависимости от длительности производственного сезона

Транспортёрно-мочная вода вследствие различных причин сильно пенится. Пена является источником вторичного микробиологического загрязнения воды и территории. Нами были испытаны различные пеногасители, благодаря которым процесс пенообразования значительно угнетается. Так, при использовании пеногасителя Talox VT пена почти не образуется, а если и образуется (при низких расходах пеногасителя), то за 1–2 мин полностью исчезает. Пеногаситель Суанатер Р70 за 5 мин убирает от 78 до 100 % пены при расходе препарата от 0,0025 до 0,05 %.

Необходимо поддерживать возможно низкую температуру транспортёрно-мочной воды, применяя для этого башенные или бассейновые охладители, проводить периодическое её хлорирование. Для ополаскивания свёклы после мойки использовать чистую воду, после чего поверхность корнеплодов обязательно обрабатывать антисептиком. В качестве чистой воды целесообразно использовать охлаждённые аммиачные конденсаты.

Для снижения потерь сахарозы в транспортёрно-мочной воде следует снизить количество механически повреждённых корнеплодов путём усовершенствования техники для возделывания, уборки

сахарной свёклы, укладки её на хранение и подачи на переработку, конструкции свеклонасосов, переход на «сухую» подачу свёклы.

Целесообразно подавать в бурачную свёклу, только прошедшую хранение, т. е. которая частично потеряла свой тургор и будет меньше биться при загрузке и гидротранспортировке в завод. Желательно также боковые поверхности бурачной или приёмного жёлоба покрыть листовой резиной (по зарубежному опыту и опыту отдельных отечественных предприятий).

Необходимо поддерживать оптимальные значения pH и температуры транспортёрно-мочной воды. Для улучшения отстаивания воды и интенсификации этого процесса целесообразно применять эффективные коагулянты и флокулянты. Было установлено, что все марки рекомендуемых флокулянтов значительно интенсифицируют процесс отстаивания и повышают его эффективность при незначительных расходах ($7,5 \cdot 10^{-5}$ – $1 \cdot 10^{-4}$ % к массе воды).

По данным, приведённым в источнике [21], потери сахарозы в мочных отделениях обусловлены типом установленной в них мойки. Кулачковые мойки, применяемые там, где требуется тщательное отмывание от прилипшей земли, дают потери сахара от 0,08 до 0,15 % к массе свёклы. Барабанные мойки, используемые в регионах с легко отмываемыми почвами, обуславливают потери сахара 0,04–0,06 % к массе свёклы. Ролико-форсуночные мойки, устанавливаемые для окончательного удаления примесей с помощью

мощных струй воды давлением 10–15 бар с расходом $0,5 \text{ м}^3$ воды на 1 т свёклы, дают потери сахара 0,026–0,030 % к массе свёклы.

Потери сахарозы от деятельности микроорганизмов

Деятельность микроорганизмов может происходить в результате их проникновения из системы транспортёрно-мочных вод в диффузионные установки, что приводит к потерям сахара или повышенному расходу антисептиков [14, 15].

Иногда для увеличения скорости седиментации используют флокулянты и вспомогательные специальные реагенты для отстаивания. Эти соединения должны быть безопасны с экологической точки зрения и разрешены для использования в сахарной промышленности.

Транспортёрно-мочная вода сахарного производства является источником значительных потерь сахарозы, величина которых зависит от ряда факторов: температуры и pH воды, продолжительности пребывания корнеплодов в воде, степени их повреждения. Кроме того, загрязнённая транспортёрно-мочная вода является одним из главных источников поступления микроорганизмов на производство и, вследствие их размножения и процессов метаболизма, значительных неучтённых потерь сахарозы при её экстрагировании (0,15–0,67 % к массе свёклы). Транспортёрно-мочная вода в результате многократной циркуляции, особенно в отсутствие подщелачивания, находится в состоянии частичного брожения, вызываемого микроорганизмами при наличии сахара.

