

САХАР

ISSN 2413-5518
Выходит в свет с 1923 г.

95 лет

4 2018

ЖУРНАЛ ДЛЯ МЕНЕДЖЕРОВ, АГРОНОМОВ, ТЕХНОЛОГОВ АПК

рынки аграрной продукции ■ лучшие мировые практики ■ экономика ■ маркетинг ■ консультации экспертов

25 лет

на пике инновационных технологий



ВОЛГОХИМНЕФТЬ

Оптимизация работы диффузионной установки колонного типа методом усовершенствования конструкции ошпаривателя

В.Н. КУХАР, В.Д. САПОВСКИЙ, В.Г. ТАБУРЧАК, С.А. ГЛУШКО

ООО Фирма «ТМА»

Л.В. СКОБЕЛЬ, «Червонский цукровик»

Н.Н. ТУПИКИН, И.Ю. ГЕРЕГА, А.И. ШЕВЦОВ, Л.С. АБАКУМОВА

Рыльский сахарный завод ООО «Промсахар»

А.А. СЕРЁГИН, С.М. ВАСИЛЕНКО, Н.А. МАСЛО

НУПТ

Л.И. ЧЕРНЯВСКАЯ, УкрНИИСП (e-mail: li_ch@ukr.net)

Основным вторичным энергоресурсом на сахарном заводе является энергия вторичного пара вакуум-аппаратов (так называемого утфельного пара). Однако вследствие низкой температуры этого пара (ниже 60 °С, именно поэтому данный энергоресурс называют низкопотенциальным) в тепло-технологической схеме сахарного завода он может быть использован только для нагревания диффузионного сока. Очевидно, максимально использовать теплоту утфельного пара и тем самым снизить расход энергии на технологические нужды можно лишь при возможно низкой температуре диффузионного сока. Опыт показывает, что снижение температуры сока после диффузионной установки на 10 °С при его последующем нагреве утфельным паром позволяет снизить расход пара на технологические нужды на 2 % и, соответственно, снизить расход газа на 1,5 м³ на 1 т свёклы. Именно поэтому понижение температуры диффузионного сока является одним из основных энергосберегающих мероприятий на сахарном заводе. Как следствие, наряду с технологическими показателями температура диффузионного сока является важнейшей

характеристикой совершенства диффузионной установки.

Анализ технологических показателей используемых на сахарных заводах Украины и других стран СНГ диффузионных установок колонного типа, выпущенных Болоховским машиностроительным заводом в период 1980–1993 гг. и состоящих из ошпаривателей, колонных экстракторов и вспомогательного оборудования (насосов сокоотражечной смеси и соков, отбираемых с колонны, подогревателей), показал, что диффузионный сок, подаваемый на производство, имеет температуру 45–55 °С, что делает невозможным использование для его подогрева перед преддефекатором паров низких потенциалов (пар с вакуум-аппаратов) в подогревателях на утфельных парах. Следовательно, заводы, имеющие такие установки, не могут использовать холодную или тёплую схемы дефекационной очистки диффузионного сока, позволяющие получить более высокое качество соков [8].

Ошпариватель колонной диффузионной установки представляет собой сложный теплотехнологический аппарат, в котором одновременно протекают взаи-

мосвязанные гидродинамические и тепломассообменные процессы в двухфазной многокомпонентной среде. Совершенство ошпаривателя, с точки зрения организации тепломассообмена, определяется его тепловой эффективностью, показателем которой является разность температур выходящего диффузионного сока и входящей свекловичной стружки (чем меньше разница, тем выше эффективность, т. е. чем ниже температура сока, тем совершеннее аппарат). Поскольку максимально эффективной схемой движения сока и стружки является противоточная, то основной задачей при разработке ошпаривателей, с точки зрения совместного тепломассообмена, является организация противоточного движения фаз при максимально возможном выравнивании температур и концентраций сока в поперечном сечении аппарата. Это возможно лишь путём одновременной оптимизации геометрии проточной части ошпаривателя и его транспортной системы, что и было положено в основу проекта реконструкции ошпаривателя на Червонском сахарном заводе.

