

# Анализ работы продуктовых отделений сахарных заводов в сезоне 2020/21 г.<sup>§</sup>

**Ю.И. ЗЕЛЕПУКИН**, канд. техн. наук, доц. каф. технологии бродильных и сахаристых производств  
 (e-mail: yura.zelepukin.57@mail.ru)

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ВГУИТ)

**В.П. ЯНЬШИН**, генеральный директор  
 ООО ИК «Вектор» (e-mail: leto5056@mail.ru)

**С.Ю. ЗЕЛЕПУКИН**, инженер-технолог  
 ООО «Вестерос»

## Введение

В сезоне 2020/21 г. в Российской Федерации работало 68 сахарных заводов. Длительность производственного сезона в среднем по стране составила порядка 103 суток, что на 29 суток меньше уровня предыдущего (2019/20) сезона. Свыше среднеотраслевого показателя работали 23 сахарных завода. Более 120 суток работало 15 заводов, а более 130 суток – 8. Общая производственная мощность сахарных заводов по состоянию на 1 января 2021 г. составила 391,79 тыс. т переработки свёклы в сутки (на 1 января 2020 г. она равнялась 391,34 тыс. т; т. е. прирост производственных мощностей за 2020 г. составил 0,45 тыс. т). Среднесуточная производственная мощность одного сахарного завода, работавшего в 2020 г., составила 5,29 тыс. т, что на уровне 2019 г.

Мощность 6,0 тыс. т переработки свёклы в сутки и выше достигнута на 25 сахарных заводах, что соответствует показателям 2019 г. Самые крупные предприятия – это Добринский сахарный завод (Липецкая обл.) – 12,00 тыс. т, Ленинградский (Краснодарский край) – 11,50 и Успенский (Краснодарский край) – 11,00 тыс. т. Использование производственной мощности сахарных заводов во втором полугодии в области снизилось на 10,1 % – с 97,8 до 87,9 %.

## Продуктовое отделение завода

Анализ работы некоторых сахарных заводов за производственный период 2020/21 г. показывает, что резервов для повышения производительности завода, выхода сахара и его качества, а также для снижения потерь сахарозы на предприятиях достаточно, однако необходима тщательная и правильная организация технологического производства, схем тепло- и водообеспечения, согласованная работа которых позволит достигнуть запланированных результатов. Предлагается целесообразным повышение профессиональной подготовки специалистов всех уровней, которые могли бы участвовать не только в разработке рациональных технологических режимов, но и в постоянном контроле над их соблюдением.

На некоторых предприятиях неучтённые потери достаточно высоки. Это должно служить достаточным основанием для руководства обратиться в стороннюю организацию в целях проведения технологического аудита завода. Авторы занимались подобной работой и достигли положительных результатов. Многолетний опыт показывает, что целесообразнее проводить полный аудит технологической схемы, так как это даёт достоверную картину её состояния и позволяет учесть все негативные аспекты работы завода. Истинную инфор-

мацию о состоянии схем тепло- и водообеспечения можно получить также после их аудита. Только согласованная в технологическом плане работа предприятия с непрерывной увязкой всех вопросов с тепловой схемой и водообеспечением даст возможность осуществить рациональное решение по выпуску продукции высокого качества при минимальных затратах разнообразных ресурсов на производство.

Технологические схемы подавляющего большинства сахарных заводов включают в себя три последовательные ступени кристаллизации с получением утфелей, а затем и сахаров I, II, III кристаллизации и мелассы. Такая схема позволяет получать сахар-песок хорошего качества, соответствующего ГОСТ 33222-2015, и, кроме этого, минимизировать потери сахарозы в мелассе при кристаллизации. В настоящей статье предлагается обратить внимание на работу продуктовых отделений заводов, так как полный анализ работы предприятия займёт много места и времени. По мере необходимости авторы будут возвращаться к рассмотрению вопросов и по другим отделениям и участкам свеклосахарного производства.