Транспортёрно-мочная вода в значительной мере обсеменена микроорганизмами, количество которых зависит от ряда факторов: способа очистки воды, температуры окружающей среды и погодных условий, степени исходной

инфицированности свёклы, содержания сахарозы и органических веществ в воде, режима работы очистных сооружений и др. [7]. Исследования в разных странах и в разные годы показали, что ориентировочное содержание микроорганизмов в 1 см³ транспортёрно-моечной воды сильно варьирует, это может быть связано со способами уборки, переработки и подачи сырья, очистки транспортёрно-моечной воды и другими факторами. В 2001 г. были получены такие величины микробиологической обсеменённости 1 см³ транспортёрно-моечной воды: термофилы – $1,56 \cdot 10^4$ – $1,3 \cdot 10^5$ КОЕ (колониеобразующих единиц), мезофилы – $1,82 \cdot 10^3$ – $1,1 \cdot 10^4$, плесневые грибы – $2 \cdot 10^3$ – $1 \cdot 10^4$ КОЕ. Согласно данным Вайды, вода, которая поступает на мойку, содержит $1 \cdot 10^8$ – $1 \cdot 10^9$ КОЕ мезофильных и $1 \cdot 10^4$ – $1 \cdot 10^5$ КОЕ термофильных микроорганизмов. По данным других учёных, в 1 см³ транспортёрно-моечной воды может содержаться от $4 \cdot 10^8$ до нескольких миллиардов спор микроорганизмов [7, 15].

Свёкла, обсеменённая микроорганизмами, поступает на производство, и поэтому значительное внимание стоит уделять тщательному отмыванию её от земли, растительных примесей, ополаскиванию чистой водой после мойки и тщательной дезинфекции поверхности после ополаскивания. Если этой проблеме не уделять достаточного внимания, сахарный завод будет иметь значительные неучтённые потери сахарозы в диффузионном отделении. Поскольку на поверхности корнеплодов находится значительное количество микроорганизмов, при недостаточном их обеззараживании в бункерах перед свеклорезками происходит интенсивный рост микроорганизмов на стенках бункера и поверхности свёклы. Даже если в бункер попадает продезинфицированная

свёкла, происходит вторичное заражение её микроорганизмами. При получении свекловичной стружки микроорганизмы с поверхности корнеплода переходят на поверхность стружки и, попадая в диффузионный аппарат, в благоприятных условиях начинают расти, вызывая разложение сахарозы и образование кислот. Продукты распада сахарозы (органические кислоты и редуцирующие вещества), а также продукты метаболизма некоторых микроорганизмов, которые образуют полисахариды декстран и леван, затрудняют течение дальнейших технологических процессов и увеличивают содержание сахара в мелассе.

В транспортёрно-моечной воде свеклосахарного производства содержатся следующие микроорганизмы: *Bacillus subtilis*, *Bacillus mesentericus*, *Leuconostoc*, *Lactobacterium*, *Saccharomyces*, *Bacillus stearothermophilus*, *Clostridium*. Рассмотрим факторы их вредоносного действия в технологическом процессе.

Bacillus subtilis и *Bacillus mesentericus* образуют споры, которые сохраняются в полупродуктах на протяжении всего технологического процесса и могут встречаться даже в сахаре-песке. *Bacillus subtilis* образует из сахарозы полисахарид леван, который затрудняет фильтрование соков.

Бактерии рода *Leuconostoc* – очень опасный вредитель сахарного производства, который вместе с транспортёрно-моечной водой попадает на свёклу и далее в сахарных растворах образует слизистую капсулу, состоящую из декстрана. При этом сок становится вязким, малоподвижным, значительно ухудшается его фильтрация, вплоть до её прекращения.

Молочнокислые бактерии рода *Lactobacterium* разлагают сахарозу, которая содержится в растворе, до молочной кислоты с выделением газов. Газы являются одной

из причин пенообразования сока, а образовавшиеся кислоты снижают рН продукта.

Дрожжевые грибы рода *Saccharomyces* вызывают спиртовое брожение с выделением спирта и газа, которое приводит к потерям сахара и скоплению углекислого газа.

Термофильные бактерии *Bacillus stearothermophilus* опасны тем, что выдерживают высокие температуры (до 120 °С). Биохимически они весьма активны – вызывают существенные изменения в среде обитания за короткий промежуток времени и образуют до 90 % молочной кислоты от количества сброживаемого сахара.

