

УДК 664.1.034

# Повышение эффективности очистки диффузионного сока: теория и практика

**Л.М. ХОМИЧАК**, д-р техн. наук

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины,  
+38(050) 331-82-01

**И.Б. ПЕТРИЧЕНКО**, канд. техн. наук, **В.Ю. ВИГОВСКИЙ**, канд. техн. наук,  
+38(044) 287-94-17, 289-50-00

**А.Н. КАЛИНИЧЕНКО**, **Ю.Н. РЕЗНИЧЕНКО**

Национальный университет пищевых технологий, +38 (044) 287-94-17 С.Л.

**ФИЛАТОВ**, **А.В. РЕВЕНКО**, **Е.Е. МИЛЕНКО**

ООО ИК «НТ-Пром», +7(495) 363-29-66

Известно, что повышение чистоты очищенного сока на 1 % способствует увеличению выхода сахара на 0,3% к массе свеклы. Основным показателем, определяющим эффективность очистки, является высокое технологическое качество сахарной свеклы, а значит — и чистота диффузионного сока. Отсюда и соответствующий нормам расход извести, высокий выход сахара, его качество и себестоимость.

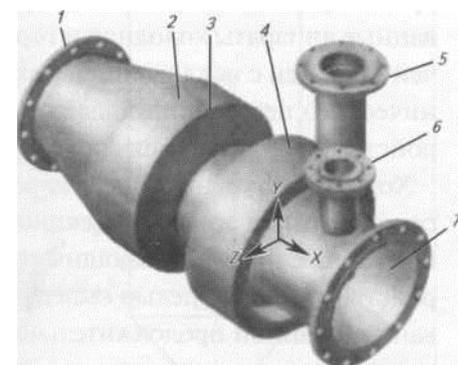
Поэтому во время переработки свеклы, значительное внимание уделяется высокой степени отмыwania ее от песка и глины, удалению легких примесей.

В отличие от классической схемы очистки, известна схема с отделением осадка преддефекованного сока, при применении которой сводится к минимуму пептизация скоагулированных несхаров, как следствие, повышается скорость фильтрования сока I сатурации, общий эффект очистки с одновременным снижением расхода извести. Но эффективность такого способа очевидна при условиях очистки диффузионного сока низкой чистоты (84% и менее). С повышением чистоты диффузионного сока и при условиях правильного проведения преддефекации, повышение чистоты очищенного сока с применением способа отделения осадка преддефекованного сока незначительно. Учитывая значительные капитальные затраты на установление дополнительного оборудования, сложности при разделении преддефекованного осадка и сока и увеличение продолжительности технологического процесса минимум на 30 мин, его экономическая целесообразность спорна.

Во время очистки диффузионного сока под действием тепловой и химической энергий происходит разрушение комплексов и ассоциатов несхаров и освобождается сахароза. Но, как показали исследования [6], такое разрушение возможно и за счет применения эффектов пароконденсации

и кавитации. Образованные при этом промежуточные частички реакционно способны. Поэтому, если в момент их образования в систему ввести определенное количество реагента, который содержит ионы  $\text{Ca}^{2+}$  (например, суспензию сока II сатурации), происходит их взаимодействие, что способствует подготовке частичек веществ коллоидной дисперсности к коагуляции (сенсбилизация). Благодаря этому, на преддефекации образуется осадок, стойкий к пептизирующему действию высокой щелочности и температуры в условиях основной дефекации. В результате снижается содержание солей кальция в очищенном соке, улучшается фильтрационная способность сатурационного осадка и, как следствие, уменьшается расход извести на очистку на 0,15—0,20%  $\text{CaO}$  к массе свеклы.