## Уваривание утфеля I кристаллизации

Уваривание утфеля I кристаллизации проводится обычно по

§ Выбор спонсора научных публикаций осуществляется по усмотрению редакции, любая взаимосвязь между видами деятельности спонсора и результатами научной работы исключается



стандартному технологическому режиму. Заводка кристаллов на многих заводах осуществляется при помощи затравочной суспензии, которая может быть приготовлена в заводских условиях, но иногда покупается у сторонних организаций. Такая затравочная суспензия представлена кристаллообразователем для пищевой промышленности. Препарат готов к применению после интенсивного перемешивания. Однако этот материал для заводки кристаллов утфеля I кристаллизации желателно применять только в исключительных случаях. Кристаллообразователь предназначен для использования в процессе кристаллизации сахара на начальной стадии уваривания утфелей. Вносить его в вакуум-аппарат рекомендуется при коэффициенте пересыщения сахарного раствора 1,25–1,35, т. е. при чрезмерном пересыщении раствора. Расход обычно составляет 0,1 мл на 1 т утфеля. Таким образом, на 60 т утфеля I кристаллизации требуется 6,0 мл затравочной суспензии. Данное количество продукта является настолько малым, что невозможно добиться его равномерного распределения по всему объёму вакуум-аппарата, а это приводит к неравномерному росту кристаллов сахара внутри аппарата. Традиционно такой кристаллообразователь применяется в качестве затравки для уваривания утфеля II и III кристаллизации. Вакуум-аппараты, используемые в этих процессах, имеют меньшую ёмкость, а требования к качеству сахара в этом случае значительно ниже, чем к утфелю I кристаллизации.

Заводку кристаллов в вакуум-аппаратах нужно проводить затравочной суспензией, приготовление которой должно быть предусмотрено на станции подготовки затравки, включающей в себя две шаровые мельницы, а также роликовый стол. Желательно предварительно готовить маточный утфель и затем на его основе уваривать утфель I кристаллизации.

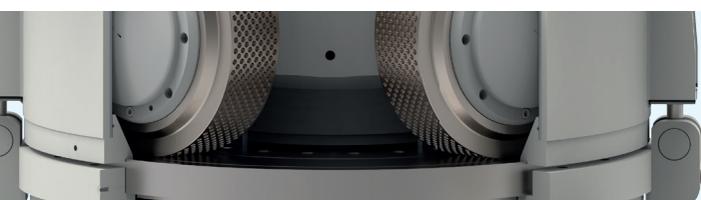
Внедрение такой схемы уваривания требует определённых затрат на разработку и монтаж техники для получения маточного утфеля. Специалисты всегда готовы оказать предприятию помощь в решении данного вопроса.

Вакуум-аппараты I кристаллизации должны быть снабжены циркуляторами, что позволяет обеспечить интенсивное движение утфеля в аппарате. Это существенно влияет на эффективность работы вакуум-аппаратов, которая, в свою очередь, оказывает влияние на качество сахара-песка, его выход. Практика показывает, что циркуляторы с вертикальным приводом могут не обеспечивать равномерного перемешивания продукта по объёму аппарата, иногда возникает интенсивная циркуляция утфеля внутри вакуум-аппарата в районе перемешивающего устройства. Верхний слой продукта в вакуум-аппарате может иметь меньшую скорость движения, более низкую температуру и повышенный коэффициент пересыщения. Неравномерная циркуляция утфеля по объёму вакуум-аппарата приводит к самопроизвольному образованию и росту новых центров кристаллизации (в зоне с повышенным коэффициентом пересыщения) в верхней части аппарата. Авторами статьи разработан аппарат, который существенно снижает эти недостатки [1].

Повышение скорости перемешивания способствует более однородному распределению кристаллов в растворе, что, в свою очередь, увеличивает их затравочное воздействие. Перемешивание ускоряет образование центров кристаллизации больше, чем скорость роста кристаллов. В большинстве случаев для получения однородного продукта используют растворы с затравкой. Самым современным является метод ввода в вакуум-аппарат так называемого маточного утфеля, приготавливаемого по особой технологии, непосредственно на сахарном заводе. Затравка вно-