Если рассматривать корнеплод как биологический объект, то саха-

роза находится в вакуолях клеток в клеточном соке в растворённом виде. Вакуоли со всех сторон окружены тонким слоем протоплазмы, являющейся полупроницаемой перегородкой, которая пропускает через себя воду, но не пропускает веществ, растворённых в клеточном соке. Пока протоплазма клетки цела, сахар из неё не переходит в экстрагент, т. е. стружка не выслаживается. Если же протоплазма убита, свернулась под влиянием нагревания выше 60°C или путём замораживания, то она уже не удерживает растворённых веществ, и они легко диффундируют из клетки в воду. Таким образом, основным условием диффузионного процесса является нагревание стружки до температуры не менее 60°C . Для надёжного достижения этого условия температура сока должна быть не менее 70°C [1, 2, 5, 7]. До нагревания стружки полупроницаемые плёнки живой протоплазмы исключают диффузию сахарозы. После нагревания белки протоплазмы получают в виде отдельных сгустков, уже не мешающих диффузии. Некоторое препятствие представляют лишь клеточные стенки, которые могут несколько замедлить диффузию кристаллоидов [6].

По П.М. Силину, средняя температура стружки в аппарате должна быть $70\text{--}72^{\circ}\text{C}$: если температура ниже 70°C , то в среде может происходить развитие инфекции, а выше 72°C уже начинается размягчение стружки вследствие гидролиза нерастворимых пектиновых веществ. Нужная температура в аппарате достигается путём подогрева свежей воды в нём до 73°C и стружки, поступающей в аппарат, до 75°C . Такое предварительное ошпаривание стружки необходимо для коагуляции её белков [1, 3, 7].

Если рассматривать диффузионную установку колонного типа, то денатурация клеток происходит в ошпаривателе, а собственно диффузионный процесс – в колонне.

Процесс ошпаривания должен осуществляться достаточно быстро и при строгом соблюдении температурного контроля теплоносителя, стружки и сока.

Вопрос тепловой обработки свежесквашенной стружки в процессе экстрагирования на протяжении многих лет привлекает внимание сахаропроизводителей. На первом этапе научных исследований учёных больше всего интересовало влияние механического, химического либо теплового воздействия на проницаемость свежесквашенной ткани, или как влияет механическое воздействие и тепловое поле на структуру свежесквашенной стружки, а значит, и на процесс извлечения сахара из свёклы. Количественным показателем степени ошпаривания считают отношение числа клеток с разрушенной протоплазмой к их общему количеству. Соотношение изменения относительного числа разрушенных клеток в зависимости от времени действия теплового поля и изменения коэффициента диффузии в тех же условиях выявило абсолютно эквивалентный характер кинетических кривых [6]. Эти исследования были выполнены в лабораторных условиях. При исследовании процесса предварительной обработки свежесквашенной стружки перед экстрагированием пользуются недостаточно чёткой терминологией. Дело в том, что под действием некоторых тепловых, химических, механических действий и электрических полей протоплазма растительной ткани в большей или меньшей степени изменяется. Это явление у сахаропроизводителей называется плазмолиз. Но физически плазмолиз в отличие от денатурации не изменяет проницаемости протоплазмы, а вызывает лишь её сжатие или растяжение под действием осмотического давления. При денатурации происходит целый комплекс физико-химических явлений, который в итоге приводит к разрушению белковых молекул.

Денатурация белков – это нарушение нативной пространственной структуры белковой молекулы под влиянием различных внешних воздействий, сопровождающееся изменением их физико-химических и биологических свойств. При этом нарушаются вторичная и третичная структуры белковой молекулы (способ укладки полипептидной цепи в упорядоченную структуру), а первичная* (линейная полипептидная цепь из аминокислот), как правило, сохраняется. Денатурация белков происходит преимущественно при нагревании и замораживании биологического объекта, под действием различных излучений, кислот, щелочей, резких механических воздействий и других факторов. Денатурация белков вызывает следующие основные изменения: резко снижается растворимость белков; теряется их биологическая активность, способность к гидратации и видовая специфичность; улучшается атакуемость белков протеолитическими ферментами; происходит агрегирование белковых молекул; заряд белковой молекулы становится равным нулю. Потеря белками биологической активности в результате тепловой денатурации приводит к инактивации отдельных ферментов и отмиранию некоторых видов микроорганизмов.

Таким образом, при оценке предварительной обработки стружки в процессе экстракции основное внимание должно быть привлечено к проницаемости ткани, которая характеризуется коэффициентом диффузии, так как от проницаемости в первую

*Первичной структурой белков называется линейная полипептидная цепь из аминокислот, соединённых между собой пептидными связями. Вторичная и третичная структуры представляют способ укладки полипептидной цепи в упорядоченную структуру и расположения её в пространстве.

очередь зависит время и полнота извлечения сахара из стружки в диффузионном аппарате. Оценка степени предварительной тепловой обработки свекловичной стружки (её ошпаривание) имеет особое значение для практики эксплуатации колонных диффузионных установок. Действительно, в колонной диффузионной установке, а точнее в ошпаривателе, создание нормального режима нагрева стружки в процессе предварительной тепловой обработки нередко вызывает большие трудности.

