

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2022-18-3-44-58>

УДК 664.1.002.5

© 2022

Поступила 02.09.2022

Received 02.09.2022



Принята в печать 23.09.2022

Accepted 23.09.2022

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interests

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

ОЦЕНКА ПРЕИМУЩЕСТВ ПРИМЕНЕНИЯ ДИФфуЗИОННОГО ПУЛЬСАЦИОННОГО АППАРАТА ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ДИФфуЗИОННОГО ОТДЕЛЕНИЯ САХАРНОГО ЗАВОДА

Дмитрий П. Иовлев¹, Мансур И. Фарахов¹, Роальд Р. Акберов^{*1,2},
Ильдар Р. Стекольщиков¹, Артем В. Ахмеров³, Алексей А. Синявин³

¹ООО «Инженерно-внедренческий центр «Инжехим»;

ул. Шаятина, д. 14/83, г. Казань, 420049, Российская Федерация

²ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»;

ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация

³ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»;

ул. Красносельская, д. 51, г. Казань, 420066, Российская Федерация

Аннотация. Сахарная промышленность России играет огромную роль в обеспечении продовольственной безопасности страны и является стратегической отраслью. Из 90 имеющихся на сегодняшний день сахарных заводов в России треть закрыты в связи с нерентабельностью, связанной с высокой себестоимостью производства сахара из-за низкой производительности оборудования по сырью. Сырьем для производства является сахарная свекла преимущественно отечественного производства. Места расположения большинства сахарных заводов – небольшие муниципальные образования, для которых они являются градообразующими предприятиями. Для возрождения закрытых сахарных заводов необходимо наращивание их производительности, что трудновыполнимо из-за того, что в диффузионном отделении каждого сахарного завода находится один крупногабаритный импортный диффузионный аппарат механического типа, не позволяющий нарастить производительность никаким другим способом, кроме покупки нового более высокопроизводительного дорогого импортного диффузионного аппарата механического типа. В нынешних условиях неопределенностей и разрыва торговых связей с другими странами необходимы новые поставщики высокопроизводительных диффузионных аппаратов в самой России, которые не уступали бы западным образцам. Российская компания ИВЦ «Инжехим» разработала диффузионный пульсационный аппарат (ДПА) без механических подвижных транспортирующих устройств, сокращающий энергопотребление, эксплуатационные затраты, снижающий требования к качеству свекловичной стружки. Результаты испытаний на экспериментальной установке показали более высокое качество диффузионного сока. Светлость сока оказалась намного выше по сравнению с соками, получаемыми в традиционных диффузионных аппаратах, а доброкачественность сока оказалась на 5% выше при сопоставимом содержании сухих веществ, что

дает дополнительное количество произведенного сахара в год, позволяя ускорить возврат капиталовложений.

Ключевые слова: сахарный завод, диффузионное отделение, диффузия, пульсационный аппарат, свекловичная стружка, доброкачественность сока, реконструкция, Инжехим

Для цитирования: Оценка преимуществ применения диффузионного пульсационного аппарата для реконструкции диффузионного отделения сахарного завода / Иовлев Д.П. [и др.] // Новые технологии. 2022. Т. 18, № 3. С. 44-58. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2022-18-3-44-58>

ASSESSMENT OF ADVANTAGES OF USING A DIFFUSION PULSATING APPARATUS FOR RECONSTRUCTION OF THE DIFFUSION SECTION OF A SUGAR FACTORY

Dmitry P. Iovlev¹, Mansur I. Farakhov¹, Roald R. Akberov*^{1,2},
Ildar R. Stekolshchikov¹, Artem V. Akhmerov³, Alexey A. Sinyavin³

¹LLC Engineering-Promotional Center "Ingehim";
14/83 Shalyapin Str., Kazan, 420049, the Russian Federation

²Kazan Federal University;
18 Kremlyovskaya, Str., Kazan, 420008, the Russian Federation

³Kazan State Power Engineering University;
51 Krasnoselskaya Str., Kazan, 420066, the Russian Federation

Abstract. The sugar industry in Russia plays a huge role in ensuring the country's food security and is a strategic industry. Of the 90 sugar factories in Russia today, a third of the factories are closed due to unprofitability associated with the high cost of sugar production due to low feed capacity. The raw material for sugar production is sugar beet, mainly domestically produced. The locations of most sugar factories are small municipalities, for which they are the town-forming enterprises. For the revival of closed sugar factories, it is necessary to increase their capacity, which is difficult to do due to the fact that in the diffusion section of each sugar factory there is one large-sized imported diffusion apparatus of a mechanical type, which does not allow increasing capacity in any other way than purchasing a new, more high-performance expensive imported diffusion apparatus of a mechanical type. In the current conditions of uncertainty and disruption of trade relations with other countries, new suppliers of high-performance diffusion apparatus are needed in Russia itself, the apparatus of which would at least not be inferior to the Western apparatus. The Russian company Ingehim has developed a diffusion pulsating apparatus (DPA) without mechanical movable transporting devices, which reduces energy consumption, operating costs and lowers quality requirements for sugar beet chips. The test results obtained using an experimental unit showed a higher quality of the diffusion juice. The lightness of the juice was found to be much higher compared to juices produced in conventional diffusion apparatus, and the juice purity was found to be 5% higher at a comparable solids content, resulting in an additional amount of sugar produced per year, allowing for a faster return on investment.