На основании этого мы разработали способ одновременной обработки диффузионного сока до преддефекации паром (вторичным паром II или III корпусов выпарной установки (ВУ) в количестве 0,7—0,9% к массе свеклы) и суспензией сока II сатурации с расходом извести на вторую дефекацию не менее 0,25%  $\text{CaO}$  к массе свеклы [10]. Для реализации такого способа разработано специальное устройство, конструкция которого предусматривает тонкое диспергирование пара и



**Рис. 1.** Пароконденсационное кавитационное устройство: 1 — патрубок отвода обработанного сока; 2 — реакционная камера; 3 — камера смешивания; 4 — коллектор пара; 5 — патрубок подведения пара; 6 — патрубок подведения сгущенной суспензии сока II сатурации; 7 — патрубок подведения диффузионного сока

вместе с суспензией в соке (рис. 1). Устройство устанавливается на тру-бопроводе диффузионного сока после мезголоушек. Дополнительное разбавление сока за счет конденсации пара полностью компенсируется уменьшением расхода известкового молока ( $0,2\% \text{ CaO} = 1,0\% \text{ H}_2\text{O}$  к массе свеклы). Такой способ внедрён на 7 украинских и на 4 российских сахарных заводах.

Одним из важнейших участков схемы очистки диффузионного сока является предефекация (ПД), для которой главным критерием эффективности проведения считается степень коагуляции и осаждения высокомолекулярных соединений (ВМС). Но определяющим фактором правильного ведения ПД, следует считать формирование стойкой к пептизации в условиях основной дефекации структуры осадка и получение хороших фильтрационно-седиментационных свойств осадка сока I сатурации.

Для укрупнения частичек осадка сока ПД применяется рециркуляция (возврат) нефилтрованного сока I сатурации или его суспензии и сгущенной суспензии сока II сатурации. Твердые частички возвратов становятся центрами коагуляции нес сахаров.

Относительно величины pH зоны ввода возвратов нет единого мнения. Одни авторы считают, что при переработке свеклы низкого техно-логического качества, возвраты следует направлять в зону с  $\text{pH} = 8\text{—}9$ , а при очистке сока из кондиционной свеклы рекомендовано направлять суспензию сока II сатурации в диффузионный сок. Согласно данным УкрНИИСП, в зависимости от чистоты диффузионного сока значение pH для ввода возвратов может изменяться от 8 до 10,2.

Так как с возвратами вводятся

44 центры коагуляции, то их необходимо вводить до осаждения нес сахаров, причем должно быть достигнуто равномерное смешивание возвратов с диффузионным соком. Для этого следует использовать суспензию сока II сатурации, а чтобы содержание общей извести в соке ПД составляло  $0,7\text{—}1,1\% \text{ CaO}$  по м/о (в присутствии индикатора метилового-оранжевого), разность нужно компенсировать возвратом нефилтрованного сока I сатурации или его суспензии в зону с  $\text{pH} = 9,2\text{—}9,8$ . В таком случае осадок сока I сатурации попадает в зону с низким pH и, за счёт пересатурации, уменьшается степень его гидратации, что в итоге резко повышает фильтрационные свойства сатурационного осадка. Известно, что каждые  $15\%$  к массе свеклы возвратов нефилтрованного сока I сатурации определяют дополнительный расход извести на очистку не менее  $0,1\% \text{ CaO}$  к массе свеклы, что составляет  $0,46\%$  известкового молока, в котором  $0,36\%$  воды. Реально на каждые  $10\%$  возвратов для завода производительностью  $3000 \text{ т}$  на верстат в сутки дополнительно с известковым молоком вводится  $7,2 \text{ т}$  воды.

Альтернатива такому положению — проведение предефекации в режиме ступенчатой прогрессивной дефеко-сатурации с наличием внешней рециркуляции, т.е. в качестве возвратов следует использовать только суспензию сока II сатурации в количестве  $5\text{—}8\%$  к массе свеклы, а для доведения общей щелочности сока ПД до  $0,7\% \text{ CaO}$  — применять контур внешней рециркуляции. Внедрение этой схемы будет способствовать уменьшению расхода извести на очистку на  $0,5\% \text{ CaO}$  к массе свеклы, снижению расхода известнякового камня на  $1,0\%$ , уменьшению количества воды, по-

ступающей на верстат, на  $54 \text{ т}$  за счет уменьшения количества сока на основной дефекации (ОД). Предварительные исследования показали, что проведение ПД, по такому принципу, за счет большей степени удаления азотистых веществ и уменьшения пептизации образованного осадка в условиях основной дефекации, приводит к дополнительному повышению эффекта очистки на дефеко-сатурации.