Маслянокислые бактерии рода *Clostridium* приводят к очень резкому закислению среды [7, 15]. В результате такого брожения образуются масляная кислота, бутанол, ацетон, изопропанол, этанол, уксусная кислота, углекислый газ и водород.

При высокой загрязнённости транспортёрно-моечная вода может быть опасным очагом инфицирования свёклы, а следовательно, и свекловичной стружки.

Нами были исследованы изменения микробиальной загрязнённости транспортёрно-моечной воды и определены потери сахарозы вследствие её разложения в течение всего производственного сезона.

Объектом исследования была транспортёрно-моечная вода, которая отбиралась из лотка гидротранспортёра в сухую стерильную посуду с крышкой. В отобранных пробах определяли: 1) микробиологическую загрязнённость по группам микроорганизмов – культивированием микроорганизмов на питательных средах; 2) рН – рН-метром; 3) содержание органических и минеральных кислот – пропусканием навески воды через катионитные колонки в Н⁺ форме [1, 6].

Определение содержания микроорганизмов. Пробу транспортёрно-мочной воды тщательно перемешивали и готовили разведения $1:10^5$; $1:10^6$; $1:10^7$. Посев разведенной транспортёрно-мочной воды производили на чашки Петри глубинным способом в трёх повторностях. Культивировали посевы в термостате при температурах:

– 36–37 °С – для определения мезофилов и общего содержания микроорганизмов на среде МПА;

– 55 °С – для определения термофилов на среде МПА + 10 % сахарозы;

– 25–27 °С – для определения группы плесневых и дрожжевых грибов на среде Чапека. Подсчёт колоний производили через 24–48–72 часа. Чашки с плесневыми грибами выдерживали в термостате до 7 суток.

При микробиологическом исследовании транспортёрно-мочной воды нами отмечено количественное и качественное разнообразие микроорганизмов. Пробы были отобраны на 10-е и 60-е сутки от начала производственного цикла, что позволило нам оценить увеличение количества микроорганизмов в транспортёрно-мочной воде по сравнению с длительностью пребывания вод в работе и проследить динамику количественных изменений микроорганизмов в группах термофилов, мезофилов и грибов в зависимости от погодных условий. Результаты исследований приведены в табл. 3.

В проанализированных пробах воды были обнаружены термофилы, мезофилы и плесневые грибы в количествах, превышающих литературные данные последних лет. Это показывает, насколько необходимо тщательное очищение и обеззараживание транспортёрно-мочной воды именно в последнее время, когда в результате механизации процессов возрос уровень загрязнения корнеплодов, а также

Таблица 3. Величина микробиологической заражённости транспортёрно-мочной воды в разные периоды сезона переработки свекловичного сырья

Период от начала производственного сезона, сут	Температура воды, °С	Количество микроорганизмов, КОЕ в 1 см ³ воды			
		Общее	В том числе		
			мезофилы	термофилы	плесневые грибы
10	12	9·10 ⁸	8·10 ⁸	4·10 ⁴	2·10 ⁴
60	4	5·10 ⁸	4,5·10 ⁸	5·10 ³	6,2·10 ³

то, что в связи с ранними пусками заводов повышена температура транспортёрно-мочной воды, в то время как снижение температуры способствует уменьшению её обсеменённости. Так, понижение средней температуры воды на 6 °С привело к уменьшению общей обсеменённости на 55 %, при этом количество мезофилов уменьшилось почти в 1,7 раза, количество термофилов снизилось в 8 раз, плесневых грибов – в 3,2 раза.

При микроскопировании было обнаружено, что среди мезофильной группы микроорганизмов преобладают стрепто- и диплококки, встречаются палочки, а среди группы плесневых грибов были обнаружены грибы родов *Penicillium* и *Mucor*.

На рис. 2 приведены наиболее типичные колонии мезофилов, выросшие на МПА из разведения $1:10^7$. Были обнаружены колонии белёсого и светло-жёлтого цвета с блестящей поверхностью и небольшой радиальной складчатостью, в основном округлой формы с неровными краями. Микроскопируются дипло- и стрептококки. На поверхности чашки присутствуют также колонии неправильной формы с матовой поверхностью. Под микроскопом видны спорозоносные палочки. Общее количество микроорганизмов составило $1 \cdot 10^8$ шт.