Keywords: sugar factory, diffusion section, diffusion, pulsating apparatus, sugar beet chips, juice purity, reconstruction, Ingehim

For citation: D.P. Iovlev. [et al.] Assessment of advantages of using a diffusion pulsating apparatus for reconstruction of the diffusion section of a sugar factory. *New technologies*. 2022; 18(3): 44-58. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2022-18-3-44-58>

Введение

Сахар в России производится преимущественно из сахарной свеклы. Выращивание и переработка сахарной свеклы – достаточно отработанные процессы. При этом постоянно проводятся работы по повышению урожайности и сахаристости культуры и оптимизации технологического процесса переработки с целью снижения себестоимости продукции и повышения качества получаемого сахара. Как правило, сахарные заводы располагаются вблизи мест выращивания сахарной свеклы, часто в небольших муниципальных образованиях, для которых они являются градообразующими предприятиями.

Переработка всего заготовленного объема сахарной свеклы имеет сезонный характер и осуществляется в течение 3–4 месяцев в году. Это определяет необходимость высокой производительности сахарных заводов. Переработка сахарной свеклы в кристаллический сахар в упрощенном виде производится по следующей технологии. Корнеплоды сахарной свеклы, поступающие с полей на сахарный завод, очищаются от грязи, камней и других включений, промываются и нарезаются в свекловичную стружку. Стружка попадает в диффузионный аппарат с горячей водой, в котором образуется диффузионный сок. Диффузионный сок сгущается выпариванием до состояния сиропа, сироп варится в кристаллический утфель, а из утфеля на центрифугах получается влажный кристаллический сахар, который сушится, охлаждается и фасуется. Всего на линии имеется несколько десятков аппаратов различного назначения. Указанные этапы переработки выполняются в структурных производственных подразделениях, называемых участками и отделениями.

Средняя производительность сахарных заводов в России за последние 10 лет не превысила 5 тыс. т/сут. по свекле [1], хотя производительность отдельных производств достигла почти 11 тыс. т/сут.

[2]. Последние заводы считаются высокопроизводительными и рентабельными. За рубежом, однако, имеются производства производительностью до 25 тыс. т/сут. [3].

В настоящий момент в России по официальным данным имеется около 90 сахарных заводов, расположенных в 22 регионах России [4]. Треть заводов сейчас закрыты, что является удручающим фактом, поскольку негативно сказывается на социально-экономическом развитии сахаропроизводящих регионов в целом и муниципальных образований, задействованных в производстве сахара, в частности [4]. Следует отметить, что в некоторых регионах закрыто до 70%, а в отдельных регионах все сахарные заводы. Помимо проблемы социально-экономического упадка регионов данная проблема имеет также и общегосударственное значение, поскольку сахарная промышленность является стратегической отраслью, обеспечивающей продовольственную безопасность страны.

Одной из основных причин закрытия сахарных заводов является их низкая рентабельность, связанная с критически высокими эксплуатационными, энергетическими и другими затратами при относительно небольшой производительности переработки сахарной свеклы (порядка 2–4 тыс. т/сут.), что неизбежно ведет к более высокой, неконкурентоспособной себестоимости продукции. Другой причиной ограничения в наращивании мощности таких заводов часто является отсутствие свободных посевных площадей для выращивания свеклы, а длинные транспортно-логистические цепочки доставки сахарной свеклы сразу же существенно увеличивают себестоимость производства.

При наличии возможностей поставок требуемого объема сахарной свеклы наращивание производительности сахарных заводов не представляет технической сложности. На самом деле, нарастить производительность большинства

отделений и участков сахарных заводов (мойка, резка, фильтрация, упаривание, кристаллизация и др.) возможно за счет установки дополнительного оборудования, которое стандартно выпускается и набирается количественно под заданную производительность. Главная проблема кроется в диффузионном отделении, которое чаще всего содержит один крупногабаритный импортный диффузионный аппарат на заданную производительность. Как правило, это диффузионный аппарат механического типа от европейских производителей, приобретенный несколько десятилетий назад. Это двухшнековый (ДС) или ротационный диффузионный аппарат (РДА). Данные виды аппаратов содержат подвижные механические элементы (например, шнек), требующие регулярного технического обслуживания и ремонта. Необходимая периодическая замена деталей или узлов осложняется либо их отсутствием на рынке, поскольку подобные аппараты малой производительности в большинстве своем уже не выпускаются, либо их высокой стоимостью. Конструктивная сложность аппаратов и их высокая энергоемкость определяют критически высокие эксплуатационные расходы. Возможность существенного наращивания производительности уже имеющегося ДС или РДА технически не предусмотрена и принципиально невозможна. Выпускаемый более современный вид диффузионного аппарата – колонный диффузионный аппарат (КДА) – также не лишен указанных недостатков, поскольку в его конструкции также имеется подвижный механический транспортирующий элемент – трубовал с лопастями. Повышенная эффективность КДА по сравнению с ДС и РДА обусловлена более полным использованием рабочего объема аппарата, более компактной вертикальной компоновкой, меньшей энергоемкостью и другими отличиями. При этом конструктивно в КДА сохраняется высокая зависимость от качества стружки, ее физического состояния (степень

подмороженности, подпорченности, гнилости и др.) и характеристик ее нарезки. Плюсом КДА является то, что он выпускается на большие объемы сырья, начиная от 6 тыс. т/сут. и выше. Такие аппараты доступны только от зарубежных производителей, что препятствует обеспечению продовольственной безопасности страны и импортозамещению по используемому оборудованию. Последнее обстоятельство особенно актуально в нынешних условиях неопределенностей и разрыва сложившихся торговых связей России с ее зарубежными партнерами.