Не следует увеличивать расход извести на II сатурацию с целью получения большего количества суспензии, возвращаемой на ПД, и уменьшения за счет этого возврата нефилтрованного сока I сатурации. Это приведет к резкому ухудшению адсорбционной очистки в условиях I сатурации за счет уменьшения расхода извести на основную дефекацию. В результате, часть извести будет образовывать адсорбционную поверхность только в условиях II сатурации, где эффект адсорбции на порядок меньше. Расход извести на II дефеко-сатурацию не должен превышать  $0,4\% \text{ CaO}$  к массе свеклы.

Для эффективного проведения основной дефекации в настоящее время применяются секционированные аппараты холодной и горячей ступеней с исключением механического перемешивающего устройства в аппарате горячей ОД.

Холодную ступень ОД предлагается проводить в аппаратах секционного типа с перемешиванием и ваушированием, но не с целью вылечивания заданной продолжительности пребывания сока в аппарате, а для стабилизации расхода сока на дальнейших этапах очистки. Разработка и модернизация аппаратурного оформления позволяет проводить процесс в оптимальном режиме. Дефекация в аппаратах данного типа

реализована на Парафиевском, им. Цюрупы, Ждановском (Украина) сахарных заводах и заводе «Сахарин вест» (Россия). Оптимальная эксплуатация предложенных аппаратов предусматривает установку перед ними статического смесителя сока предварительной дефекации и известкового молока, основными перемешивающими элементами которого являются насадки типа КРИМЗ. Использование смесителя обеспечивает равномерную обработку сока известковым молоком и оперативный контроль расхода известкового молока на основной дефекации. Смеситель установлен на всех вышеупомянутых заводах.

Разработанный нами аппарат горячей дефекации способствует проведению процесса в оптимальном режиме, плавному регулированию продолжительности пребывания сока в зависимости от качества диффузионного сока и необходимой производительности завода. Конструкция дефекатора (рис. 2) предусматривает разделение вертикального цилиндрического корпуса / наклонной перегородкой 3 на две секции, которые соединены трубой 2. В дефекаторе нет подвижных элементов (мешалки), что позволяет свести к минимуму механическое разрушение агрегатов пред-дефекационного осадка.

Такие аппараты горячей ступени основной дефекации успешно эксплуатируются на сахарном заводе им. Цюрупы, Наркевичском (Украина), Чернянском, Волоконовском (Россия) сахарных заводах и др.

Важное место в технологическом процессе занимает I сатурация (карбонизация). От правильности ее проведения зависит общий эффект адсорбционной очистки сока, скорость фильтрования сока и расход камня на производство [2]. Эффективность проведения I сатурации в значительной степени зависит от её аппаратного оформления.

В работе [3] сформулированы два основных принципа проведения I сатурации:

- наличие зон высокой щёлочности, обеспечивающих качество сока;
- многократная внутренняя циркуляция, обеспечивающая хорошие фильтрационно-седиментационные свойства осадка.

Теоретическими исследованиями и практической работой сахарных заводов установлено, что наиболее эффективный способ — проведение двухступенчатой I сатурации в отдельных аппаратах с выполнением первой ступени (I А) в проточном режиме, а второй (I Б) — в проточно-рециркуляционном режиме (пример Золотухинского, Чернянского, Беловского (Россия), Саливонковского, Иванычевского, Ждановского (Украина) и др. сахарных заводов).

Конструкция I А-сатуратора (рис. 3) предусматривает подвод сока в нижнюю часть аппарата через карбонизатор-распределитель 7 и отбор его сверху через сборный короб 5. Такой режим сатурации обеспечивает плавное снижение щёлочности по высоте аппарата и способствует образованию мелко-дисперсного осадка с высокой адсорбционной способностью. В обвязке аппарата особое внимание уделено возможности перехода пены из I А-котла в случае ее образования, в котел I Б, где, вследствие понижения щёлочности, она гасится. Сатурационный газ подводится в нижнюю часть аппарата через лучевой барботёр 2. Для I А-котла характерно сильное загорание барботёров [1], поэтому предлагается вариант исполнения барботёров с механической очисткой газораспределительных устройств (Наркевичский и др. сахарные заводы, Украина).