сится в момент, когда концентрация раствора достигнет определённого пересыщения, соответствующего росту внесённых зародышей кристаллов сахара. После первого внесения затравки в раствор следует избегать дальнейшего образования центров кристаллизации в процессе роста кристаллов. Это даёт возможность получить однородные по величине кристаллы. Скорость образования кристаллического материала зависит от поверхности растущих кристаллов и степени пересыщения раствора, она должна быть равномерной по всему объёму кристаллизатора и соответствовать скорости испарения воды из поступающего сиропа, чтобы степень пересыщения оставалась ниже точки интенсивного образования центров кристаллизации. Рост кристаллов и образование центров кристаллизации идут одновременно и продолжают на протяжении всего цикла работы вакуум-аппарата. При малых степенях пересыщения раствора рост кристаллов будет проходить быстрее, чем образование новых, хотя скорость обоих процессов будет оставаться низкой. Эти процессы в значительной мере зависят от таких факторов, как скорость перемешивания, температура, концентрация, размер и число кристаллов, присутствующих в растворе, а также наличие примесей. Обычно стремятся обеспечить максимальную скорость роста кристаллов, совместимую с низкой скоростью образования центров кристаллизации. Такой процесс проводят при степенях пересыщения, близких к зоне резкого возрастания скорости образования центров кристаллизации, т. е. приблизительно там, где на кривой скорости образования центров кристаллизации указана точка В (см. рис.). Однако не всегда выгодно работать при таких условиях, так как другие факторы могут оказаться более важными.

При степенях пересыщения, соответствующих быстрому возрастанию скорости образования



зародышей, наблюдается тенденция к агломерации кристаллов, которые значительно менее прочны по сравнению с кристаллами, полученными при производительности, отвечающей меньшей степени пересыщения.

В вакуум-аппаратах I кристаллизации циркуляторы имеют постоянные обороты, равные 52 об/мин (заводские данные), что может быть недостаточным для однородного распределения кристаллов в utfеле. Оптимальное число оборотов циркулятора в вакуум-аппаратах utfеля I кристаллизации на некоторых сахарных заводах России представлено в таблице.

В целях получения однородных кристаллов сахара необходимо индивидуально для каждого сахарного завода подбирать оптимальное число оборотов циркулятора.

Образующиеся новые центры кристаллизации затрудняют рост ранее сформировавшихся кристаллов. Единственный способ борьбы с возникновением новых центров кристаллизации — растворять эти кристаллы водой или соком, что снижает эффективность работы вакуум-аппаратов.

На некоторых предприятиях вакуум-аппараты utfеля I кристаллизации обогреваются вторичным паром второго корпуса выпарной установки (ВУ), температура сокового пара которого составляет 118 °С. Температура кипения

Скорость вращения циркулятора на некоторых российских и зарубежных сахарных заводах

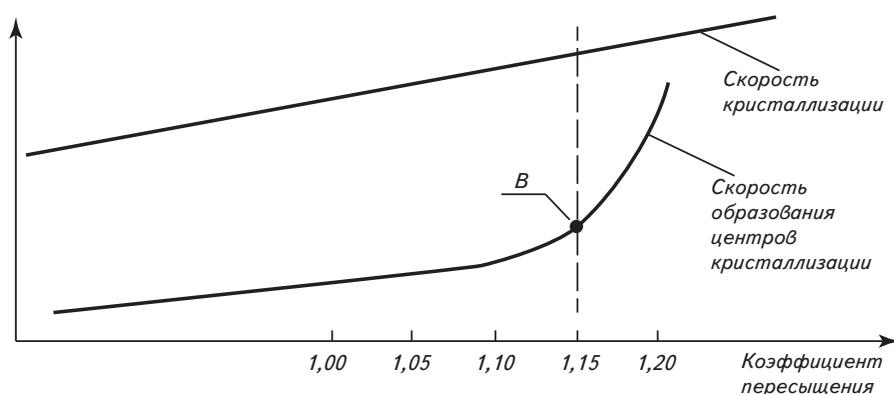
Предприятие	Регулировка числа оборотов циркулятора	Число оборотов циркулятора, об/мин
Олымский сахарный завод	Установлен частотный преобразователь	80
Земетчинский сахарный завод	Установлен частотный преобразователь	—
Знаменский сахарный завод	Установлен двухскоростной двигатель	60–80
Немецкие сахарные заводы	Установлены частотные преобразователи	50–80

utfеля I кристаллизации в аппарате равна 72–78 °С. Практически на всех российских сахарных заводах, где установлены вакуум-аппараты utfеля I кристаллизации с циркуляторами, они обогреваются вторичным паром третьего корпуса ВУ, который имеет температуру 113 °С. На сахарных заводах Германии, Франции, Польши вакуум-аппараты utfеля I кристаллизации с циркуляторами обогреваются вторичным паром четвертого корпуса ВУ.