Для решения задач реконструкции неработающих или действующих низкорентабельных отечественных сахарных заводов российская компания ИВЦ «Инжехим» разработала диффузионный пульсационный аппарат (ДПА) непрерывного действия, который не имеет механических подвижных транспортирующих устройств и основан на принципиально новом способе технологического транспортирования свекловичной стружки, описанном ниже. Данный способ ранее еще не применялся на сахарных заводах, однако его эффективность была проверена на различных видах сырья при экстрагировании цикория [5], кофе, ячменя, гороха, солодки, розмарина, а также при экстрагировании березового гриба чаги и хмеля [6] в производственных условиях на предприятиях «Татхимфармпрепараты» и «Спиртзавод Марпосадский». Следует отметить, что на сегодня пока нет действующего промышленного аппарата для экстрагирования твердофазного сырья, в котором был бы реализован способ, разработанный ИВЦ «Инжехим». Предлагаемый способ экстрагирования позволяет повысить добротность диффузионного сока, от которой зависит выход сахарозы при переработке свеклы, что дополнительно способствует повышению рентабельности производства.

Целью данной статьи является исследование диффузии свекловичной

стружки, полученной из отделения свеклорезки одного из сахарных заводов России, на экспериментальной установке, реализующей пульсационный способ транспортирования, сопоставление показателей диффузионных соков, полученных в традиционном диффузионном аппарате и ДПА, сопоставление эксплуатационных характеристик КДА, РДА, ДС и предлагаемого ДПА на одну и ту же производительность переработки 6 тыс. т/сут. по свекловичной стружке, оценка технической возможности применимости ДПА и разработка принципиальной схемы отделения диффузии сахарного завода на основе ДПА.

Принцип работы ДПА

Пульсационная техника известна и широко применяется в различных областях. Особенно много разработок и внедрений в области экстракции в системах «жидкость-жидкость» для интенсификации процессов взаимодействия или разделения жидкофазных сред [7]. Также имеются решения с применением пульсаций для интенсификации процессов перемешивания [8], концентрирования растворов [9], фильтрации и др. Следует отметить, что во всех случаях пульсационное

воздействие применяется, в основном, для решения задач по развитию поверхности контакта фаз, минимизации градиента концентраций в объеме, улучшению тепло- и массообмена и т.п.

В отличие от вышеупомянутой пульсационной техники работа ДПА основана на оригинальном пульсационном способе непрерывного технологического транспортирования твердой дисперсии (сырья в форме свекловичной стружки), осуществляемого посредством чередования периода подачи импульса давления и периода сброса импульса давления с помощью внешней системы создания пульсаций (рис. 1). При подаче импульса осуществляется технологическое транспортирование сырья вверх, а при сбросе импульса – активная фильтрация экстрагента (горячей воды) через слой сырья. Таким образом, сырье перемещается вверх от одной подачи импульса к другой, активно и непрерывно взаимодействуя по пути с горячей водой в постоянном нестационарном противоточном режиме. Это определяет высокую эффективность протекания процесса диффузии (экстрагирования) сахара из свекловичной стружки. Заданная производительность ДПА по

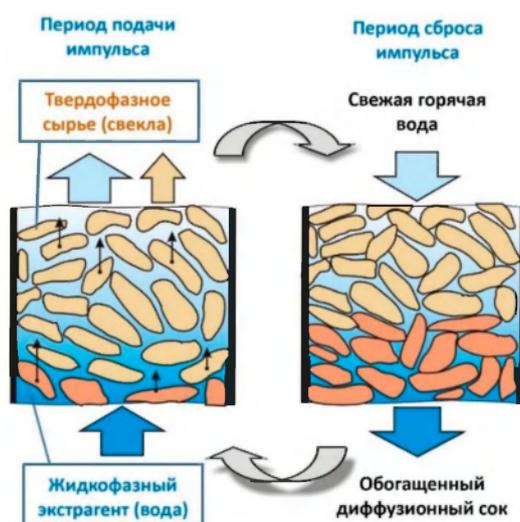


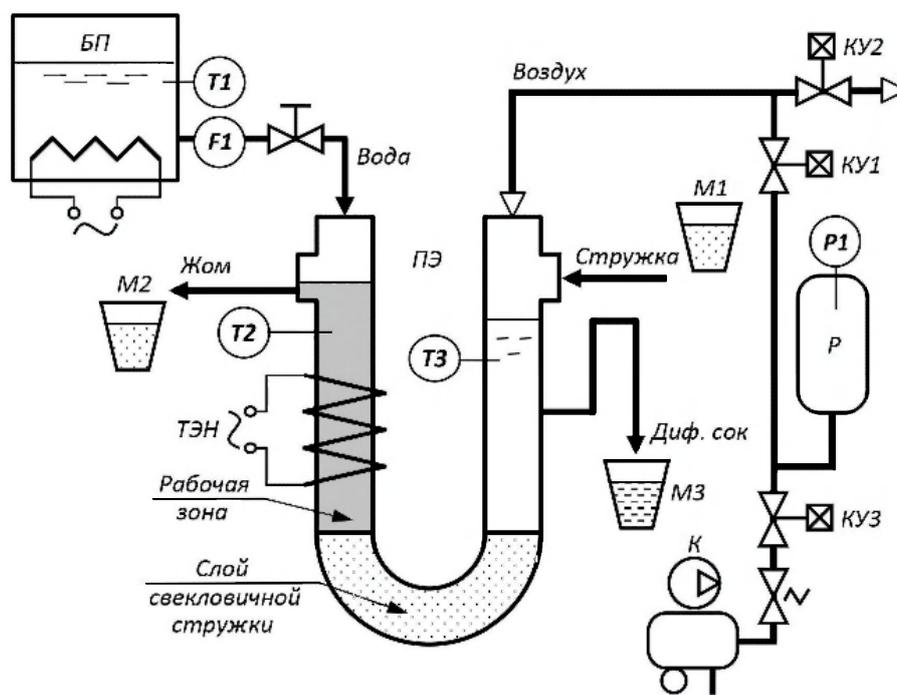
Рис. 1. Принцип оригинального пульсационного способа непрерывного технологического транспортирования сырья, лежащий в основе работы ДПА

Fig. 1. Principle of the original pulsating method of continuous technological transportation of raw materials, which underlies the DPA operation

перерабатываемому сырью обеспечивается конструктивными параметрами ДПА и характеристиками импульсного воздействия.