На рис. 3 представлены колонии грибов. Разведение – $1:10^3$, культивировались на среде Чапека в течение одной недели. На фото

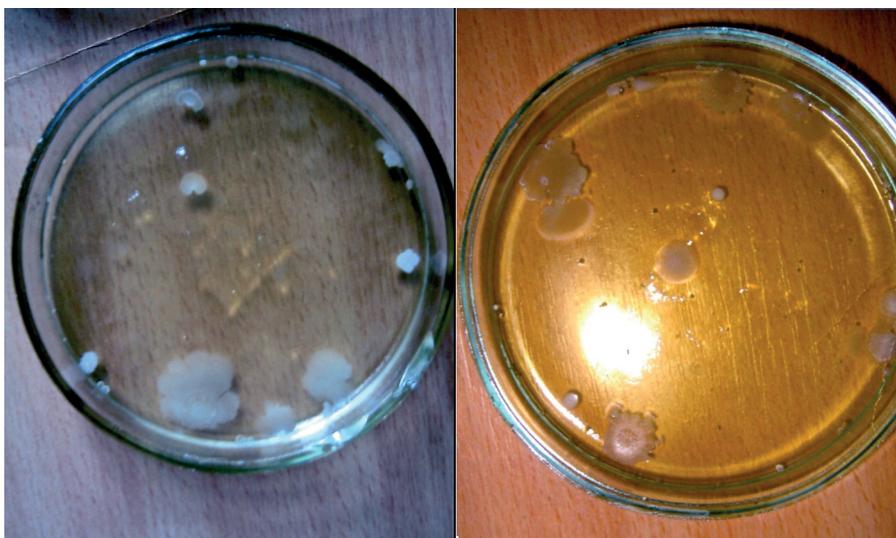


Рис. 2. Колонии мезофилов (две чашки)



Рис. 3. Колонии грибов

явно видны колонии, характерные для рода *Penicillium* и рода *Mucor*.

Потери сахарозы при переработке сахарной свёклы

Исследованиями установлено, что в среднем за сезон сырьё, поступающее на переработку, характеризуется следующими показателями качества: 1) содержание корнеплодов: дуплистых 65,9–74,6%, механически повреждённых 40,5–70,9 %, в том числе сильно – 18,6–22,5 %, подмороженных 5,5–13,8 %, цветущих 0,1 %, проросших 20,3–21,4 %, подгнивших 0,3–5,2 %; 2) количество зелёной массы 0,1 %, ростков 0,1 %, гнилой массы 0,1 % [15, 16].

Общее количество балластных примесей в свёкле, поступающей на переработку, составляло от 1,55 до 2,59 %, неотмытой земли – от 0,11 до 0,24 %, прилипшей и впитанной влаги – от 0,97 до 1,8 %.

Общие потери сахарозы в свеклосахарном производстве включают в себя определяемые потери с жомом и фильтрационным осадком и неопределяемые потери,

обусловленные деятельностью микроорганизмов, действием высоких температур, щелочей и кислот.

Потери сахарозы, не определяемые при переработке свёклы, или так называемые неучтённые потери, обусловлены потерями от микробиологического и термохимического разложения на всём верстате завода. Исследования показали, что увеличение количества сильно механически повреждённых корнеплодов и значительный объём слабо повреждённой свёклы, возрастание в связи с этим микробиологического поражения разорванных тканей, накопление несахаров – продуктов заживления травмированных поверхностей, а также ухудшение химического состава корнеплодов, которое обусловлено интенсивной технологией выращивания свёклы, в процессе переработки сырья приводит к увеличению потерь сахарозы вследствие её разложения и повышению содержания сахарозы в мелассе [6, 10, 17].

Рассмотрим более подробно неучтённые потери сахарозы при переработке свёклы.

В отделении сокодобывания вследствие сильного инфицирования стружки и питательной воды, особенно при пониженной температуре, происходит развитие микроорганизмов и распад сахарозы с образованием преимущественно L-молочной кислоты. По данным исследователей, потери сахарозы из-за деятельности микроорганизмов составляют 0,06–0,24 %, а при особо неблагоприятных условиях могут достигать 0,4–0,5 % и более к массе свёклы [12, 15]. Кроме прямых потерь сахарозы продукты жизнедеятельности бактерий (редуцирующие вещества, органические кислоты) вызывают трудности в дальнейших процессах технологического потока и повышенное содержание сахарозы в мелассе [10].