Конструкция I Б-сатуратора (см. рис. 3) представляет собой корпус, внутри которого установлена циркуляционная труба 3, в нижней части которой размещён лучевой барботёр 2 с коллектором. К центру барботера подведён трубопровод подачи сатурационного газа. На коллекторе установлен карбонизатор-распределитель /, к которому подведён трубопровод подачи сока. Карбонизатор-распределитель позволяет не только равномерно распределить сок по сечению циркуляционной трубы, но и образовать зону повышенной щёлочности, в которой образуется высокодисперсный осадок карбоната кальция, что является важным фактором улучшения адсорбционной очистки сока. Присутствие карбонизатора-распределителя обеспечивает эффект так называемой «мятниковой» сатурации, которая значительно улучшает фильтрационные свойства осадка за счёт кратковременной локальной пересатурации.

Практика показала, что такая модернизация повышает общий эффект очистки сока на 1,4—1,8%, сатурационный сок имеет стабильно высокие фильтрационные ( $R_k = 1,5—2,6$ ) и седиментационные свойства ( $S = 5—6$  см/мин), степень использования диоксида углерода достигает 75% и значительно упрощается управление процессом. Данную модернизацию можно провести, используя существующий на заводе сатуратор (Саливонковский, Гнидавский, Зап-

46 лазский, Шепетовский (Украина), Чернянский, Золотухинский (Россия) и др. сахарные заводы), или, при необходимости, установить новый по разработанным нами чертежам (Беловский сахарный завод (Россия)).

При наращивании производительности завода, альтернативой замене сатуратора на новый большей производительности может быть установка ещё одного сатуратора. Проведение двухступенчатой I сатурации позволит значительно уменьшить затраты на монтажные работы, уменьшить расход сатурационного газа на I сатурацию на 10—13%, повысить качество обрабатываемых соков (Ждановский, Ярьковский, Парафиевский (Украина), Чернянский, Беловский (Россия) и др. сахарные заводы).

Также практикуется проведение I сатурации в одном котле [7] с модернизацией установленных на заводах сатураторов аналогично котлу I Б при двухступенчатой схеме или с установкой нового сатуратора требуемой производительности (Гнидавский, Украина; Слуцкий, Беларусь; Ржевский, Россия, и др. сахарные заводы).

Поддержание высокой конечной щёлочности на I сатурации имеет важное значение не только для повышения общего эффекта очистки сока, но и для предотвращения «загорания» ВУ, особенно III корпуса. При использовании известкового камня с высоким содержанием магния, особенно важно поддерживать высокой конечную щёлочность на I сатурации (рН не ниже 11). Это способствует максимальному осаждению  $M\text{S}$  на сатурации, а не в ВУ.

Цель II дефекосатурации — завершение разложения редуцирующих веществ (РВ), дополнительная ад-

сорбционная очистка сока и снижение в нем растворимых солей кальция. Для повышения эффективности II дефекосатурации мы разработали новый способ её проведения [5], согласно которому фильтрованный сок I сатурации, смешанный с известковым молоком в количестве 0,25—0,35% CaO к массе свеклы и подогретый до 93—95 °С, подается не в дефекатор перед II сатурацией (рис. 4), а на форсунки, расположенные в верхней части аппарата II сатурации. За счет контакта высокощелочного сока с отработанным сатурационным газом, происходит частичная карбонизация гидроксида кальция (приблизительно 18—22%), после чего с помощью специального устройства частично карбонизованный сок собирается в верхней части аппарата и самотёком подается в верхнюю (или нижнюю) часть дефекатора. При необходимости туда подается еще 0,1% CaO и обеспечивается продолжительность II дефекации не менее 3 мин для максимально возможного разложения РВ и амидов. Из дефекатора сок подается через карбонизатор в нижнюю часть аппарата II сатурации, оборудованного внутренней циркуляционной трубой и лучевым барботером, где обрабатывается свежим сатурационным газом до оптимальной щелочности. Таким образом, фактически II сатурация проводится в две стадии. Это способствует повышению степени использования CO<sub>2</sub> до 82—85%, увеличению чистоты сока II сатурации на 0,2—0,3%, а также снижению цветности очищенного сока на 8—12%. Последнее достигается тем, что образованные на дефекации перед II сатурацией продукты разложения РВ и амидов адсорбируются на \* присутствующих в растворе высокоактивных частичках CaCO<sub>3</sub>, образованных при распылении сока в верхней части аппарата II сатурации (первая стадия карбонизации). Благодаря высокой степени дисперсности предварительно образованного карбоната кальция и его активации гидроксидом кальция в дефекаторе перед II сатурацией, увеличивается электрокинетический потенциал частичек осадка, что способствует активной адсорбции новообразовавшихся при дефекации меланоидинов, солей кальция и их «экранированию» образованным карбонатом кальция на второй стадии карбонизации.