Конструктивно ДПА может быть реализован в форме U-образного аппарата или вертикального колонного аппарата. Эффективности аппаратов обоих конструктивных исполнений примерно одинаковы. U-образное исполнение больше подходит для малопроизводительных аппаратов, тогда как вертикальное колонное исполнение – для применения в крупнотоннажных аппаратах, как, например, на сахарных заводах.

В процессе диффузии образуется диффузионный сок. В рамках данной работы планируется определить показатели диффузионного сока, полученного на ДПА и провести их сравнение с показателями диффузионного сока, полученного в заводских условиях на традиционном диффузионном аппарате. Оставшаяся после выделения сока стружка является свекловичным жомом, который на сахарных заводах, как правило, отжимается и используется в качестве корма для скота. Жомопрессовая вода возвращается в диффузионный аппарат, а диффузионный сок направляется на последующие этапы



Основное оборудование:

ПЭ – пульсационный экстрактор;
 БП – бак питатель воды;
 Р – ресивер;
 К – компрессор;
 М1, М2, М3 – мерные сосуды;
 КУ1, КУ2, КУ3 – клапаны управления.

Измеряемые параметры:

F1 – расход воды;
 T1 – температура питательной воды;
 T2, T3 – температура сокостружечной смеси в аппарате;
 P1 – давление в ресивере.

Рис 2. Принципиальная схема экспериментальной установки для исследования диффузии стружки сахарной свеклы, осуществляемой пульсационным способом

Fig. 2. Schematic diagram of an experimental unit for studying the diffusion of sugar beet chips carried out by the pulsating method

переработки для получения кристаллического сахара.

Материалы и методы

Экспериментальная установка

Для исследования диффузии свекловичной стружки в пульсационном аппарате разработана и собрана экспериментальная установка, принципиальная схема которой приведена на рис. 2. Основным элементом установки является U-образный аппарат – пульсационный экстрактор (ПЭ) – с диаметром рабочей зоны 100 мм и высотой рабочей зоны 1 м. Установка содержит узел загрузки свекловичной стружки, узел выгрузки отработанной стружки (жом), узел ввода горячей воды (экстрагента), узел фильтрации и узел отвода диффузионного сока (экстракта). В ПЭ организовано непрерывное противоточное движение фаз: свекловичной стружки и горячей воды.

Пульсационное воздействие обеспечивается системой создания пульсаций жидкой фазы, т.е. горячей воды. Данная система состоит из компрессора *K*, ресивера *P*, клапанов управления *KV1*, *KV2* и *KV3*, датчика давления *PI*, системы автоматизации и системы трубопроводов. Для передачи импульса давления в правой верхней части U-образного аппарата предусмотрена пульсационная камера.

Подача свекловичной стружки осуществляется порционно через узел загрузки установки. После прохождения стружки по аппарату отработанная

свекловичная стружка (жом) выгружается через узел выгрузки установки. Свежая горячая вода самотеком непрерывно подается в установку из бака питателя воды *БП*. Для контроля расхода установлен расходомер *F1*. Для поддержания и контроля заданной температуры воды бак *БП* снабжен подогревателем и датчиком температуры *T1*.

Полученный в результате проведения процесса диффузионный сок отводится из ПЭ через узел фильтрации, расположенный ниже узла загрузки.

Установка имеет электрический обогрев корпуса аппарата при помощи *ТЭН* с плавной регулировкой температуры нагрева, полную теплоизоляцию корпуса и снабжена датчиками контроля температуры сокостружечной смеси *T2* и *T3*, что позволяет проводить процесс диффузии в заданных теплофизических условиях.

В ходе исследования применялось следующее дополнительное оборудование: мерные сосуды (погрешность ± 1 мл), секундомер (погрешность $\pm 0,1$ с), весы (погрешность ± 1 г), линейка (погрешность ± 1 мм), штангенциркуль (погрешность $\pm 0,1$ мм), рефрактометр ИРФ 454 Б2М (погрешность по коэффициенту преломления $\pm 0,0001$), поляриметр СМЗ (погрешность $\pm 0,04^\circ$).

Сырье

Сырьем являлась стружка сахарной свеклы, отобранная из отделения свеклорезки сахарного завода ООО «Буинский



Рис. 3. Исследуемая стружка сахарной свеклы

Fig. 3. Studied sugar beet chips

сахар» (г. Буинск, Республика Татарстан, Россия) (рис. 3).

Геометрические характеристики стружки (средние):

– высота × ширина × длина: 3,5 × 3,5 × 60 мм;

– доля частиц длиной менее 30 мм: 35%;

– длина 100 г стружки: 9–10,5 м.

Состояние свекловичной ткани (определены визуально) – частично подморожена (до 50%) с признаками гнилостных процессов.

Содержания сахара в исходной свекловичной стружке:

– дигестия (сахаристость): 14,5%;

– содержание сухих веществ (СВ) в нормальном (т.е. клеточном) соке: 18,0%;

– содержание сахарозы в нормальном соке: 14,7%;

– доброкачественность нормального сока: 81,6%.

Условия проведения диффузионного процесса в экспериментальной установке:

– Движение твердой дисперсии и жидкой фазы: непрерывное и противоточное.