Жизнедеятельность микроорганизмов в диффузионном аппарате может проявляться в кислотообразовании, газообразовании, разложении сахарозы с образованием редуцирующих веществ, а затем кислот. Потребление сахара различными микроорганизмами подробно изучалось японскими исследователями (табл. 4).

Учитывая, что длительность процесса экстракции составляет 70–90 мин, потери сахарозы при благоприятных условиях деятельности микроорганизмов могут составлять 0,63–0,80 % к массе свёклы.

Рассмотрим основные источники инфицирования диффузионного сока.

Свекловичная стружка. Обсеменённость свекловичной стружки микроорганизмами зависит от состояния корнеплода, степени его отмывки от земли, качества моечной воды, ополаскивания чистой водой и обработки антисептиками. Степень инфицирования стружки из немороженной свёклы составляет $8 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^7$; подмороженной и оттаявшей – $1,5 \cdot 10^7 - 9 \cdot 10^8$ шт. микроорганизмов в 1 г свекловичной стружки.

Таблица 4. Степень потребления сахарозы различными микроорганизмами в диффузионных установках

Вид микроорганизма, осуществляющего жизнедеятельность при экстракции сахарозы	Потери сахарозы, % за 1 час на 10^6 спор в 1 см^3
<i>Bac. subtilis</i>	0,12
<i>Bac. stearotermophilus</i>	0,11
<i>Bac. megaterium</i>	0,08
<i>Bac. cereus</i>	0,06
<i>Bac. circulaus</i>	0,06
<i>Bac. coli</i>	0,03
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	0,04
<i>Leuconostoc dextranicum</i>	0,02
<i>Clostridium butiricum</i>	0,01
Всего	0,53

Питательная вода. В качестве питательной воды для диффузионных установок на многих сахарных заводах используют барометрическую воду. По опубликованным данным [7], содержание микроорганизмов в горячей сульфитированной барометрической воде составляет 75 шт. в 1 см³; если же вода не сульфитирована и её температура находится в пределах 30–40 °С, то содержание микроорганизмов в 1 см³ возросло до 8·10³–1,8·10⁵. Следует отметить, что качественный бактериологический состав барометрической воды идентичен качественному составу прудовой воды. Необработанная барометрическая вода при температуре 40 °С может быть по своему бактериологическому составу хуже, чем прудовая, так как при этой температуре создаются благоприятные условия для размножения многих видов микроорганизмов. Поэтому в качестве питательной воды рекомендуется использовать охлаждённые аммиачные конденсаты, которые являются стерильными с точки зрения наличия микроорганизмов. Для технологической службы обязательным условием ставится проверка концентрации растворённого аммиака, содержание которого не должно превышать 30–40 мг/л. Большое содержание аммиака способствует растворению стенок свекловичной клетки, в которой находится натуральный свекловичный сок, вызывающих образование флоккул в подкисленных сахарных растворах.

Жомпрессовая вода. Исследованиями показано, что жомпрессовая вода в значительной мере заражена термофильными микроорганизмами. Отобранная после прессов, она содержит от 2,2·10⁴ до 1,4·10⁶ микроорганизмов в 1 см³; после подогревателя ($t = 70\text{--}80\text{ }^\circ\text{C}$) – от 1·10³ до 8·10⁵. Количество микроорганизмов в жомпрессовой воде, подаваемой

на диффузию, зависит от способа её обработки. Если она подаётся по короткой схеме, без обработки, её зараженность значительно выше, чем с обработкой и очисткой.

По сведениям [7], если жомпрессовая вода возвращается в диффузию по короткой схеме (отстаивание и нагрев до 74–78 °С), то 1 см³ её содержит 1·10³–7,2·10³ шт. термофильных микроорганизмов. Если же жомпрессовая вода подвергается дефекационной обработке, она содержит мезофилов около 2·10¹ шт., термофилов 7·10² шт. в 1 см³.

