

Инновационные технологии как основа устойчивого экономического развития свеклосахарного производства

С.Л. ФИЛАТОВ¹, С.М. ПЕТРОВ², д-р техн. наук, профессор (e-mail: petrovsm@mail.ru),

Н.М. ПОДГОРНОВА², д-р техн. наук, профессор

М.С. МИХАЙЛИЧЕНКО¹, В.М. ДУМЧЕНКОВ¹

¹ООО «НТ-Пром»

²ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского» (ПКУ)

Введение

ГОСТ 33222-2015 «Сахар белый. Технические условия» определяет следующие категории производимого в России сахара, отличающегося по своим качественным характеристикам: «Экстра», ТС1 и ТС2 (указано по мере снижения показателей). Из 74 сахарных заводов, работавших в России в сезонах 2017–2019 гг., большинство выпускает только сахар категории ТС2, который реализуется в розничной торговле, используется в промышленной переработке и т. д.

За последние три года в связи с возросшими объёмами свеклосахарного производства российский рынок сахара систематически ощущает его переизбыток, что ведёт к снижению цены. Общая ёмкость рынка сахара в России оценивается в 5,8–6,0 млн т, из которых ёмкость рынка сахара категории «Экстра» – 2,5 млн т (основными потребителями сахара данной категории являются пищевые и перерабатывающие предприятия АПК). В агросезоне 2017 г. отрасль произвела 6,5 млн т сахара, в 2018 г. – 6,2 млн т, в 2019 г. – 7,2 млн т (в общем объёме доля сахара категории «Экстра» – не более 1 млн т в год). Себестоимость производства сахара приблизилась к его рыночной цене реализации (применительно к сахару категории ТС2), и некоторые свеклосахарные заводы работают на уровне нулевой рентабельности,

а с учётом операционной деятельности – с убытками.

Задачи работы

Учитывая низкую рентабельность производственной деятельности значительного числа российских свеклосахарных заводов, авторы настоящей статьи предлагают рассмотреть следующие пути выхода из создавшейся в сахарной промышленности ситуации:

– резкое снижение себестоимости производства сахара, выход на положительную рентабельность;

– выход на новые рынки сбыта с другой продукцией (сахаром категории «Экстра») и соответственно с другой ценовой политикой на продукцию;

– выход на новые рынки (как внутренний, так и внешний) с новыми видами продукции (жидкие сахара), удовлетворяющей сегодняшним и перспективным требованиям потребителя.

Выход на новые рынки сбыта (зарубежных стран и бывших союзных республик СССР, не входящих в Единое таможенное пространство) давно требует изменения подхода к качеству поставляемого товара – производимый на заводах России сахар категории ТС2 не пользуется спросом у зарубежных покупателей в силу своего качества и качества упаковки. Внешний рынок требует повышения качества продукции до уровня международных стандартов (до

европейского стандарта ЕС2, который соответствует российскому стандарту на сахар «Экстра»), при этом рыночная его цена значительно выше цены сахара категории ТС2.

В связи с ужесточением российского экологического законодательства актуальной проблемой для предприятий сахарной промышленности в настоящее время является эффективный контроль и предотвращение выбросов в атмосферный воздух, сбросов сточных вод, а также сокращение твёрдых отходов с учётом юридически обязательных предельных значений в экологически допустимых разрешениях, основанных на реализации концепции наилучших доступных технологий.

Существующий уровень технических решений

Современная технология переработки сахарной свёклы с применением известково-углекислотного способа очистки (ИУО) исчерпала резервы по повышению извлечения сахара из свёклы. По данным авторов, последние несколько десятилетий борьба идёт за повышение выхода сахара на 0,1 % к массе сырья. Рассчитывать на увеличение выхода сахара на 1 % и выше (к массе сырья) без применения принципиально новых технологических решений в переработке свёклы не представляется возможным. Работа

в этом направлении постоянно велась и ведётся отечественными и зарубежными научными организациями. К сожалению, после развала СССР исследования такого характера на постсоветском пространстве прекратились из-за отсутствия финансирования и оттока специалистов, занимавшихся фундаментальными изысканиями, основными направлениями которых были применение токов высокой частоты, процессы ультра- и нанофильтрации, применение различных ферментных препаратов в технологии диффузионных процессов и очистки соков свеклосахарного производства [6]. На основании экспертной оценки специалистов инжиниринговых компаний, экономистов и технологов сахарное производство в России, в котором применяется технология с известково-углекислотной очисткой диффузионного сока, становится всё более нерентабельным.