– Твердая дисперсия: свекловичная стружка с температурой +75...85 °С, расход 1,7–2,5 кг/ч;

– Жидкая фаза: горячая вода с температурой +65...75 °С, расход 2,0–3,0 кг/ч;

– Время ведения процесса диффузии: 80–120 мин.;

– Величина откачки: 110–135%;

– Отбор и подготовка проб, оценка качества свеклы, диффузионного сока и других показателей: проводились по методикам сахарного производства с применением аналогичных приборов (рефрактометр, поляриметр).

Искомые характеристики

– концентрация диффузионного сока по СВ, %;

– концентрация диффузионного сока по сахарозе, %;

– доброкачественность диффузионного сока, %;

– светлость сока.

Методика определения характеристик

Для определения характеристик применен экспериментально-аналитический подход. Величина откачки определялась как отношение расхода жидкой фазы к расходу твердой дисперсии, умноженное на 100%. Сахаристость свеклы (дигестия), содержание СВ и сахарозы в диффузионном и нормальном соках определялись экспериментально путем исследования проб на приборах рефрактометр и поляриметр. Доброкачественность диффузионного сока определялась как отношение содержания сахарозы к содержанию сухих веществ в диффузионном соке, умноженное на 100%. Качественный показатель диффузионного сока – светлость сока – определялся визуально по пробе сока на просвет.

Результаты и обсуждение

Результаты определения светлости диффузионного сока, полученного в традиционном диффузионном аппарате (РДА на ООО «Буинский сахар») и экспериментальном диффузионном пульсационном аппарате (ДПА) для одних и тех же условий процесса приведены на рисунке 4. Видно, что светлость диффузионного сока намного выше после ДПА по сравнению с традиционным аппаратом, что свидетельствует о существенном сокращении протекающих при диффузии окислительных процессов, более высокой чистоте и низком содержании примесей в диффузионном соке.

Значения доброкачественности диффузионного сока, полученного в традиционном РДА (на ООО «Буинский сахар») и экспериментальном ДПА, при одних и тех же условиях процесса приведены в таблице 1. Видно значительное улучшение, примерно на 5% при сопоставимом содержании СВ, доброкачественности сока, образованного в ДПА, по сравнению с традиционным РДА. Это приводит к получению дополнительного количества сахара, что обеспечит ускоренный возврат капиталовложений.



Рис. 4. Сопоставление светлости диффузионного сока. Слева: диффузионный сок, полученный в традиционном диффузионном аппарате (РДА на ООО «Буинский сахар»). Справа: диффузионный сок, полученный в ДПА

Fig. 4. Comparison of diffusion juice lightness. Left picture: diffusion juice obtained in a conventional diffusion apparatus (RDA at LLC "Buinsky Sugar"). Right picture: diffusion juice obtained in DPA

Таблица 1

Сопоставление показателей диффузионного сока, полученного в традиционном диффузионном аппарате РДА (на ООО «Буинский сахар») и ДПА

Table 1

Comparison of quality indicators of diffusion juices obtained in a conventional diffusion apparatus RDA (at LLC "Buinsky Sugar") and DPA

Аппарат диффузии	Дигестия, %	Откачка, %	Время пребывания (диффузии), мин.	Содержание в диффузионном соке		Доброкачественность диффузионного сока, %
				СВ, %	Сахароза, %	
РДА	14,5	120	90	11,2	9,30	83,0
ДПА	14,5	119	90	12,5	11,05	88,4

На основании результатов сопоставления светлости и доброкачественности диффузионного сока, образованного в традиционном ротационном диффузионном аппарате (РДА на ООО «Буинский сахар») и ДПА, можно заключить, что ДПА превосходит традиционные диффузионные аппараты в отношении количественных и качественных показателей получаемого диффузионного сока.

Помимо повышения доброкачественности диффузионного сока, ДПА обладает рядом других преимуществ по сравнению с традиционными диффузионными аппаратами, которые применяются в сахарной промышленности. В таблице 2 приведено сопоставление основных эксплуатационных характеристик традиционных

диффузионных аппаратов колонного типа (КДА), ротационного типа (РДА) и двухшнекового типа (ДС) с аппаратом ДПА на одинаковую производительность по перерабатываемой сахарной свекле 6,0 тыс. т/сут. Данные по КДА взяты от производителя – компании «ВМА» (Германия), по РДА и ДС – данные из открытой литературы по сахарным производствам известных авторов (Сапронов А.Р., Бугаенко И.Ф., Горбатьюк В.И.), а по ДПА – данные расчетов аппарата ДПА на заданную производительность, произведенных специалистами ИВЦ «Инжехим».

Из таблицы видны следующие отличительные преимущества ДПА:

1. Отсутствие сложных механических транспортирующих элементов.

Вследствие этого отсутствует износ механизмов диффузионного аппарата, снижаются затраты на их ремонт и эксплуатацию, приобретение запчастей, повышается ресурс работы аппарата и др.

2. Отсутствие зависимости работоспособности ДПА от качества свекловичной стружки, ее физического состояния (степени подмороженности, подпорченности, гниlostности и др.) и характеристик ее нарезки, что позволяет при необходимости организовать переработку «боя» свеклы и хвостиков, давая дополнительное количество произведенного сахара.

3. Практически отсутствует дополнительное механическое разрушение стружки в ДПА, что сказывается на снижении мезги в диффузионном соке, его повышенной светлости, на сокращении расходов по очистке диффузионного сока. В традиционных аппаратах повышенное мезгообразование определяется наличием механических подвижных транспортирующих устройств.