Данная схема позволяет работать и по классическому варианту, но при этом эффект адсорбционной очистки сока на порядок ниже ввиду более низкой суммарной щелочности в аппарате II сатурации. Данный способ внедрён на Саливонковском, Кобелякском, Корделёвском, им. Цюрупы, Бабино-Томаховском (Украина) Ржевском (Россия) и др. сахарных за- I водах.

Если говорить о технологических аспектах отделения сатурационных осадков, то на эффективную работу любого фильтрационного оборудования влияют три основных фактора: физико-химические свойства структуры фильтрационного осадка, «загорание» фильтрующей ткани и разность давлений. Основная составляющая осадков, которые откладываются на ткани фильтров I и II карбонизаций, — это частички CaCO<sub>3</sub>. Из-за сложного состава несахаров в заводских соках, карбонат кальция образует пересыщенные растворы, из которых он выкристаллизовывается на фильтровальных тканях. Самый эффективный способ снятия такого пересыщения — правильное проведение предварительной дефекации, орга-

низация рециркуляционных контуров в сатураторах и применение отстаивающих-дозревателей сока II сатурации.

Установка отстаивающих-дозревателей сока II сатурации позволяет экономить затраты на фильтровальную ткань, уменьшает на 18—25% содержание остаточных солей кальция. Кроме того, без дополнительной автоматизации можно организовать стабильный поток суспензии сока II сатурации на предварительную дефекацию, что будет способствовать эффективному проведению ПД и снижению расхода извести на очистку. Для технического оформления процесса мы разработали конструкции отстаивающих-дозревателей сока II сатурации, которые успешно эксплуатируются на сахарных заводах Украины.

Сегодня некоторые заводы внедряют прогрессивные способы фильтрования сока II сатурации и отказываются от фильтрования сиропа или же проводят его на устройствах с размерами отверстий фильтрующей перегородки 45—55 мкм. Но необходимо помнить, что такой способ возможен лишь при условии, когда остаточное содержание солей кальция в очищенном соке не превышает 0,025% CaO по массе сока. В противном случае, во время стужения сока выпадают соли кальция и значительно повышается зольность сахара.

Эффективность известково-карбонатной очистки диффузионного сока в значительной мере зависит от качества известкового молока. Основные показатели его качества — активность, плотность и отсутствие взвешенных примесей («песка»).

Плотность обратно пропорциональна количеству воды, вводимой с известковым молоком в технологический процесс, активность определяет скорость и полноту прохождения химических реакций на станции дефекосатурации, а количество взвешенных примесей влияет на точность дозирования известкового молока, долговечность работы технологического оборудования и на-сосного парка.

Практика работы свидетельствует, что классическая схема очистки известкового молока от взвешенных примесей (песка) с использованием песколовушки Русселя-Дорошенко и гидроциклонов не обеспечивает эффективное отделение песка вследствие того, что нижний сход песка циклонов направлен обратно в песколовушку Русселя-Дорошенко и приводит к повторной его рециркуляции в известковом отделении. Для уменьшения содержания песка в известковом молоке целесообразно установить промыватель. Конструкция шнека предусматривает промывку песка нижнего схода с циклонов водой, которая затем подается на гашение извести. При разбавлении нижнего схода песка с гидроциклонов водой обеспечивается возможность разделения взвешенных примесей путём седиментации, которая в плотном известковом молоке происходить не может. Направляемый на гашение извести промой повышает активность известкового молока благодаря тому, что он насыщен гидроксидом кальция до момента гашения извести. Таким образом, количество остаточных взвешенных примесей в очищенном известковом молоке уменьшается в 3—4 раза. Применение такого молока позволяет также в несколько раз уменьшить количество «продувок» аппаратов на станции дефекосатурации и снизить потери сахара с выделяемой твёрдой фазой после них. Способ внедрён на Шепетовском, Первухинском, Ждановском (Украина), Чернянском и Ржевском (Россия) сахарных заводах.