Уваривание utfеля — сложный тепловой процесс выпаривания воды, дополнительно осложнённый процессом кристаллизации. Скорость выпаривания воды определяется разностью температур греющего пара и кипящей utfельной массы. Кристаллизация зависит от скорости роста кристаллов. Необ-

ходимо добиться равновесия двух процессов — выпаривания воды из сиропа и кристаллизации сахарозы. Если выпаривание будет проходить более интенсивно, чем кристаллизация, это приведёт к повышению коэффициента пересыщения, что спровоцирует образование новых мелких кристаллов сахара («муки»). Так, при обогреве вакуум-аппарата вторичным паром второго корпуса ВУ в паровую камеру будет поступать в 1,5 раза больше тепла, чем с паром третьего корпуса. Исходя из анализа фракционного состава белого сахара можно предположить, что при обогреве вакуум-аппаратов паром второго корпуса ВУ наблюдается интенсивное выпаривание воды из сиропа, существенный рост коэффициента пересыщения, что приводит к образованию «муки». Необходимо подобрать такой режим уваривания utfеля I кристаллизации (особенно в период кристаллизации сахара), чтобы максимально исключить процесс образования вторичных центров кристаллизации — «муки», которая образуется в местах с повышенной концентрацией сахарозы и пузырьками пара увлекается (флотируется) и выносится в слой пены, находящейся сверху utfельной массы. Водяные пары отделяются от utfельной массы, а «мука» накапливается в utfеле, в верхней части вакуум-аппарата [3].

Основная задача при уваривании и пробелке utfеля I кристал-



Влияние коэффициента пересыщения раствора на скорость и образование центров кристаллизации



лизации заключается в получении из сиропа и второго оттока утфеля I кристаллизации сахарозы в виде достаточно крупных, равномерных, правильных бесцветных кристаллов сахара-песка. Уваривание и пробелку утфеля I кристаллизации следует вести так, чтобы получить по возможности больший выход белого сахара и, следовательно, возможно меньший выход оттоков, так как дальнейшая их переработка связана с дополнительными издержками и неизбежными потерями сахара из-за термического разложения сахарозы в продуктивном отделении.

Работа вакуум-аппаратов с высокой разностью температуры между теплоносителем и обогреваемой жидкостью может приводить к интенсивному кипению раствора внутри аппарата, что усложняет работу аппаратуры по его автоматизации. Не исключено образование вторичных центров кристаллизации, т. е. выпадение «муки».

Для отделения сахара целесообразно устанавливать высокоскоростные центрифуги периодического действия с частотно-регулируемыми приводами в целях снижения общего потребления электроэнергии. При работе нескольких центрифуг должна быть предусмотрена блокировка их разгона между собой.

Следует обратить внимание на работу насосного парка завода. Его необходимо оснастить объёмными насосами. Установка центробежных насосов, имеющих высокую скорость вращения ротора для перекачивания густых продуктов, исключается. Из-за неправильной центровки насоса и электродвигателя возрастает аварийность насосного парка, возможен преждевременный выход его из строя, возрастает уровень шума от работы насосов. Для повышения эффективности работы насосного парка целесообразно провести обследование, например прибором-анализатором «Агат-М». Обычно измерение вибрации производится

на подшипниковых опорах в трёх взаимно перпендикулярных направлениях (вертикальном, поперечном и осевом) по ГОСТ ИСО 10816-1-97. Расцентровка валов насосов и электродвигателей приводит не только к повышенному шуму и вибрации, ухудшая санитарные условия для обслуживающего персонала, но и к повышенному износу оборудования, снижению его производительности.