4. Для диффузии в ДПА используется минимальный рабочий объем аппарата, который меньше по сравнению КДА в 2,4 раза, по сравнению с РДА в 2,9 раз, а по сравнению с ДС в 4,7 раз, что говорит о более высокой эффективности ДПА при прочих равных условиях.

5. Для размещения ДПА требуется до 20% меньше производственной площади даже по сравнению с колонным аппаратом КДА, не говоря уже о размещении РДА и ДС, что позволяет устанавливать ДПА компактно как внутри производственного помещения, так и при необходимости на улице, освобождая площади для размещения оборудования других технологических участков.

6. Суммарная потребляемая мощность ДПА имеет минимальные значения по сравнению с традиционными диффузионными аппаратами, при этом на 25% ниже, чем у КДА, более чем на 50% ниже, чем у РДА и на 70% ниже, чем у ДС. Это напрямую снижает эксплуатационные

затраты при производстве сахара и его себестоимость.

7. Аппарат ДПА имеет минимальную массу, которая меньше по сравнению традиционными аппаратами на 40% и более, что снижает нагрузку на фундамент, сокращает расходы на возведение фундамента, облегчает перевозку аппарата и другие.

8. Изготовление нового аппарата ДПА по требованию Заказчика возможно как на малую производительность от 1 до 4 тыс. т/сут. по свекле, так и на большую производительность от 6 тыс. т/сут. и выше, что определяет более широкие возможности для проведения модернизации диффузионных участков как на действующих, так и на вновь возводимых сахарных заводах.

Приведенные выше технические характеристики и преимущества ДПА говорят как о возможности его функциональной применимости в сахарном производстве, так и о высокой эффективности ДПА по сравнению с традиционными диффузионными аппаратами различных типов, используемых на сахарных заводах России.

Указанные отличительные преимущества и высокие эксплуатационные показатели ДПА определяют возможность его применения для эффективной реконструкции диффузионного отделения сахарных заводов. Реконструкция может осуществляться посредством замены традиционных диффузионных аппаратов любого типа на ДПА при сохранении действующей производительности и путем создания дополнительной технологической линии на базе ДПА, которая будет эксплуатироваться параллельно действующему диффузионному аппарату с возможностью наращивания общей мощности переработки свеклы. Следует отметить, что в первом случае все имеющиеся участки и отделения, кроме диффузионного, сохраняются без изменения и сохраняются технологические входные и выходные потоки. Принципиальная схема

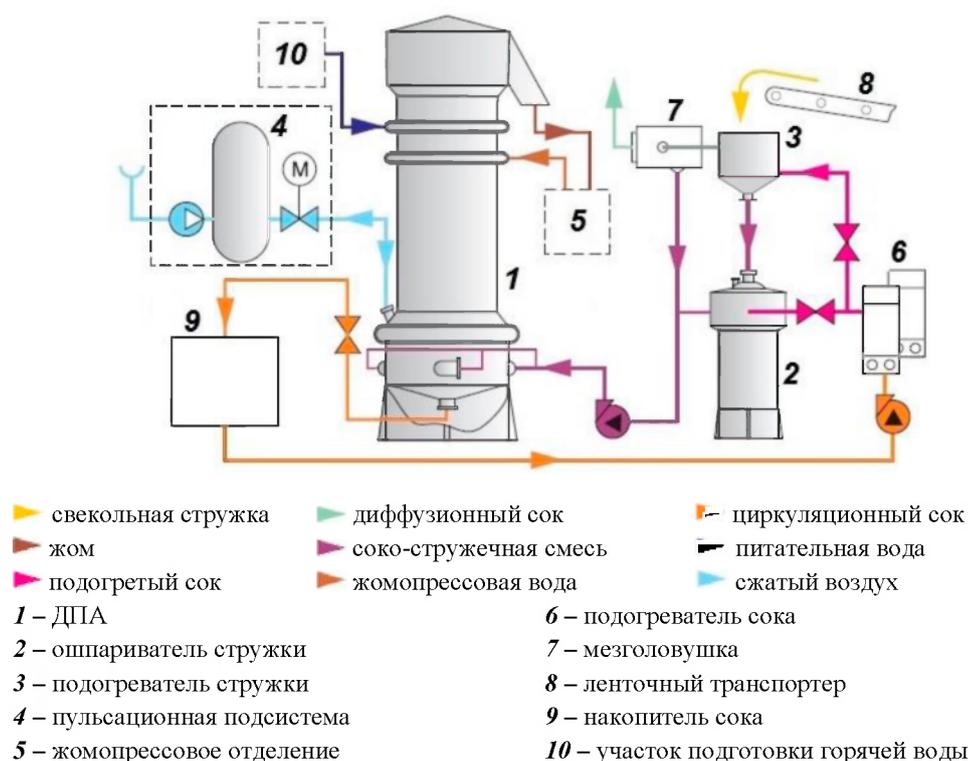


Рис 5. Принципиальная схема реконструированного диффузионного отделения сахарного завода с применением ДПА

Fig. 5. Schematic diagram of the reconstructed diffusion section of a sugar factory using DPA

диффузионного отделения сахарного завода с применением ДПА при сохранении действующей производительности приведена на рисунке 5. Использование ДПА не нарушает типовую схему диффузионного отделения, но при этом позволяет получить дополнительные преимущества в виде сокращения энергозатрат, повышения выхода сахара из свекловичной стружки, уменьшения габаритов и массы оборудования, снижения капитальных затрат и эксплуатационных расходов, снижения сложности ремонта и др. (см. таблицу 2).