Работа диффузионной установки. Количество микроорганизмов в диффузионном соке неустойчиво и находится в зависимости от многих факторов. Поэтому диффузионный процесс необходимо проводить при оптимальной температуре, ритмичности работы всего оборудования, дезинфекции процесса, соблюдении надлежащего санитарного состояния всего завода. Микробиологическими исследованиями в диффузионном соке найдено большое количество спорозоносных бактерий: *Bac. subtilis*, *Bac. Mesentericum*, *Bac. Megatherium*, *Bac. Padiculatum*, *Bac. mycoides*, *Bac. circulans* и др. В нём могут размножаться также слизеобразующие бактерии: *Leuconostoc Lactobacterium plantarum*, *Leuconostoc dextranicum*, *Leuconostoc mesenteroides*.

Температурный режим. При нарушении температурного режима в диффузионном соке обнаруживаются дрожжи *Saccharomyces*, *Torula*, *Candida* и пр. Бактерии, развивающиеся в диффузионном соке при температуре 55–70 °С, относятся к термофильным микроорганизмам. У некоторых микроорганизмов, относящихся к этой группе, можно обнаружить обмен веществ при температуре 78–85 °С [3]. Например, *Bac. stearotherophilus* обладает сильной кислотообразующей способностью, хорошо растут

и развиваются при температуре 65 °С.

По данным различных исследователей, в 1 см³ диффузионного сока содержится от 1·10³ до 2,9·10⁸ микроорганизмов. Так как активное развитие термофильных микроорганизмов наблюдается при температуре 65–70 °С, необходимо стремиться к тому, чтобы ни в одной точке диффузионного аппарата температура не опускалась ниже 70 °С.

Было установлено, что в своём метаболизме микроорганизмы используют преимущественно сахарозу, находящуюся в растворе, с образованием в основном молочной кислоты.

Заключение

Таким образом, для улучшения качества свёклы, снижения безвозвратных потерь массы и сахарозы, а также в целях повышения эффективности свеклосахарного производства в целом необходимо:

- уделять внимание качеству обработки поля, выровненности плантации, качеству семян и равномерной густоте насаждений;
- использовать для уборки и погрузки свёклы высококачественную технику, незначительно повреждающую корнеплоды;
- не допускать подвяливания свёклы вследствие большого временного интервала между копкой и вывозкой на свеклопункт или складированием в полевых кагатах;
- уборку свёклы в сентябре осуществлять в таких количествах, чтобы не допускать хранения корнеплодов в поле или на свеклоприёмном пункте, т. е. работать практически с колёс;
- на гидротранспортировку подавать сырьё, пролежавшее не менее двух суток, что позволит снизить травмированность корнеплодов и потери сахара в транспортёрно-моечной воде;
- тщательно удалять лёгкие и тяжёлые примеси, землю, зелёную

массу, а также ополаскивать свёклу чистой водой и обрабатывать антисептиками;

– следить за технологическим и температурным режимами на всех станциях технологического процесса переработки свёклы;

– следить за общим санитарным состоянием предприятия и регулярно мыть технологическое оборудование, не допускать россыпей свёклы и стружки, разливов сока.

Список литературы

1. Влияние механических повреждений корнеплодов сахарной свёклы на её сохраняемость и показатели при переработке / С.Я. Филиппин, А.Л. Шойхет, Л.И. Чернявская [и др.] // Сахарная промышленность. – 1986. – № 6. – С. 45–47.

2. Влияние способов уборки и различных типов уборочных машин на качество и сохраняемость сахарной свёклы / В.А. Князев, С.Н. Калина, Е.Г. Томиленко [и др.] // Сахарная промышленность. – 1983. – № 1. – С. 54–57.

3. Князев, В.А. Прогрессивная технология приёмки и хранения свёклы / В.А. Князев. – М. : Пищевая промышленность, 1989. – 319 с.

4. Кузнецова, Л.А. Способ очистки свёклы активизированными грохотами / Л.А. Кузнецова // Сахарная промышленность. – 1980. – № 6. – С. 31–39.

5. Инструкция по химико-техническому контролю и учёту сахарного производства. – Киев : ВНИИСП, 1983.