В связи с этим изучение тепло- и массообменных процессов в начальной стадии процесса экстракции, а именно в ошпаривателе, имеет исключительно важное теоретическое и практическое значение, особенно в связи с необходимостью создания конструкций высокопроизводительных и эффективных экстракционных установок. Активный диффузный массоперенос сахара из вакуоли клетки к наружной поверхности стружки начинается только после денатурации протоплазмы, что окружает вакуоли. В нормальном состоянии, когда клетка ещё живая, протоплазма является полупроницаемой лишь для воды, но не для компонентов клеточного сока.

Денатурация начинается после нагрева массы стружки до 60 °С. При такой температуре протоплазма становится проницаемой, но для полной денатурации необходим нагрев до более высоких температур, при которых происходит активная диффузия – 70 °С и выше. Оценка различных способов нагрева стружки до температуры начала активной диффузии (60 °С) позволяет отметить очень важную роль интенсивности (скорости) этого нагрева, что связано с содержанием в свёкле ферментов инвертазы (сахаразы), расщепляющей молекулу сахарозы, и пектолитических ферментов, отщепляющих пекти-

новые вещества и способствующих их переходу в диффузионный сок, а также жизнедеятельностью микроорганизмов.

Большое значение для перехода в диффузионный сок пектиновых веществ при повышенной температуре имеет продолжительность действия воды, пептизация почти пропорциональна времени. Следовательно, при быстрой работе на диффузии уменьшается переход пектиновых веществ в диффузионный сок. Свекловичный пектин в количестве 0,1–0,3 % уменьшает абсолютное значение коэффициента диффузии. В слабокислой среде (рН 5,0) пектиновые вещества переходят в раствор в минимальном количестве.

Количество пектиновых веществ в диффузионном соке зависит в основном от качества свёклы. Сок незрелой свёклы содержит больше пектиновых веществ, чем спелой. В соке порченной свёклы пектиновых веществ намного больше, чем в соке из доброкачественного сырья.

Работы А.В. Думанского и С.Е. Харина [11] показали, что количество коллоидов в диффузионном соке зависит от температуры его получения. Более высокой температуре соответствует повышенное содержание коллоидов. Исследования и анализ М.З. Хелемского и коллег [11] подтвердили, что увеличение количества коллоидов с повышением температуры происходит за счёт увеличения количества пектиновых веществ, переход которых чрезвычайно сильно зависит от температуры, особенно повышаясь при температуре свыше 80 °С. С увеличением продолжительности нагревания стружки с водой вначале растворение пектиновых веществ растёт почти пропорционально времени, но при большей длительности (более 90 мин при 90 °С)

скорость их растворения увеличивается особенно быстро.

Превращения в пектиновом комплексе связаны с деятельностью фермента пектинэстеразы, активность которого значительно повышается при подвялиивании, подмораживании и оттаивании корнеплодов. По данным исследователей [9], в диффузионном соке из свежей свёклы активность пектинэстеразы равнялась нулю, а в подмороженной и подвяленной была значительной (табл. 1). Такая же зависимость наблюдалась и в диффузионном соке, полученном из хранившегося сырья.

Температурный оптимум действия пектинэстеразы находится в пределах 30–37 °С, при 40–45 °С наступает значительное снижение активности, при 50 °С происходит полная инактивация фермента. Следовательно, пектинэстераза не термостабильна и может быть полностью инактивирована.

Для деятельности инвертазы и, следовательно, образования редуцирующих веществ большое значение имеет температура диффузионного процесса (рис. 1, [11]). Большинство исследователей (М.З. Хелемский, М.Л. Пельц, О.Н. Савельева) склоняются к мысли, что при температуре 70–75 °С активность инвертазы прекращается вовсе либо незначительна. Эти же авторы считают, основываясь на данных своих ис-



Рис. 1. Зависимость активности инвертазы A_i (и мг инвертного сахара) от температуры

Таблица 1. Активность пектин-эстеразы диффузионного сока, полученного из свёклы разного технологического качества [11]

Свекловичная стружка, полученная из нехранившейся свёклы	Активность пектинэстеразы, ммоль NaOH, диффузионного сока свёклы	
	На 1 г сырой массы	На 1 г сухой массы
тургорной	0	0
подвяленной	—	—
на 10 %	0,0005	0,122
на 20 %	0,028	0,562
подвяленной на 10 % и поражённой <i>Botrytis cinerea</i>	0,029	0,613
подмороженной	0,100	2,111

следований, что деятельность инвертазы микроорганизмов незначительна при температуре выше 60 °C [11].

Активность инвертазы микроорганизмов при сокодобывании находится в линейной зависимости от количества микроорганизмов, которые введены на диффузию со свёклой.