Помимо схемы, приведенной на рис. 5, возможны и другие варианты реконструкции диффузионного отделения с применением ДПА. Например, ДПА может быть установлен параллельно с существующими диффузионными аппаратами малой производительности для

наращивания общей производительности диффузионного отделения сахарного завода при наличии свободных резервов мощности в оборудовании других участков и отделений. В случае использования ДПА для значительного наращивания общей производительности потребуется дополнительно создавать все необходимые участки и отделения сверх имеющихся резервов действующего оборудования. При этом данную реконструкцию целесообразно осуществлять путем поэтапного наращивания мощности отдельных участков, что в отличие от отделения диффузии возможно за счет применения стандартно выпускаемого оборудования. Варианты реконструкции диффузионного отделения и сахарного завода в целом определяются собственниками, но применение ДПА позволяет реализовать любой из вариантов за счет возможности

Таблица 2

Сравнительные эксплуатационные характеристики диффузионных аппаратов
производительностью по перерабатываемой сахарной свекле 6,0 тыс. т/сут.

Table 2

Comparative characteristics of diffusion apparatus having the processed sugar
beet capacity of 6.0 thousand tons per day

Наименование диффузионного аппарата	КДА (колонный)	РДА (ротационный)	ДС (двухшнековый)	ДПА (пульсационный)
Транспортирующий элемент	Трубовал с лопастями	Корпус аппарата	Шнек	Нет
Характеристика свекловичной стружки: длина стружки весом 100 г, м	8–12	14–16	13–15	6–16
Зависимость работоспособности от качества и физического состояния свекловичной стружки (степень подмороженности, подпорченности, гниlostности и др.)*	Высокая	Высокая	Высокая	Низкая
Дополнительное разрушение стружки в аппарате**	Высокое	Среднее	Высокое	Отсутствует
Время диффузии, мин.	75–80	65–70	60–65	65–80
Рабочий объем аппарата, м ³	1005	1230	1986	424
Габаритные размеры установки, м				
высота	25	14	13,4	20
длина	9	43,5	34,5	8
ширина	9	12	8,8	8
Суммарная потребляемая мощность, кВт	120	175	320	90
Масса аппарата, т	300	более 300	более 300	180

* На основании конструктивных особенностей диффузионных аппаратов

** За счет механических подвижных транспортирующих устройств (шнек, трубовал и др.), обеспечивающих технологическое транспортирование свекловичной стружки

изготовления и поставки нового ДПА на любую заданную производительность, начиная от 1 до 4 тыс. т/сут. по свекле, а также на производительность 6 тыс. т/сут. и более.

При этом следует отметить, что аппараты РДА и ДС уже морально устарели и на сегодня не выпускаются, а КДА выпускаются зарубежными производителями производительностью 6 тыс. т/сут. по свекле и более.

Учитывая тот факт, что сахарные заводы работают всего 3–4 месяца в году, возможно создание нового диффузионного отделения с применением ДПА для переработки других видов растительного сырья в остальные месяцы года, что позволит получить дополнительную прибыль и создать рабочие места для круглогодичной работы.

Поскольку ДПА является полностью отечественной разработкой российской

компании ИВЦ «Инжехим», использование ДПА вместо импортных диффузионных аппаратов позволит решить проблему импортозамещения по оборудованию и обеспечить продовольственную безопасность страны.

Заключение

На основе проведенного исследования можно заключить, что новый вид диффузионного аппарата для сахарных заводов России под названием ДПА разработки компании ИВЦ «Инжехим» производит диффузионный сок, обладающий характеристиками не хуже, а даже лучше, чем сок, произведенный в традиционных диффузионных аппаратах из одного и того же сырья при одинаковых условиях переработки: температура процесса, время диффузии, сахаристость свекловичной стружки. В частности, светлость диффузионного сока оказалась намного выше, а доброкачественность диффузионного сока оказалась выше на 5% при сопоставимом содержании СВ, что дает дополнительное количество произведенного сахара, позволяя понизить срок окупаемости от внедрения ДПА вместо традиционного диффузионного аппарата аналогичной производительности по сырью. К тому же, ДПА по сравнению с традиционными диффузионными

аппаратами дает снижение энергозатрат от 25 до 70%, сокращение производственной площади от 20% и выше, увеличенный межремонтный срок эксплуатации. В дополнение к этому, металлоемкость и, следовательно, вес аппарата значительно меньше, что удешевляет его стоимость, сокращает расходы на транспортировку при покупке, ремонте и эксплуатации, уменьшает нагрузку на фундамент и т.п. Отсутствие механических подвижных элементов повышает надежность и общий срок службы аппарата. Являясь полностью отечественной разработкой, ДПА может сыграть важную роль в обеспечении продовольственной безопасности страны. Поскольку ДПА проще и надежнее своих традиционных аналогов, с помощью ДПА можно реконструировать диффузионные отделения закрытых или низкорентабельных действующих сахарных заводов России, наращивать мощность переработки действующих заводов, а также использовать его при проектировании и строительстве новых сахарных заводов. Также в связи с тем, что сахарные заводы заняты переработкой сахарной свеклы всего 3–4 месяца в году, возможно использование ДПА в оставшиеся месяцы для переработки других видов растительного сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчарова Н.И., Лейпи А.Р., Скляренко С.А. Экономическая безопасность государства: современное состояние и перспективы укрепления, посредством регулирования стратегически важных пищевых продуктов // Вестник Института дружбы народов Кавказа (Теория экономики и управления народным хозяйством). Экономические науки. 2019. № 3 (51). С. 133–142.
2. Кувырко М. Российскому сахару придется искать счастья за рубежом [Электронный ресурс] // Взгляд. Деловая газета. 2020. 2 марта. URL: <https://vz.ru/economy/2020/3/2/1026340.html>
3. Ганенко И. Топ-10 сахарных заводов. Лидеры переработки в завершившемся сезоне [Электронный ресурс] // Агроинвестор. 2017. № 8. URL: <https://www.agroinvestor.ru/rating/article/28373/>
4. Мое дело. Интернет Бухгалтерия [Электронный ресурс]. URL: <https://www.moedelo.org/>
5. Модернизация действующих цикорных заводов с применением пульсационных экстракторов непрерывного действия / Иовлев Д.П. [и др.] // Новые технологии. 2022. Т. 18. № 1. С. 40–52.
6. Энерго- и ресурсоэффективность диффузионного аппарата в производстве свекловичного сахара / Гурьянов А.И. [и др.] // Сахар. 2008. № 2. С. 44–46.

7. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. 9-е изд. М.: Химия, 1973. 753 с.
8. Седов А.А. Интенсификация процессов экстрагирования из твердых пористых тел в пульсационных аппаратах и методы их расчета: дис. ... канд. техн. наук. Иваново, 2001. 126 с.
9. Пульсационные технологии и аппаратура при производстве биологически активных веществ и пищевых добавок / Бомштейн В.Е. [и др.] // Успехи современного естествознания. 2004. № 2. С. 61.

REFERENCES:

1. Ovcharova N.I., Leipi A.R., Sklyarenko S.A. Economic security of the country: the current state and prospects for strengthening through the regulation of strategically important food products // Bulletin of the Institute of Friendship of the Peoples of the Caucasus (Theory of Economics and Management of the National Economy). Economic Sciences. 2019. No. 3 (51). P. 133–142. (In Russ.)
2. Kuvyrko M. Russian sugar will have to seek happiness abroad // Vzglyad. Business Newspaper. March 2, 2020 URL: <https://vz.ru/economy/2020/3/2/1026340.html> (In Russ.)
3. Ganenko I. Top 10 sugar factories. Processing leaders in the completed season // Agroiinvestor. 2017. No. 8. URL: <https://www.agroiinvestor.ru/rating/article/28373/> (In Russ.)
4. My Business. Internet Accounting. URL: <https://www.moedelo.org/> (In Russ.)
5. Iovlev D.P., Farakhov M.I., Akberov R.R., Stekolshchikov I.R., Akhmerov A.V. Modernization of operating chicory factories using continuous pulsating extractors // New Technologies. 2022. V. 18. No. 1. P. 40–52. (In Russ.)
6. Guryanov A.I., Sinyavin A.A., Iovlev D.P., Faizullin I.K., Fassakhov R.Kh. Energy and resource efficiency of the diffusion apparatus in beet sugar production // Sugar. 2008. No. 2. P. 44–46. (In Russ.)
7. Kasatkin A.G. Basic processes and apparatuses of chemical technology. 9th ed. Moscow: Khimiya, 1973. (In Russ.)
8. Sedov A.A. Intensification of processes of extraction from porous solids in pulsating apparatus and methods for their calculation: Ph.D. dissertation. Ivanovo, 2001. (In Russ.)
9. Bomshtein V.E., Zolotnikov A.N., Malyshev R.M., Malinovsky V.N., Sedov A.A. Pulsating technologies and equipment in the production of biologically active substances and food additives // Advances in current natural sciences. 2004. No. 2. P. 61. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Дмитрий Петрович Иовлев, заместитель директора по инновациям ООО «Инженерно-внедренческий центр «Инжехим»

diow@inbox.ru
тел.: 8(843)5702318

Мансур Инсафович Фарахов, директор ООО «Инженерно-внедренческий центр «Инжехим», доктор технических наук

info@ingehim.ru
тел.: 8(843)5702318

Роальд Рифкатович Акберов, научный консультант ООО «Инженерно-

Dmitry P. Iovlev, Deputy Director for Innovation of LLC Engineering-Promotional Center “Ingehim”

diow@inbox.ru
tel.: 8(843)5702318

Mansur I. Farakhov, Director of LLC Engineering-Promotional Center “Ingehim”, Doctor of Technical Sciences

info@ingehim.ru
tel.: 8(843)5702318

Roald R. Akberov, Scientific Consultant of LLC Engineering-Promotional

внедренческий центр «Инжехим», кандидат технических наук, старший научный сотрудник Лаборатории высокопроизводительных вычислений, медицинской кибернетики и машинного зрения ФГА-ОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

roaldakberov@yahoo.com
тел.: 8(843)5702318

Ильдар Равильевич Стекольников, инженер ООО «Инженерно-внедренческий центр «Инжехим»

ildarstek@gmail.com
тел.: 8(843)5702318

Артем Владимирович Ахмеров, доцент кафедры «Энергообеспечение предприятий, строительство зданий и сооружений» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», кандидат химических наук

akhm@mail.ru

Алексей Александрович Сиявин, заведующий лабораторией кафедры «Энергообеспечение предприятий, строительство зданий и сооружений» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

alex_sinjawin@mail.ru

Center “Ingehim”, Candidate of Technical Sciences; Senior Researcher at the Laboratory of High-Performance Computing, Medical Cybernetics and Machine Vision of Kazan Federal University

roaldakberov@yahoo.com
tel.: 8(843)5702318

Ildar R. Stekolshchikov, Engineer of LLC Engineering-Promotional Center “Ingehim”

ildarstek@gmail.com
tel.: 8(843)5702318

Artem V. Akhmerov, Associate Professor of the Department “Energy Supply of Enterprises, Construction of Buildings and Structures” of Kazan State Power Engineering University, Candidate of Chemical Sciences

akhm@mail.ru

Alexey A. Sinyavin, Head of the Laboratory at the Department “Energy Supply of Enterprises, Construction of Buildings and Structures” of Kazan State Power Engineering University

alex_sinjawin@mail.ru