Большая продолжительность пребывания известкового молока в резервуарах-дозревателях отрицательно влияет на его активность вследствие образования агрегатов частичек Ca(OH)<sub>2</sub> и воды (гекса-

48 аквакомплексы). Мы разработали способ пароконденсационно-кавитационного повышения активности известкового молока [9], который предусматривает его обработку ретурным паром в количестве 0,12—0,15% к массе свеклы в специально разработанном устройстве (рис. 5). В результате коллапса паровых пузырьков, в водно-известковой суспензии образуются кумулятивные струйки, которые разрушают агрегаты Ca(OH)<sub>2</sub> известкового молока, а при контакте диспергированных частичек с

пузырьками, которые конденсируются, происходит дополнительное их растворение вследствие выделяемой при этом теплоты. В результате образуется пересыщенная водно-известковая суспензия, в которой увеличивается содержание растворимых ионов  $\text{Ca}^{2+}$  [9]. Кроме того, в известковом молоке всегда присутствуют частички неразгашенного  $\text{CaO}$ , экранированные частичками  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . При их контакте с кумулятивной струйкой они разрушаются, что приводит к освобождению  $\text{CaO}$  и увеличению активности известкового молока.

Результаты многолетней эксплуатации такого устройства на Валуйском и Ржевском сахарных заводах (Россия) показали, что активность известкового молока повысилась на первом заводе на 5% (начальная — 87%) и на втором — на 14% (начальная — 78%). Установка кавитационного устройства способствовала уменьшению расхода извести на 0,1—0,3%  $\text{CaO}$  к массе свеклы, что для завода мощностью 3000 т переработки сахарной свеклы в сутки привело к экономии 6—18 т известкового камня в сутки.

Этот аппарат прост в изготовлении и надежен в эксплуатации, устанавливается непосредственно на трубопроводе подачи известкового молока перед дозаторами. Аналогичные устройства внедрены на Дубенском, Шепетовском, Ярьсковском (Украина), Золотухинском (Россия) и др. сахарных заводах.

Как показывает практика, все этапы известково-карбонатной очистки диффузионного сока пока несовершенны. Также нуждаются в дальнейших исследованиях способы проведения преддефекации с целью ограничения или отказа от возвратов и способы усовершенствования основной дефекации с целью получения более термостойких соков с удалением аммиака до выпарной станции. Практика работы перечисленных выше сахарных заводов — яркое подтверждение перспективности рассмотренных направлений модернизации соко-очистительного отделения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Петриченко И.Б. Повышение эффективности 1 сатурации с помощью массообменных элементов и пульсационных воздействий: автореферат канд. дисс. — Киев : КТИПП, 1988. — 24 с.
2. Хомичак Л.М. Технологические аспекты энергосбережения в производстве сахара из свеклы // Сахар. — 2006. - № 5 - С. 42-45.
3. Двоступенева I сатурация / Л.М. Хомичак, I.Б. Петриченко, В.Ю. Виговський, О.М. Калшченко // Цукор Укрши. - 2004. - № 1-2. -С. 21-22.
4. Логвт В.М. Способ проведения попереднього вапнування дифузшного соку / В.М. Логвт, I.Б. Петриченко, Ю.М. Резшченко // Декларашний патент Укра'ши № 64410. — А МПК 6С 1303/02. - 2004. - Бюлл. № 2.
5. Яовимнапрямоквроботшсатураци / Л.М. Хомичак, В.Ю. Виговський, I.Б. Петриченко, С.О. Олшник, Л.Г. Белое- \* тоцький, М.М. Жешинська, О.Г. Сам-