Олдфилд [11], изучая потери на диффузии, пришёл к выводу, что здесь действуют два фермента, способные гидролизовать сахарозу, — с pH 5 и pH 8. По исследованиям ВНИИСП [11], при получении диффузионного сока активны обе инвертазы с разными оптимумами pH. При благоприятных температурных условиях для своей деятельности обе формы инвертазы являются очень активными, с чем часто сталкиваются технологи на сахарных заводах.

Все биохимические аспекты деятельности ферментов и микроорганизмов в диффузионном процессе необходимо учитывать в реальных условиях сахарного производства.

Следует отметить, что, несмотря на разное аппаратное оформление для нагрева стружки в диффузных установках различной конструкции, все они имеют общий принцип: предварительный нагрев стружки происходит соком, который отбирается на производство.

Охлаждение диффузионного сока до низких температур выгодно с теплотехнической точки зрения: на нагрев диффузионной установки необходимо тем меньше тепла, чем ниже температура диффузионного сока на производство. Но противоточным нагревом стружки соком, забираемым из аппарата, её нельзя довести до температуры начала денатурации, а именно до 60 °C.

Рассмотрим пример (по [7]) теплового баланса ошпаривателя колонного диффузионного аппарата. Примем, что средняя температура сокостружечной смеси в нижней части колонны составляет 75 °C, температура диффузионного сока на производство равна 40 °C, отбор диффузионного сока на производство — 125 % к массе свёклы, температура стружки в осенний период — около +10 °C. Теплоёмкость стружки и диффузионного сока примерно одинакова. Температуру стружки в конце зоны предварительного нагрева T находят из баланса: $125 \times (75 - 40) = 100 \times (T - 10)$. Отсюда имеем $T = 53,75$ °C.

Этот пример показывает, что на протяжении противоточного нагрева стружка находится в зоне большой активности инвертазы, процесс сопровождается инверсией сахарозы, что приводит к накоплению наиболее вредоносных для технологии сахарного производства несахаров — редуцирующих веществ.

Рассмотрим, что происходит в нормально работающем ошпаривателе. По [8], среднее время пребывания стружки в ошпаривателе составляет около 18 мин, из них

на долю противоточного ошпаривания — примерно 2/3 времени, т. е. около 12 мин. В мешательной зоне ошпаривателя подогретая до 54 °C стружка смешивается с 300 % рециркулируемого сока после подогревателя с температурой 85 °C, и с температурой 75 °C направляется в нижнюю часть колонны. Как известно, в колонне нагрев не происходит. Таким образом, необходимое для процесса тепло поступает через теплообменники рециркулирующего и обеспеченного сока. Это и есть главное преимущество колонных установок перед наклонными в борьбе с неучтёнными потерями сахара. В наклонных аппаратах практически нет путей уменьшения времени нагрева стружки, а в колонных установках мы имеем возможность регулировать температурный режим в ошпаривателе температурой циркулирующего сока, проходящем через подогреватель, местом ввода и количеством введённого сока, оборотами трубопровода и конструктивными параметрами транспортной системы.

Колонные диффузионные установки, изготовленные Болоховским машиностроительным заводом и эксплуатируемые в Украине и России, комплектовались ошпаривателями типа ОС. Ошпариватель представляет собой цилиндрический корпус, внутри которого находится трубовал. Оба торца ошпаривателя закрыты крышками, где установлены подшипники, в которых и вращается трубовал. Функционально ошпариватель делится на две части: теплообменная часть и смеситель [2–7]. В период, когда разрабатывалось указанное оборудование и технологические схемы экстракции, вопросы энергосбережения не были актуальны, на заводах повсеместно использовались горячие схемы очистки, хотя уже тогда П.М. Силин обращал внимание сахаротехников на варианты работы колонной диффузионной

установки с получением холодного сока, отбираемого на производство, что позволяло внедрять эффективные схемы энергосбережения [8].

В последние два десятилетия доля стоимости топлива в себестоимости сахара достигла 20–25 %, тогда как в 80-х гг. прошлого века она составлял лишь 3–5 %.

В ремонтный период перед сезоном 2015 г. авторами статьи были проведены комплексные теоретические и экспериментальные исследования, подтвердившие внутреннюю взаимосвязь конструктивных, технологических и теплотехнических факторов, влияющих на процесс ошпаривания при экстрагировании сахарозы из свекловичной ткани. Выполненные теоретические разработки по усовершенствованию конструкции ошпаривателя ПНА-3 и вариантов его работы были реализованы в аппарате, установленном на сахарном заводе «Червонский

цукровик». Схема диффузионной установки приведена на рис. 2.