Ожидаемое введение климатически нейтрального режима работы сахарных заводов к 2050 г. потребует значительных инвестиций в кардинальное совершенствование энергоэффективности технологии, снижения расхода энергетических ресурсов и замедления истощения невозобновляемых природных ресурсов (известнякового камня, каменного угля, природного газа) [3, 13].

Инновационные технологии свеклосахарного производства

Следует заметить, что европейские сахаропроизводители и научные круги ранее уже объединяли свои усилия в проекте TOSSIE (Towards Sustainable Sugar Industry In Europe) [8], чтобы стимулировать поиск конструктивных решений данных вопросов. В результате для перспективного планирования переработки сахарной свёклы были разработаны рекомендации по снижению производственных затрат за счёт упрощения техноло-

гии, уменьшения проблем, связанных с потреблением энергии и воды, сокращением твёрдых, жидких и газообразных отходов. В частности, в этих целях к новым технологиям рекомендовано применять «Water Pinch» – систематический метод сокращения потребления воды и образования сточных вод посредством интеграции действий или процессов, связанных с использованием воды, и «Pinch Analysis» – методику минимизации энергопотребления путём оптимизации систем рекуперации тепла, методов энергоснабжения и рабочих условий процесса [15].

Конечные результаты программы TOSSIE следует рассматривать в связи с решением вопросов устойчивого развития европейской сахарной промышленности, переживающей процесс реструктуризации, который должен привести к значительной консолидации и повышению её эффективности. Планируется, что в результате сахарный сектор, помимо целлюлозно-бумажной промышленности, станет технологическим лидером в использовании возобновляемых ресурсов в Европе. Это должно обеспечить ключевую роль сахарного сектора в экономике европейских стран. Устойчивое развитие направлено на создание устойчивой и конкурентоспособной сахарной промышленности в Европе. Существенная роль при этом отводится исследованиям высокоинтегрированных сахарных заводов «второго поколения», использующим инновации (мембранные технологии, хроматографическое разделение и т. д.), которые повысят конкурентоспособность всего сектора.

Интеграция процессов – это эффективный подход, который может быть использован сахарной промышленностью для увеличения её рентабельности за счёт снижения потребления энергии, воды и сырья, сокращения выбросов парниковых газов

и образования отходов. В дополнение к инженерным решениям должны быть использованы инструменты, основанные на методах математического моделирования и оптимизации, процедуры, связанные с документами IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control – Европейская директива 96/61/ЕС о комплексном предотвращении и контроле загрязнения) и BAT (Best Available Techniques) для максимизации эффективности процесса и сокращения количества сырья [9, 14].

Экологические проблемы при традиционной переработке сахарной свёклы связаны в основном с производством большого количества свекловичного жома (целлюлозы), потреблением большого количества извести (которая превращается в шламы), производством мелассы и потреблением энергии и воды.

Следует отдельно отметить всё более возрастающую роль вопросов водоснабжения и водоотведения сахарных заводов. Как известно, в России на производственные цели сахаропроизводящие предприятия ежегодно используют около 10,0 млн м³ воды и отводят около 9,0 млн м³ стоков. Очистка сточных вод большинством заводов осуществляется на полях фильтрации. Сточные воды по органическим загрязнениям БПК в 6–10 раз превышают нормы. Кроме того, уровень заполнения полей фильтрации в 5 раз выше нормы и с наступлением отрицательных температур фильтрация через грунт резко снижается или полностью прекращается.

Указанные недостатки, а также неудовлетворительная эксплуатация полей фильтрации, отсутствие лотково-распределительной системы, очистка отстойников только по периметру, неимение полного комплекса оборотных систем для вод I и II категорий привели к тому, что на абсолютном большинстве сахарных заводов

поля фильтрации превратились в пруды-накопители, заболотились территории вокруг них. При этом создаётся угроза залповых сбросов неочищенных сточных вод в открытые водоёмы [2]. Экологичность сахарного производства связана с решением следующих задач:

– повышение эффективности производства за счёт снижения издержек использования минерально-сырьевых ресурсов (вода, известняковый камень, уголь, природный газ);

– поиск эффективных решений проблемы обеспечения высокого уровня защиты окружающей среды и здоровья человека, поскольку стандарты НДТ ИТС 44-2017 устанавливают более жёсткие требования к предельным уровням эмиссии загрязняющих веществ.

Означенные проблемы свеклосахарного производства необходимо решать в комплексе, так как проведённый анализ концепции «Наилучшие доступные технологии» показывает, что технология свеклосахарного производства и особенно экологические проблемы – это всегда комплекс взаимосвязанных методологических подходов.

Таким образом, в качестве инновационных принципов устойчивого экономического развития для свеклосахарного производства необходимо рекомендовать следующий комплекс технических и технологических решений.