На некоторых сахарных заводах Российской Федерации приступают к установке непрерывно действующих вакуум-аппаратов утфеля I кристаллизации. Но к этому вопросу необходимо относиться очень внимательно. Такие аппараты требуют значительных капитальных вложений, окупаются долго, нуждаются в обязательной установке предварительной подготовки «выращивания» кристаллической массы, периодической пропарке части вакуум-аппарата от образовавшихся конгломератов кристаллов сахара, что диктует необходимость в дополнительном оборудовании для переработки этих полупродуктов. Только после тщательной и всесторонней проработки этого сложного вопроса можно приступать к установке непрерывно действующих вакуум-аппаратов утфеля I кристаллизации.

### **Уваривание утфеля II и III кристаллизации**

На некоторых сахарных заводах вакуум-аппараты утфеля II и III кристаллизации не имеют циркуляторов. По нашему мнению, установка циркуляторов желательна — это позволит улучшить работу аппаратов, снизить расход пара, повысить качественные показатели утфелей. Заводка кристаллов в вакуум-аппаратах II и III кристаллизации может осуществляться кристаллообразователем для пищевой промышленности, подготовленным специализирующимися организациями. В случае уваривания утфеля III кристаллизации на кристаллической основе утфеля

II кристаллизации затравка не требуется. Технологическая служба сахарного завода совместно со специалистами аудиторских организаций, работающих в свеклосахарном производстве, могут разработать рациональный технологический режим по работе продуктового отделения конкретного сахарного предприятия, в котором будут учтены все пожелания по увариванию утфелей с учётом возможностей завода.

Охлаждённый утфель III кристаллизации целесообразно подавать в смеситель утфеля и мелассы, где за счёт горячей мелассы происходит снижение вязкости утфеля III кристаллизации перед центрифугированием. Меласса, обычно в количестве 5–10 % к массе утфеля, нагревается в пластинчатом теплообменнике до 80 °С, после чего смесь утфеля и мелассы поступает в утфелераспределитель с перемешивающим устройством, а затем на центрифугирование в автоматическом режиме.

Клеровка жёлтого сахара утфеля III кристаллизации поступает в клеровочную мешалку. На некоторых сахарных заводах есть возможность пробелить жёлтый сахар конденсатом. По мнению авторов, целесообразно рассмотреть вопрос о проведении аффинации утфеля последней кристаллизации. Это позволило бы повысить качество сахара-песка и увеличить его выход. Цель аффинации — повысить чистоту сахара последней кристаллизации, который после растворения возвращается на уваривание утфеля I кристаллизации. Наиболее известным является способ аффинации жёлтого сахара утфеля последней кристаллизации, предусматривающий смешивание сахара последней кристаллизации с первым оттоком утфеля I кристаллизации. В процессе перемешивания утфеля в течение 20 минут в аффинаторе часть несахаров из плёнки на кристаллах сахара переходит (диффундирует) в более чистый межкристалльный раствор [2].



Авторами настоящей статьи был разработан и затем опробован в промышленных условиях на одном из сахарных заводов Белгородской области способ аффинации. По сравнению с известным предложенный способ аффинации жёлтого сахара позволяет повысить чистоту аффинированного сахара на 0,5 % и снизить его цветность на 12,5 % [4, 5].

Анализируя работу вакуум-аппаратов на многих сахарных заводах, следует отметить, что не всегда работа вакуум-конденсационной установки (ВКУ) соответствует желаемым требованиям. Очень часто вакуум-аппараты работают при разряжении 0,070 – 0,080 МПа вместо необходимого значения 0,090–0,095 МПа. Для достижения нормальной работы ВКУ необходимо тщательно проанализировать работу конденсаторов, и лучше это доверить высококлассным специалистам. Очень часто даже незначительные изменения конструкции аппарата (ВКУ) позволяют существенно повысить его производительность, а в целом по заводу – увеличить выход сахара-песка, улучшить его качественные показатели и существенно снизить расход воды.

### Выводы

Работа, например, только продуктового отделения во многом определяет технико-экономические показатели работы сахарного завода в целом. Желательно, чтобы все вакуум-аппараты утфеля I, II и III кристаллизации были оснащены циркуляторами, что позволит сократить время уваривания утфелей, снизить расход пара, уменьшить термическое разложение сахарозы, повысить качество готовой продукции.