В период производственного сезона были проведены экспериментальные исследования технологических и теплотехнических показателей собственно ошпаривателя и экстракционной установки в целом.

Методика проведения испытаний. По длине ошпаривателя были выбраны 15 точек, расстояние между которыми, а также от обеих его лобовин составляет по 500 мм; нумерация точек замеров температуры сокоотрующей смеси внутри ошпаривателя начинается от шахты, куда подаётся стружка. В области точки 8 подводится около 115 % сока из циркуляционного контура (без подогрева); в области точки 11 подводится сок (80 %) после пеногасителя и подогревателя; в области точки 12 подводится основная масса сока циркуляционного контура (300 %). В области точки 15 температура соответствует тем-

пературе сокоотрующей смеси, подаваемой в колонну.

Динамика изменения температуры сокоотрующей смеси по длине ошпаривателя представлена в табл. 2.

В результате выполненной работы по модернизации и усовершенствованию транспортной системы ошпаривателя с целью оптимизировать организацию противоточного движения стружки и жидкой фазы появилась возможность обеспечить классическую тепловую подготовку стружки: плавный нагрев до температуры 70°C; кратковременное ошпаривание соком с температурой 84–85°C; диффузионный процесс при температуре 72–73°C.

Патрубки, расположенные по длине ошпаривателя, дают возможность оптимизировать температурный режим отбираемого диффузионного сока на производство в зависимости от системы дефекационной его очистки,

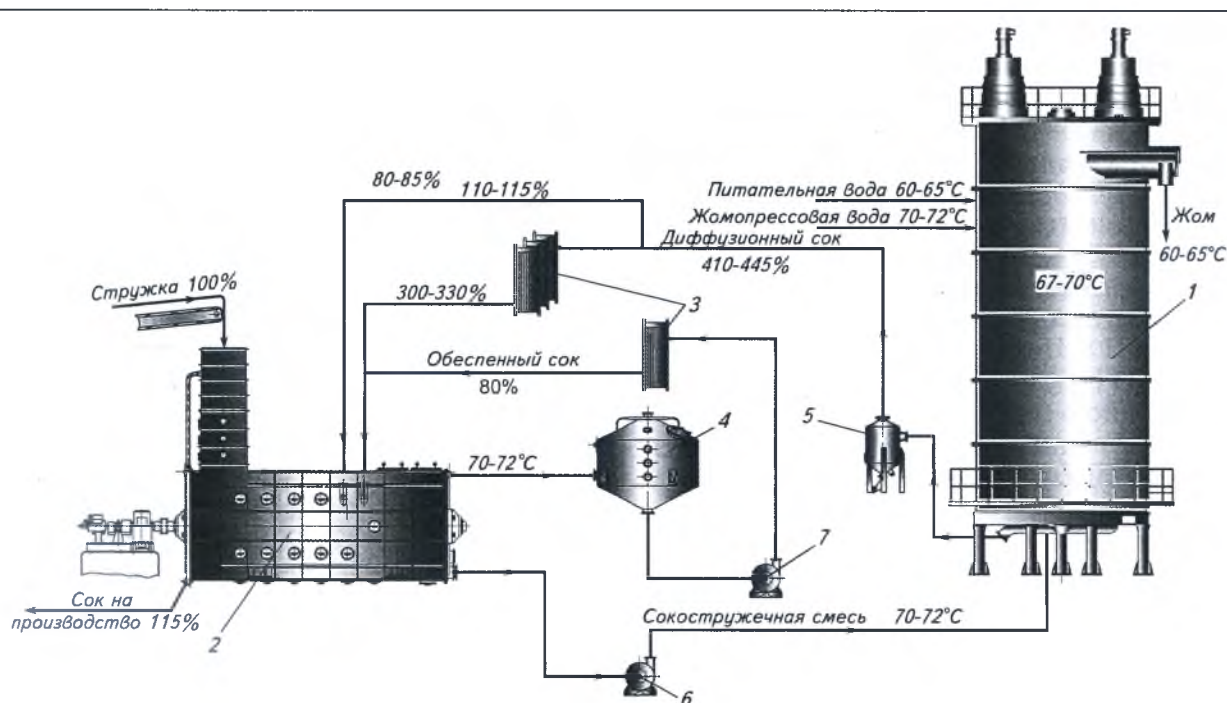


Рис. 2. Колонная диффузионная установка с противоточным ошпаривателем стружки и контуром пеногашения (1 – диффузионный аппарат; 2 – ошпариватель стружки; 3 – подогреватели; 4 – сборник-пеногаситель; 5 – песколоушка; 6 – насос сокоотрующей смеси; 7 – насос обеспеченного сока)