Снижение водопотребления

Сухая подача свёклы, при которой 70 % земли удаляется на землеотделителях, даёт возможность достичь более точного дозирования свёклы на переработку и снижения объёма оборота транспортёрно-моечной воды (ТМВ).

С учётом того, что средняя производственная мощность одного сахарного завода Российской Федерации по переработке сахарной свёклы увеличилась, по данным Союзроссахара, почти двукратно

(составляла 2,83 тыс. т/сут в 1990 г. и достигла 5,26 тыс. т/сут в 2018 г.), обострилась проблема утилизации транспортёрно-моечного осадка, так как площадь полей фильтрации осталась прежней, соответствующей первоначальному проекту заводов. Поэтому назрела необходимость найти решение, обеспечивающее работоспособность заводов без увеличения нагрузки на поля фильтрации. В противном случае из-за увеличения объёмов переработки свёклы и вывода на поля фильтрации сверхнормативного количества взвешенных веществ происходит полное прекращение как фильтрации, так и естественной биологической очистки.

По мнению специалистов [4], показатель технического совершенства оборотных систем гидротранспорта и мойки свёклы, т. е. коэффициент использования оборотной воды в системе $K_{об}$ (%), следует использовать в качестве оценки технического состояния и совершенства оборотной системы гидротранспорта и мойки свёклы на сахарном заводе. Очевидно, что при показателях $K_{об} = 80–88$ % необходимо разрабатывать мероприятия по дальнейшему техническому усовершенствованию оборотной системы с использованием опробованных в производстве технологий и снижению $K_{об}$. В оборотной системе гидротранспорта и мойки свёклы при отсутствии сбросов в сточные воды, т. е. в системе, которая эксплуатируется работающей в замкнутом режиме, расход свежей технической воды составляет 25 % к массе свёклы, которая в основном компенсирует потери оборотной воды.

Сегодня разбавленный транспортёрно-моечный осадок вместе с фильтрационным осадком или раздельно сбрасывается в производственные сточные воды. Затем после отстаивания в земляных отстойниках в летнее время он вывозится в овраги или на непригодные для сельскохозяйственно-

го производства земли, реже – на поля. При этом в связи высокой влажностью осадка возникают сложности при разбрасывании его по полю. Следует иметь в виду, что транспортёрно-моечный осадок, накапливаемый в земляных отстойниках, по существу представляет собой удобрение с большим количеством питательных веществ. В связи с этим целесообразен его полный возврат на поля [7]. Это особенно актуально, так как ежегодное практически безвозвратное удаление части плодородного верхнего слоя почвы приводит к её истощению.

Эффективным вариантом механического обезвоживания густого осадка транспортёрно-моечной воды (ТМВ) является использование ленточных фильтпрессов, реализующих режим постепенного механического отжима и обезвоживания осадка, структурированного реагентной обработкой. Так, опыты зарубежных сахарных заводов по обезвоживанию осадка на ленточном фильтре дали положительные результаты, но из-за значительных дополнительных затрат на оборудование и электроэнергию такой метод обезвоживания не получил дальнейшего распространения.

С целью стабилизации работы полей фильтрации необходимо минимизировать подачу на них взвешенных веществ, для чего следует обеспечить отделение осадка ТМВ в сухом виде и вывод его из оборота очистки. При двукратно возросшем потоке сточных вод существующие карты полей фильтрации должны быть переведены фактически в другой режим работы, в котором на них подаётся только осветлённая вода.

В результате проведённых компанией «НТ-Пром» промышленных испытаний на Заинском сахарном заводе на выходе из установки механического обезвоживания густой суспензии ТМВ методом отжима осадка

в ленточном фильтр-прессе получена влажность осадка 60–70 % [5].

Предложенное техническое решение позволяет достичь следующих результатов:

- вывести осадок транспортёрно-моечной воды в сухом виде и использовать его в качестве почвогрунта для возвращения разбросным способом на земли сельхозугодий;

- направить на поля фильтрации только осветлённую фазу транспортёрно-моечных вод без взвешенных веществ и вернуть их в устойчивый режим работы по принципу биологической очистки;

- уменьшить экологическую нагрузку, оказываемую сахарным заводом на окружающую среду, путём снижения потребления свежей воды и эмиссии запаха от полей фильтрации.