6. Источники и величины потерь сахара при хранении и переработке свёклы / А.Л. Шойхет, Л.И. Чернявская, А.П. Пустоход [и др.] // Сахарная свёкла: производство и переработка. – 1989. – № 1. – С. 40–41.

7. Находкина, В.З. Микробиология в свеклосахарном производстве / В.З. Находкина. – М. :

Пищевая промышленность, 1964. – С. 2–24.

8. Опыт эксплуатации новых буртоукладочных машин и оборудования для очистки свёклы. Вып. 8. – М. : ЦНИИТЭИПищепром, 1989. – 56 с.

9. Повышение эффективности сахарного производства за счёт снижения потерь сахара / Л.И. Чернявская, А.П. Пустоход, М.П. Городник [и др.]. – Вып. 3. – М. : АгроНИИТЭИПП, 1992. – 45 с.

10. Снижение технологического качества сахарной свёклы, поражённой в различной степени кагатной гнилью / В.А. Князев, С.Н. Калина, Л.И. Чернявская // Сахарная промышленность. – 1983. – № 2. – С. 40–43.

11. Стогниенко, О.И. Формирование комплекса возбудителей кагатной гнили сахарной свёклы / О.И. Стогниенко, А.И. Воронцова // Сахарная свёкла. – 2015. – № 7. – С. 34–38.

12. Технологічна якість цукрових буряків та підвищення ефективності виробництва цукру / В.М. Мількевич, Ю.С. Іоніцой, Л.І. Чернявська [та ін.] // Киев : Укрсоціоцентр, 2000. – 132 с.

13. Хелемский, М.З. Технологические качества сахарной свёклы / М.З. Хелемский. – Ч. 2. – М. : Пищевая промышленность, 1973. – 251 с.

14. Хелемский, М.З. Хранение сахарной свёклы / М.З. Хелемский. – М. : Пищевая промышленность, 1964. – С. 112.

15. Чернявская, Л.И. Сахарная свёкла. Проблемы повышения технологических качеств и эффек-

тивности переработки / Л.И. Чернявская, Ю.С. Ионіцой, В.Н. Кухар [и др.] // Киев : Укрфитосоциоцентр, 2003. – 308 с.

16. Шпаар, Д. Сахарная свёкла / Д. Шпаар. – М. : АМА-ПРЕСС, 2012. – 314 с.

17. Malec, J. Wplyw mechanizacja zbioru burakow cukrowych na jakosc surowca I jego przydatnosc do przechowywania // Gazeta Cukrov. – 1980. – № 2. – С. 43–44.

18. Selection de la betterave sucriere pour une reduction des pertes en sucre pendant la periode de stockage // Scientific Agrisculture. – Rennes. – 1983. – № 3. – Pp. 1–7.

19. Walerianchyk, F. Niektore Czynniki obnizajace wydajnosc cukru z burakow / F. Walerianchyk // Gazeta Cukrovniza. – 1979. – № 5. – С. 104–106.

20. Uhlenbrok, Y.W. Zuckerferluste Schwemmwasser und ihre analytische erfassung / Y.W. Uhlenbrok // Zucker. – 1972. – № 2. – С. 771–773.

21. Van der Poel. Sugar Technology. Beet and Cane Sugar Manufacture. – Berlin : Verlag Dr. A. Bartens KG. – 1998. – S. 1097.

22. Hallanoro, H. Untersuchungen über die «unbestimmten Zuckerverluste» in finnischen Rübenzuckerfabriken / H. Hallanoro // Zucker Industrie. – 1985. – № 5. – S. 480–483.

23. Кухар, В.М. Нідерланди: найбільший цукровий завод Європи Дітелоорд та міжнародна виставка «Beet Europe 2010» / В.М. Кухар, Л.І. Чернявська // Цукор України. – 2010. – № 3 (59). – С. 16–19.

Аннотация. Представлены результаты собственных исследований и литературные данные в отношении потерь сахарозы на всех участках сахарного производства, даны рекомендации по их снижению.

Ключевые слова: потери массы и сахарозы в свеклосахарном производстве, учтённые и неучтённые потери.

Summary. The results of our own research and literature data on sucrose losses in all sections of sugar production are presented, recommendations are given for their reduction.

Keywords: mass and sucrose losses in sugar beet production, accounted and unaccounted losses.