Таблица 2. Динамика изменения температуры сокоотрующей смеси по длине ошпаривателя после его реконструкции при проведении испытаний на сахарном заводе «Червонский цукровик»

Дата проведения испытаний	Температура стружки, °С	Температура сока на производство, °С	Точки замеров по длине ошпаривателя															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	15
20.10.2015	10	27,2	32,4	38,1	49,7	57,6	64,9	66,7	69,7	71,0	70,8	71,8	72,7	73,0	73,1	73,5	73,8	73,8
21.10.2015	10	28	31,5	36,7	47,5	53,7	60,8	62,8	67,8	69,2	68,2	69,2	70,2	70,6	71,0	70,9	71,5	71,5
22.10.2015	8	28,5	32,2	37,3	48,5	55,7	62,9	64,1	68,5	69,9	68,5	69,5	70,5	71,2	71,0	71,0	71,5	71,0
В среднем за период испытаний	9,3	27,9	32,0	37,4	48,6	55,7	62,9	64,5	68,7	70,0	69,2	70,2	71,1	71,6	71,7	71,8	72,3	72,1

а также нагрузку на приводы ошпаривателя.

Результаты измерений температурных показателей узла ошпаривания стружки представлены в табл. 3. В среднем в период испытаний были получены следующие температурные показатели: температура стружки составила 9,7 (с разбросом значений от 8,1 до 11) °С; температура диффузионного сока на производство – 26,9 (21,5–34,2) °С; температура сокоотрующей смеси – 73 (70,5–74) °С; температура сока после пеногасителя (перед подогревателем) – 73,1 (71–75,2) °С; этого же сока после подогревателя – 83,4 (81,6–84,6) °С. Температура соко-

отрующей смеси по высоте колонны: низ – 73,0–74 °С; середина – 70 °С; верх – 70 °С.

Таким образом, выполненные теоретические расчёты и их практическая реализация позволили организовать ритмичную работу диффузионной установки завода с отбором сока на уровне 110–115 %, температурой диффузионного сока 26,9 °С; содержание сухих веществ в диффузионном соке на 0,8–0,9 % выше, чем сухие вещества циркуляционного сока вследствие вымывания сахара с клеток после механического их разрушения. В течение сезона удалось достичь температуры откачки сока на 13,2 °С выше температуры

стружки, получать холодный диффузионный сок и использовать для первой степени его подогрева вторичные пары вакуум-аппаратов (уфельный пар) (табл. 4).

Интенсивный режим ошпаривания стружки обеспечивал её упругость после экстракции сахарозы, что позволило иметь потери сахара в жоме на уровне 0,28–0,32 % к массе свёклы при отжиме жома до СВ = 28 % и содержании сахара в высоложенной стружке на уровне 1,7–1,9 % к массе жома.

По результатам производственного сезона 2015 г. установлено, что модернизированный ошпариватель после реконструкции позволил повысить его производи-

Таблица 3. Температурные показатели узла ошпаривания стружки в периоды проведения испытаний на сахарном заводе «Червонский цукровик»

Показатели	Период производственных испытаний									
	12.11.2015					13.11.2015				
	12 ч 01 мин – 12 ч 21 мин	13 ч 05 мин – 13 ч 15 мин	16 ч 55 мин – 17 ч 05 мин	19 ч 45 мин – 19 ч 55 мин	9 ч 20 мин – 9 ч 28 мин	10 ч 54 мин – 10 ч 01 мин	10 ч 13 мин – 10 ч 24 мин	12 ч 30 мин – 12 ч 41 мин	13 ч 05 мин – 13 ч 16 мин	В среднем
Температура стружки, °С	11	10	10	10,4	10,8	9,0	8,2	10,3	8,1	9,7
Температура сока на производство, °С	27,0	28,2	34,2	28	26,1	25,6	28,1	23,4	21,5	26,9
Температура сокоотрующей смеси, °С	74	73,6	73,6	73,5	75,3	70,5	71	71,4	74,3	73,0
Температура сока после пеногасителя перед подогревателем, °С	72	72	71	73,3	74	74	73,4	73,4	75,2	73,1
Температура сока с пеногасителя после подогревателя, °С	84,2	84,2	83,7	84,6	83,4	82,8	81,6	83,3	82,6	83,4

Таблица 4. Основные технологические показатели работы диффузионной установки сахарного завода «Червонский цукровик» на протяжении смены