Мембранно-ферментативная очистка (МФО) диффузионного сока

Основным методом очистки диффузионного сока в настоящее время является метод очистки при помощи извести и уголекислоты, которому более 150 лет. Отличаясь сравнительно высокой эффективностью, он в то же время имеет ряд существенных недостатков, к которым в первую очередь следует отнести значительный расход известняка и загрязнение окружающей среды за счёт фильтрационного осадка. На сегодняшний день известно более 100 вариантов схемы известково-уголекислотной очистки. Однако возможности совершенствования данного способа практически исчерпаны [1], и это не позволяет сахарным заводам достичь улучшения экономических показателей для поддержания прибыльности переработки сахарной свёклы.

Несмотря на то, что традиционное производство белого сахара из сахарной свёклы хорошо отработано технологически и аппаратурно

в течение многих лет, сахарная промышленность должна приспособиться к новым экологическим нормам и повысить качество сахара с оптимизацией производственных затрат, а также использованием новых методов, например мембранной фильтрации.

В 70-е гг. были исследованы возможности применять мембранные методы в сочетании с другими известными методами (известково-уголекислотной очисткой, ионитами, электродиализом и т. д.). И хотя такие комбинации дали определённый положительный результат, это не привело к промышленному применению мембранных методов в сахарном производстве.

В 90-е гг. основным объектом исследований очистки с применением мембранной технологии был диффузионный сок, поскольку именно его очистка таким методом представляется наиболее целесообразной. Некоторые успехи в этом направлении достигнуты итальянской фирмой Текспимонт, разработавшей способ получения из диффузионного сока, подвергнутого очистке при помощи мембран, сиропа, из которого затем кристаллизацией получают белый сахар. По данному способу диффузионный сок нагревают до температуры 75–95 °С, затем доводят величину его рН до 7–7,5. После этого сок подвергают механической фильтрации, проводимой в две ступени с целью удаления частиц размером более 100 мкм. Освобождённый от таких частиц сок подвергают ультрафильтрации (в отдельных случаях предусмотрено и частичное концентрирование очищенного сока при помощи обратного осмоса). Для снижения содержания ионов кальция и магния в соке проводится его умягчение при помощи ионообменных смол. Эффективность этого способа была проверена в производственных условиях. В течение производственного сезона было полу-

чено 3200 т сиропа, выведенного на хранение. Из него выработано около 1000 т белого сахара. По данным разработчика способа, затраты на его реализацию пока несколько выше в сравнении с общепринятой технологией получения сахара [1].

Отказ от традиционной обработки свёклы известковым молоком возможен, только если использовать инновационные технологии для сахарной промышленности – например такие, как концентрация при низкой температуре, кристаллизация при охлаждении, мембранные технологии обработки и процессы хроматографического разделения. Не рассматривая в подробностях причины возникновения этих предложений, широко описанных в литературе, можно проиллюстрировать применение мембранной технологии на схеме (рис. 1).

По данной технологии белый сахар может быть получен напрямую из сырого сока, если последний предварительно подвергнется микрофильтрации. При этом магний удаляется ионообменными смолами, сок концентрируется при низкой температуре, а затем сахар кристаллизуется путём охлаждения перенасыщенного раствора. Продукт, полученный на

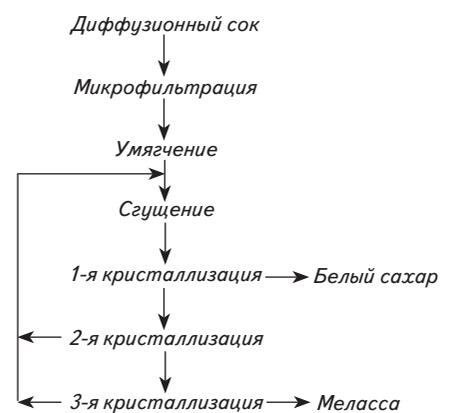


Рис. 1. Схема предлагаемой технологии микрофильтрации диффузионного сока [15]

первом этапе, представляет собой товарный белый сахар, в то время как сахар, полученный на следующих этапах, должен быть переработан. Микрофльтрация может проводиться с применением керамических мембран. Удаление магния из свёклы необходимо, чтобы исключить его совместную кристаллизацию с сахарозой. Общий выход кристаллического сахара сопоставим с выходом, получаемый при ИУО сока. Предложенная схема была изучена как в лаборатории, так и на опытных установках, но она требует подтверждения в производственных условиях [15].