Вакуум-аппараты необходимо обогревать вторичным паром низкого потенциала с учётом разности потенциалов между теплоносителем и обогреваемой средой. При уваривании утфелей в вакуум-аппаратах следует стремиться

к равновесию двух процессов – выпаривания воды из сиропа и кристаллизации сахарозы. Это также положительно скажется на выходе сахара и его качестве.

Целесообразно предусмотреть проведение аффинации утфеля последней кристаллизации. Правильно организованная аффинация позволит повысить чистоту аффинированного сахара на 0,5 % и снизить его цветность на 12,5 %, что улучшит качество товарного сахара-песка.

Необходимо повысить эффективность работы вакуум-конденсационной установки, что также положительно повлияет на выход и качество готовой продукции и снизит расход воды на технологические нужды.

### Список литературы

1. Патент № 2489490 Российская Федерация, С2. Вакуум-аппарат для уваривания утфеля : заявл. 15.03.2011 : опубл. 08.10.2013 / Яньшин В.П., Голыбин В.А., Зелепукин Ю.И., Инюткин А.Д., Кузнецов Д.В. : ил.

2. Сапронов, А.Р. Технология сахарного производства / А.Р. Сапронов. – М. : Агропромиздат, 1986. – С. 271–27.

3. Зелепукин, Ю.И. Вакуум-аппараты с активаторами циркуляции утфеля / Ю.И. Зелепукин, В.П. Яньшин, С.Ю. Зелепукин // Сахар. – № 9. – 2013. – С. 41–43.

4. Патент № 2266334 Российская Федерация, С2, МПК С13F 1/02(2006.01). Способ аффинации жёлтых сахаров : заявл. 24.03.2003 : опубл. 20.12.2005 : бюл. № 35 / Фурсов В.М., Камынин В.В., Голыбин В.А., Зелепукин Ю.И., Кандаурова А.К.

5. Зелепукин, Ю.И. Аффинация жёлтого сахара последней кристаллизации / Ю.И. Зелепукин, С.Ю. Зелепукин, В.А. Федорук. – Сборник материалов II Международ. научно-технической конференции (заочной) «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство» (4 декабря 2015г.). – Воронеж: ВГУИТ, 2015. – С. 558–560.

**Аннотация.** Резервов для повышения производительности завода, выхода сахара и его качества, а также для снижения потерь сахарозы на предприятиях вполне достаточно. Необходима тщательная и правильная организация технологического производства, схем тепло- и водообеспечения, согласованная работа которых позволит достигнуть запланированных результатов. Целесообразно проводить полный аудит технологической схемы, так как это даёт достоверную картину её состояния и позволяет учесть все негативные аспекты работы завода.

Следует иметь достоверную информацию о состоянии схем тепло- и водообеспечения, что можно получить также после проведения аудита этих схем. Только согласованная работа предприятия в технологическом плане с неременной увязкой всех технологических вопросов с тепловой схемой и водообеспечением позволит организовать рациональное решение по выпуску продукции высокого качества при минимальных затратах на производство разнообразных ресурсов.

**Ключевые слова:** повышение выхода сахара и его качества, технологическая схема.

**Summary.** Reserves for increasing the productivity of the plant, sugar yield and its quality, reducing sucrose losses at enterprises are quite sufficient and a thorough and correct organization of technological production, heat and water supply schemes is necessary, the coordinated work of which will allow achieving the necessary and planned results. To do this, it is advisable to conduct a full audit of the technological scheme, because this gives a reliable picture of the state of the technological scheme and allows you to take into account all the negative aspects in the work of the plant.

It is also advisable to have reliable information on the state of the thermal and water supply schemes, which can also be obtained after an audit of these schemes. Only the coordinated work of the enterprise in technological terms with the indispensable linking of all technological issues with the thermal circuit and water supply will allow us to organize a rational solution for the production of high-quality products with minimal costs for the production of various resources.

**Keywords:** increasing sugar yield and quality, technological scheme.