Переработано свёклы, т	За час	Содержание сахарозы в жоме после колонны (до прессов), % к массе жома	Содержание СВ в прессованном жоме, %	Содержание сахарозы в жоме после прессов глубокого отжима марки РВ 32 FS, % к массе свёклы	Диффузионный сок на производство		Сок циркулирующего контура, °С	Температурные параметры колонны, °С			Содержание сухих веществ очищенного сока на выпарку, %
					СВ, %	Температура, °С		Низ	Середина	Верх	
142	142	1,8	26	0,28	17,2	22	74	74	70	70	17,2
141	283	1,7	27	0,25	17,4	21	74	74	70	70	17,2
143	426	1,8	28	0,25	17,8	20	74	74	70	70	17,4
143	569	1,8	26	0,26	17,8	21	74	74	70	70	17,8
142	711	1,8	28	0,25	17,8	22	74	74	70	70	17,8
144	855	1,7	28	0,23	17,8	22	74	74	70	70	17,8
143	998	1,9	28	0,26	17,6	22	74	74	70	70	17,8
142	1 140	1,8	26	0,26	17,8	20	74	73	70	70	15,6
Среднее	1 140	1,79	27,1	0,26	17,7	21,3	74	74	70	70	17,6

тельность на 10–15 % по сравнению с номинальной.

Сахарный завод в сезоне 2015 г. имел показатель потребления газа 25–26 м³ на 1 т свёклы, расход топлива на технологию – на уровне 2,6 % к массе свёклы, в сезон 2017 г. «Червонский цукровик» снизил потребление газа до 23–24 м³ на 1 т свёклы.

На основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований была разработана концепция модернизации ошпаривателей, выпускаемых Болоховским и Николаевским машиностроительными заводами.

В 2016 г. такая работа была выполнена на Рыльском сахарном заводе ООО «Промсахар» Курской области (Россия) специалистами ООО ФИРМА «ТМА» и специалистами завода. Была усовершенствована технологическая схема диффузионной установки, в состав которой входит ошпариватель РЗ-ПОД и колонна ЭКА-3. Был модернизирован ошпариватель, установлен обеспениватель сока и подогреватель обеспеченного сока. Выполненные исследования позволили повысить производительность ошпаривателя и обеспечить получение холодного диффузионного сока. Однако в связи с тем, что на заводе используется горячая схема дефекосатурационной очистки, диффузионный сок получали с температурой 45–50 °С. Уровень откачки не превышал 120–125 %. Температура в циркуляционном контуре была 78–80 °С, жомпрессовой воды – 73 °С, питательной – 68–70 °С, в середине колонны – 70 °С.

Для глубокого прессования жома на заводе установлены прессы марки Stord RS 80, позволяющие отжимать жом

до 25 % СВ. Потери сахара в высоложенной стружке составляют 0,35–0,39 % к массе свёклы.

Такая технологическая схема позволила повысить качество жомпрессовой воды и возвращать её в диффузионную установку. Улучшилось также качество диффузионного сока, отбираемого на производство, до 92 %.

Всего за сезон 2017 г. было переработано 461,4 тыс. т свекловичного сырья, средняя суточная производительность составила 3 034 т свёклы в сутки, что на 12,4 % выше, чем планируемый показатель.

На основании теоретических разработок, экспериментального и промышленного внедрения усовершенствованной транспортной системы ошпаривателей, выпускаемых отечественными машиностроительными заводами, можно сделать следующие выводы.

Выполнены комплексные теоретические и экспериментальные исследования, подтвердившие взаимосвязь конструктивных, технологических и теплотехнических факторов, влияющих на процесс ошпаривания стружки при экстрагировании сахарозы из свекловичной ткани.

Теоретические разработки по усовершенствованию конструкции ошпаривателя ПНА-3 были реализованы в аппарате, установленном на сахарном заводе «Червонский цукровик», и ошпаривателя ПЗ-ПОД, установленного на Рыльском сахарном заводе.

Модернизация транспортной системы ошпаривателя позволила организовать в нём противоточное движение свекловичной стружки и жидкой фазы, а также оптимальный теплообменный процесс между соком и стружкой, что дало возможность стабильно получать на производство диффузионный сок с низкой температурой.

Вследствие выполненных работ по упорядочению транспортной системы стружки ошпаривателя в нём организована её класси-

ческая тепловая подготовка, что подтверждено результатами промышленных испытаний: плавный нагрев до температуры 70 °С; кратковременное ошпаривание соком температурой 84 °С; диффузионный процесс при температуре 72–73 °С.

Выполненные теоретические расчёты и их практическая реализация позволили обеспечить ритмичную работу диффузионной установки завода с отбором сока на уровне 110–115 %, температурой диффузионного сока 26,9 °С, содержанием сухих веществ в диффузионном соке на 0,8–0,9 % выше, чем сухих веществ циркуляционного сока вследствие вымывания сахара из клеток после их механического разрушения.