В последнее время интерес к использованию мембранной фильтрации в сахарной промышленности всё более возрастает [10, 12]. При переработке сахарной свёклы основной проблемой является выделение несахаров, особенно красящих веществ. Отделение красящих веществ от зелёного сиропа исследовали методом ультра- и нанофильтрации раствора с содержанием сухих веществ 39,2 %. В процессе ультрафильтрации (УФ) применялись два типа полимерных мембран: мембраны I с номинальным отсечением по молекулярной массе (молекулярная масса отсечения — MWCO) величиной 15–20 кДа и мембраной II с номинальным отсечением по молекулярной массе в 6–8 кДа. Нанофильтрацию (НФ) проводили на полимерной мембране с MWCO 0,5 кДа (мембрана III). Исследованы эффекты УФ при 30 и 60 °С в диапазоне трансмембранного давления 1–4 бара, и НФ при 30 и 50 °С в диапазоне 5–30 бар. В ходе экспериментов прослеживалась взаимозависимость между потоком пермеата, трансмембранным давлением и соотношением объёмных концентраций. Изучено влияние рабочих параметров (трансмембранного давления, температуры и расхода) на эффективность удаления

красящих веществ. Наиболее высокие эффекты разделения УФ на исследуемых мембранах были достигнуты при трансмембранном давлении в диапазоне 2,5–4,0 бар при скоростях потока от 220 до 360 л/ч. В этих условиях цветность пермеата была ниже примерно на 55 и 58 % по сравнению с исходной при использовании мембраны I и мембраны II соответственно. Разделение красящих веществ на мембране III было наиболее эффективным, когда давление удерживалось на уровне около 30 бар и при расходе от 300 до 400 л/ч. В этих условиях цветность пермеата уменьшалась на 76 % [11].

Проанализировав работы по мембранной фильтрации ряда исследователей (в том числе советских второй половины 80-х гг.) авторы настоящей статьи пришли к заключению, что данный процесс даёт хороший результат по удалению несахаров, но не может быть применён в промышленности, так как мембраны быстро забиваются и прекращают работать. Способ продления работы мембран был найден после изучения опыта их эксплуатации в других отраслях пищевой промышленности. Так, в производстве натуральных осветлённых фруктовых соков широко применяется ультрафильтрация с предварительной обработкой фильтруемого продукта ферментными препаратами [6].

В результате исследований в компании «НТ-Пром» была собрана опытно-промышленная установка, обеспечивающая получение диффузионного сока из сахаросодержащего сырья (сахарной свёклы, топинамбура), его ферментацию, мембранную ультрафильтрацию, ионно-обменное обессоливание, обесцвечивание и выпаривание с получением в качестве готового продукта сахарного сиропа (далее — метод МФО). В качестве исходного сырья использовались как само растительное сырьё, так и диффузионный

сок, полученный в сезоне 2019 г. на свеклосахарных заводах ЦФО. Параметры полученного сахарного сиропа соответствуют параметрам сиропа сахарорафинадного производства (СВ 72–75 %, Ч 98–99 %). В процессе промышленной апробации установки были определены все технологические параметры её эксплуатации, сформирован производственный технологический регламент переработки сахарной свёклы с получением в качестве готовой продукции сахарного сиропа рафинадного достоинства, соответствующего категории экстра по ГОСТ 31896-2012 «Сахар жидкий» (рис. 2).

Основные параметры работы по существующей и предлагаемой к реализации технологии представлены в табл. 1. При этом в очистке сока не используется известь, что исключает образование кальциевых солей, снижает мутность и зольность сока и не приводит к накипеобразованию на выпарной станции, соответственно отпадает необходимость применять антيناкипины. Одновременно значительно ниже нормативных величин уменьшаются выбросы в атмосферу оксида углерода и оксидов азота, что улучшает экологическую обстановку на сахарном заводе.

В результате более полного снижения содержания несахаров в диффузионном соке при проведении мембранно-ферментативной обработки повышается выход сахара за счёт снижения его потерь в мелассе и уменьшения мелассообразования (рис. 3).

При этом за счёт уменьшения выхода мелассы снижается объём уваривания утфеля III кристаллизации, что приводит к уменьшению мощности оборудования продуктового отделения — станции уваривания и кристаллизации охлаждением утфеля III кристаллизации и, как следствие, снижению капитальных затрат. Наряду с использованием 5-корпусной

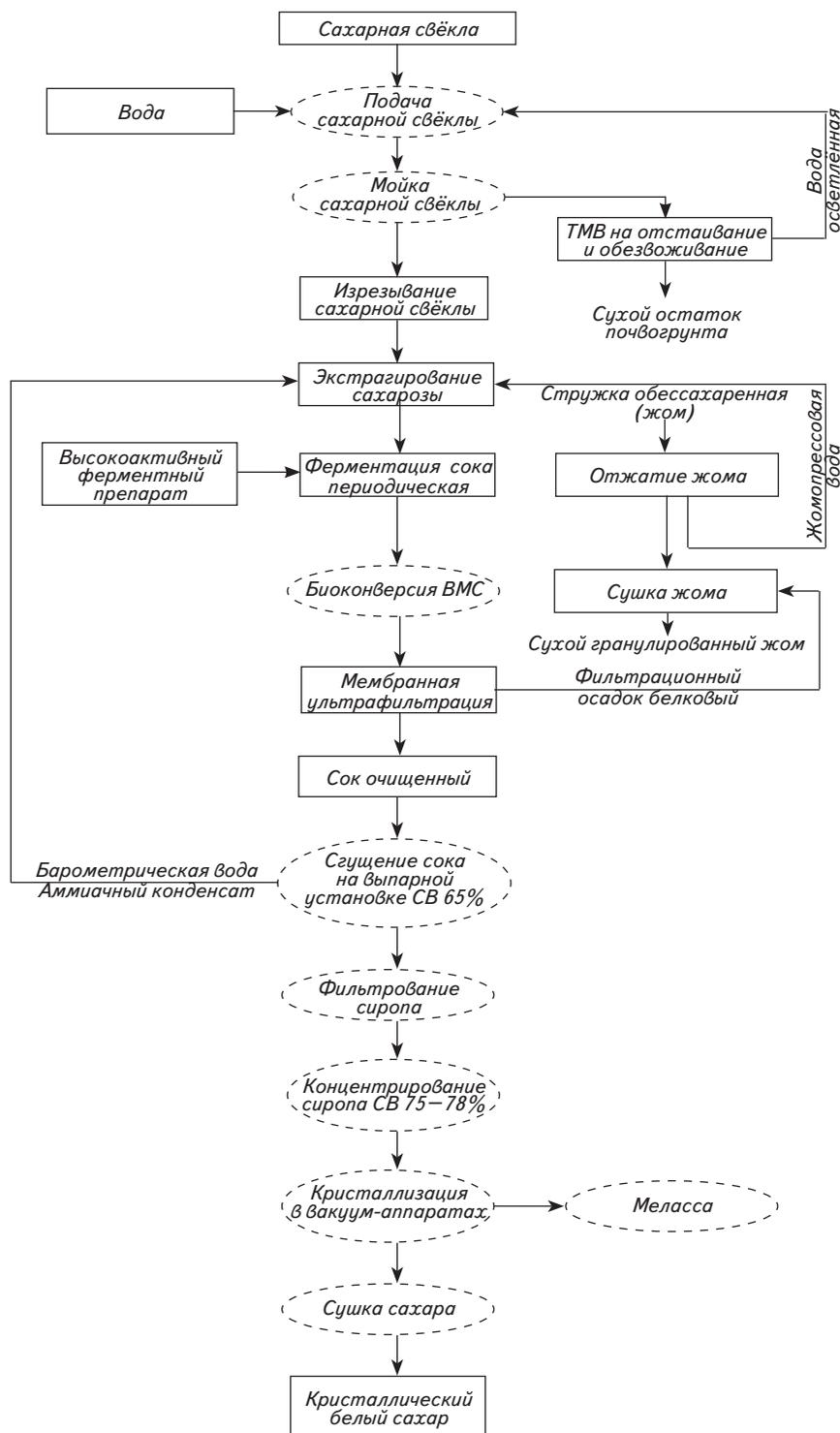


Рис. 2. Принципиальная схема производства сахара из сахарной свёклы, разработанная компанией ООО «НТ-Пром»

выпарной установки и форконцентрактора для сгущения сиропа до СВ 75–78 % удаётся получить снижения расхода топлива до 3 %.

Кроме описанных технологических приёмов техническое решение МФО сока открывает возможности получения нового

продукта, так как сироп после сгущения на МВУ имеет чистоту $Ч \geq 97\%$ (см. табл. 1). Хроматографический анализ состава сиропа показал содержание общих сахаров 99,8 %, в том числе инвертного сахара, раффинозы, полисахаридов. Такой состав сиропа позволяет говорить о новом сахарном продукте «жидкий мульти-сахар», обладающем стойкостью при длительном хранении в асептических условиях в условиях применения мер для предотвращения загрязнения этого продукта сторонними примесями и исключения контакта с внешней средой. Для этого необходимо задействовать соответствующие непрерывные асептические технологические процессы. Получение жидкого мульти-сахара высокой чистоты отличается от существующей традиционной технологии вывода сиропа на хранение после МВУ с $Ч = 91–92\%$, основным недостатком которой являются потери сахарозы (риск микробиологического заражения), увеличение выхода мелассы из-за необходимости защелачивания и поддержания рН около 9.

Таким образом, при использовании предложенного комплекса технологических решений могут быть получены следующие результаты.