В течение сезона удалось обеспечить температуру отбора сока на 13,2 °С выше температуры стружки, получать холодный диффузионный сок и использовать для первой ступени его подогрева вторичные пары вакуум-аппаратов, так называемый utfельный пар.

По результатам сезона 2015 г. установлено, что модернизированный ошпариватель после реконструкции позволил повысить его производительность на 10–15 % по сравнению с номинальной. В среднем за сезон производительность завода была 3 400–3 600 т свёклы в сутки.

Анализ эксплуатации реконструированного ошпаривателя на Червонском сахарном заводе в сезон сахароварения 2015 г. свидетельствует, что по показателям тепловой эффективности он значительно превышает оригинальные аппараты производства Болоховского машиностроительного завода (г. Тула) и Черноморского судостроительного завода (г. Николаев) и приближается к декларируемым показателям аппаратов ведущих производителей оборудования для сахарной промышленности стран Западной Европы.

Интенсивный режим ошпаривания стружки обеспечивал её упругость после экстракции сахарозы, что позволило иметь потери сахара в жоме на уровне 0,28–0,32 % к массе свёклы при отжиме жома до СВ = 28 % и содержании сахара в высоложенной стружке на уровне 1,7–1,9 % к массе жома.

Сахарный завод в сезоне 2015 г. имел показатель потребления газа 25–26 м³ на 1 т свёклы, расход топлива на технологию на уровне 2,6 % к массе свёклы, в сезон 2017 г. «Червонский цукровик» снизил потребление газа до 23–24 м³ на 1 т свёклы.

Результаты проведённой работы позволяют использовать их при разработке новых типоразмеров оборудования для проведения диффузии сахарозы из свекловичной стружки, а также выполнять модернизацию колонных диффузионных установок всех типов при реконструкции сахарных заводов.

Список литературы

1. Аксельрод, Г.А. Экстрагирование. Система твёрдое тело – жидкость / Г.А. Аксельрод, В.М. Лысянский. – М. : Химия, 1974. – С. 254.
2. Бугаенко, И.Ф. Принципы эффективного сахарного производства / И.Ф. Бугаенко. – М. : МСК, 2003. – 287 с.
3. Даишев, М.И. Технологические основы технологии сахара. Ч. I. Технология получения диффузионного сока (современное состояние и перспективы разви-

тия) / М.И. Даишев. – Краснодар, 1997. – 68 с.

4. Ліпець, А.А. Технологія цукру. Т. I. Вирощування та зберігання цукрових буряків. Видобування сахарози / А.А. Ліпець [та ін.] // К. : ДП «Експрес-об'ява», 2015. – 288 с.

5. Лысянский, В.М. Процессы экстракции сахара из свёклы. Теория и расчёт. – М. : Пищевая промышленность, 1973. – 224 с.

6. Сапронов, А.Р. Технология сахара / А.Р. Сапронов, Л.А. Сапронова, С.В. Ермолаев // СПб. : Профессия, 2013. – 296 с.

7. Сergygin, O.O. Удосконалення технології та обладнання процесу дифузії / О.О. Сergygin, В.Г. Ярмілко // Цукор України. – 1997. – № 1. – С. 14–15.

8. Силин, П.М. Технология сахара / П.М. Силин. – М. : Пищевая промышленность, 1967. – 467 с.

9. Справочник по технологическому оборудованию сахарных заводов / В.Г. Белик [и др.]; Под ред. В.Г. Белика. – К. : Техніка, 1982. – 304 с.

10. Технологічний процес виробництва цукру з цукрових буряків. Правила ведення технологічного процесу виробництва цукру з цукрових буряків. ПУП 15.83-37-106:2007 / Мінагрополітики України. – К. : Цукор України, 2007. – 420 с.

11. Хелемский, М.З. Биохимия в свёкляносахарном производстве / М.З. Хелемский, М.Л. Пельц, И.Р. Сапожникова. – М. : Пищевая промышленность, 1977. – 224 с.

Аннотация. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований оптимизации работы диффузионной установки колонного типа методом усовершенствования конструкции ошпаривателя свекловичной стружки. **Ключевые слова:** диффузионная установка колонного типа, ошпариватель, активность инвертазы и пектолитических ферментов, потери сахарозы, экономия тепловых ресурсов.

Summary. The results of theoretical and experimental researches on optimization of a column type diffusion unit functioning by the method of improving design of a beet shavings scalding unit are presented.

Keywords: column type diffusion unit, scalding unit, activity of invertase and pectinolytic enzymes, sucrose loss, saving of heat resources.