1. Повышение выхода сахара на единицу расхода сырья за счёт снижения объёма производства мелассы приводит к снижению доли стоимости сырья в себестоимости производства сахара.

2. Повышается качество сахара до уровня российского белого сахара категории «Экстра», или требований европейских стандартов «Евро-2», что позволяет прогнозировать увеличение выручки предприятия за счёт более высокой цены реализации сахара.

3. Средний показатель расхода условного топлива по новой схеме мембранно-ферментативной обработки диффузионного сока



Рис. 3. Изменение качества диффузионного сока на различных этапах очистки: а) диффузионный сок; б) сок после микрофльтрации; в) сок, очищенный перед сжиганием

составит 3 %, в то время как средний по отрасли по отрасли составляет 4 %.

4. Повышается экологичность производства (благодаря отказу от применения известнякового камня и угля, снижению расхода свежей воды). Снижается нагрузка на поля фильтрации, которые переводятся в режим биологической очистки, и исключается эмиссия запаха от метанового брожения.

С целью оценки результатов реализации предлагаемой технологии МФО диффузионного сока было осуществлено сравнение технико-экономических показателей производства на базе действующего сахарного завода и с учётом текущих экономических показателей при различных технологиях переработки свёклы. Результаты сравнения экономической эффективности инновационной и традиционной технологий представлены в табл. 2.

Заключение

Полученные результаты позволяют авторам рекомендовать разработанную ими технологию мембранно-ферментативной очистки диффузионного сока к апробированию и внедрению на российских сахарных заводах. Это будет способствовать производству высококачественного сахара максимально экономически, экологически и социально устойчивым образом, снизит производственную

себестоимость, а также позволит осуществлять получение сахара в соответствии с концепцией климатически нейтральной хозяйственной деятельности. Всё перечисленное приведёт к повышению конкурентоспособности отечественной сахарной промышленности как на внутреннем российском, так и на зарубежных, в том числе европейском, рынках.

Список литературы

1. Бугаенко, И.Ф. Общая технология отрасли. Научные основы технологии сахара / И.Ф. Бугаенко, В.И. Тужилкин. — ГИОРД, 2007. — 512 с.
2. Поливанова, Т.В. Инновационные экозащитные технологии реконструкции объектов водоснабжения и водоотведения сахарных заводов / Т.В. Поливанова, В.В. Буромский, К.А. Фролов // Биосферная совместимость: человек,

регион, технологии. — 2013. — № 2. — С. 33–39.

3. Российско-германский проект «Климатически нейтральная хозяйственная деятельность: внедрение наилучших доступных технологий (НДТ) в Российской Федерации». 2020–2021. Второй этап проекта. Минприроды России – GIZ GmbH. <http://www.goodclimate.com/content/ru/main.php> (дата обращения 02.07.2020)

4. Сорокин, А.І. Про технічну досконалість оборотних систем гідротранспорту та миття буряків на цукрових заводах / А.І. Сорокін, М.Д. Хоменко // Цукор України. — 2015. — № 5. — С. 8–12.

5. Филатов, С.Л. Механическое обезвоживание осадка транспортно-моечной воды свеклосахарного производства ленточными фильтр-прессами / С.Л. Филатов [и др.] // Сахар. — 2020. — № 1. — С. 32–37.

Таблица 1. Сравнительный анализ показателей работы свеклосахарного завода по типовой и инновационной технологиям

Наименование параметра	Схема очистки сока МФО	Традиционная схема очистки сока
Чистота диффузионного сока, %	87,2	
Общий расход извести на очистку диффузионного сока, %	0	2,56
Чистота сока перед МВУ, %	97–98	90–91
Выход белого сахара, %	16,5	14,6
Содержание (потери) сахара в мелассе, %	0,6	1,8
Расход свежей воды на переработку 1 т свёклы, м ³	0,5	1,6
Общий расход условного топлива, %	3	4

Таблица 2. Сравнение экономической эффективности технологии МФО с традиционной технологией ИУО очистки сока при переработке сахарной свёклы

Параметры и экономические показатели	Технология с использованием ИУО сока, сахар ТС2	Схема очистки сока МФО	
		Переработка на кристаллический сахар «Экстра»	Переработка на жидкий мульти-сахар
Сахаристость сахарной свёклы, % к массе свёклы		17,5	
Расход известнякового камня на переработку, % к массе свёклы	3,52	0	0
Расход условного топлива, % к массе свёклы	4	3	2,5
Выход сахара, % к массе свёклы (в пересчёте на кристаллический сахар)	14,68	15,7	16,3
Себестоимость сахара без НДС (в пересчёте на кристаллический сахар), р/кг	25,64	24,47	22,98

6. *Филатов, С.Л.* Способ мембранно-ферментативной очистки диффузионного сока с использованием crossflow-ультрафильтрации и упрощённой дефекосатурации / С.Л. Филатов [и др.] // Сахар. – 2020. – № 3. – С. 9–15.

7. *Щербаков, В.И.* Использование осадков сточных вод для выращивания сельскохозяйственных культур / В.И. Щербаков, В.В. Помогаева // XIII Междунар. научн.-техн. конф., посв. памяти акад. РАН С.В. Яковлева [Электрон. ресурс] : сб. докл. – 2018. – <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniyaotkrdstu> (дата обращения: 03.07.2020).

8. *Bruhns, M.* Research for a sustainable European sugar sector / M. Bruhns [et al.] // Sugar Industry / Zuckerindustrie. – 2010. – Т. 135. – № 8. – С. 487–495.

9. *Bulatov, I.* Towards cleaner technologies: emissions reduction, energy and waste minimisation, industrial implementation / I. Bulatov, J. Klemeš // Clean Techn Environ. – 2009. – № 5. – С. 1–6. DOI 10.1007 / s10098-008-0177-0.

10. *Cartier, S.* Sugar refining process by coupling flocculation and crossflow filtration / S. Cartier [et

al.] // Journal of Food Engineering. – 1997. – Т. 32. – № 2. – С. 155–166.

11. *Gyura, J.* Influence of operating parameters on separation of green syrup colored matter from sugar beet

by ultra- and nanofiltration / J. Gyura, Z. Šereš, M. Eszterle // Journal of Food Engineering. – 2005. – Т. 66. – № 1. – С. 89–96.

12. *Regiec, P.* Purification of diffusion juice with ultrafiltration ceramic membrane / P. Regiec // Acta Agrophysica. – 2004. – Т. 4. – № 2. – С. 491–500.

13. *Schick, R.* Considerations on the optimal processing capacity of beet sugar factories / R. Schick // Sugar Industry. – 2020. – V. 145. – No. 6. – P. 363–379.

14. Towards Sustainable Sugar Industry in Europe. D4.4 Final Project Report Part II. Warsaw University of Technology. – 2008. – 18 p.

15. *Vaccari, G.* New proposal for integrated production of sugar and biofuels from sugar beet / G. Vaccari [et al.] // Clean Technologies and Environmental Policy. – 2009. – Т. 11. – № 1. – С. 31–36. <https://doi.org/10.1007/s10098-008-0175-2>. (дата обращения: 07.07.2020)

Аннотация. С учётом низкой рентабельности производственной деятельности свеклосахарных заводов предложены пути выхода из создавшейся ситуации. В качестве инновационных принципов устойчивого экономического развития свеклосахарного производства рекомендованы следующие технические и технологические решения: снижение водопотребления, механическое обезвоживание сгущённого осадка транспортёрно-моечной воды и использование его в качестве почвогрунта. Предложена новая технология мембранно-ферментативной очистки диффузионного сока, включающая в себя его ферментацию, мембранную ультрафильтрацию, ионно-обменное обессоливание, обесцвечивание и выпаривание с получением в качестве готового продукта сахарного сиропа, или жидкого мульти-сахара. Параметры сиропов соответствуют требованиям сахарорафинадного производства. В результате более полного удаления несахаров из диффузионного сока значительно повышается выход сахара за счёт снижения его потерь в мелассе и уменьшения мелассообразования.

Ключевые слова: снижение водопотребления, обезвоживание осадка, почвогрунт, мембранно-ферментативная очистка сока, сироп, жидкий мульти-сахар, увеличение выхода сахара.

Summary. Considering the current situation with low profitability of production at sugar beet plants, possible ways out of this situation are proposed. The following technical and technological solutions are recommended as innovative principles of sustainable economic development for sugar beet production: reduction of water consumption, mechanical dewatering of the condensed sediment of transport and washing water and its use as a soil. A new technology of membrane-enzymatic purification of diffusion juice is proposed, including its fermentation, membrane ultrafiltration, ion-exchange desalination, discoloration, and evaporation to obtain as a finished product sugar syrup, or liquid multi-sugar. The parameters of syrups meet the requirements of sugar-refining production. As a result of more complete removal of non-sugars from the diffusion juice, the yield of sugar significantly increases due to reducing its losses in molasses and reducing molasses formation.

Keywords: reduced water consumption, sediment dewatering, soil, membrane-enzymatic juice purification, syrup, liquid multi-sugar, increased sugar yield.