

# Механическое обезвоживание осадка транспортёрно-моечной воды свеклосахарного производства ленточными фильтр-прессами

**С.Л. ФИЛАТОВ, В.М. ДУМЧЕНКОВ**

ООО «НТ-Пром»

**С.М. ПЕТРОВ**, д-р техн. наук, профессор; **Н.М. ПОДГОРНОВА**, д-р техн. наук, профессор

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

**Н.А. БАСАРГИН**

ООО «Заинский сахар»

## Введение

Потребность сахарного завода составляет в среднем до 20 т воды различного качества на 1 т перерабатываемой свёклы, в том числе 2–2,5 т свежей промышленной и питьевой воды. Средний уровень водопотребления для отечественной сахарной промышленности составляет около 200–300 % к массе свёклы и для водоотведения – 250–350 % к массе свёклы. Поэтому организация систем водного хозяйства с минимальным количеством сточных вод, утилизацией осадка и соответственно снижением объёма потребляемой свежей воды – главный фактор, определяющий влияние сахарного производства на экологию окружающей среды [7].

Использование полей фильтрации для процесса биологической очистки сточных вод в естественных условиях приводит к отведению значительных земельных площадей из расчёта 25–30 га на 1 тыс. т перерабатываемой свёклы. При этом следует учитывать, что количество основных загрязнителей сточных вод составляет до 21 г/дм<sup>3</sup> по взвешенным веществам и до 3,5 г/дм<sup>3</sup> по органическим и неорганическим соединениям [2, 8].

С переходом на механизированный способ уборки свёклы, поточный способ доставки корнеплодов на заводы, а также механизацию работ по разгрузке и подаче свёклы на переработку повысилась её загрязнённость почвой, увеличилось количество механически повреждённых корнеплодов, что привело к ухудшению качества транспортёрно-моечной воды (рис. 1) [6].

Загрязнённая транспортёрно-моечная вода (ТМВ) состоит [5], как правило, из смеси:

– воды, отделённой из свекловодяной смеси на водоотделителе перед свекломойками (основная часть);

– моечной воды (40–60 % к массе свёклы), которая образуется после использования технической воды (речной, прудовой) для оконча-

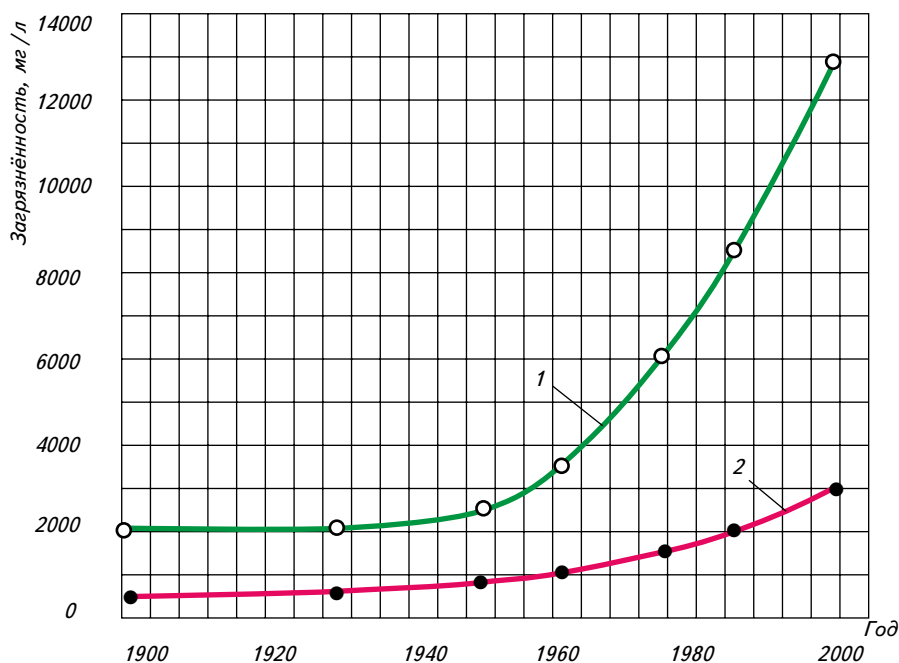


Рис. 1. Динамика роста загрязнённости транспортёрно-моечных вод сахарных заводов России: 1 – взвешенные вещества; 2 – сухой остаток

тельной мойки и ополаскивания корнеплодов;

– технической воды (около 5–7 % к массе корнеплодов), подаваемой на форсунки, устанавливаемые над водоотделителями для проведения струйной мойки.

Как известно, транспортёрно-моечный осадок, образующийся при отстаивании в гравитационных отстойниках транспортёрно-моечной воды из нерастворимых (взвешенных) веществ, состоит (в процентном выражении): из частиц почвы, мелкого песка, пыли, ила – 93,4; частиц свекломассы – 5,1; частиц зелёной массы (ботва и проч.) – 1,5. Содержание взвешенных примесей при механизированном способе уборки свёклы возросло до 20–50 г/дм<sup>3</sup>. Основную часть примесей (в среднем более 90 %) составляют частицы верхнего плодородного слоя почвы (табл. 1), которую целесообразно вернуть в пахотные земли, поскольку ежегодное практически безвозвратное удаление части плодородного слоя почвы ведёт к её истощению. Количество образующегося осадка, являющегося фактически почвогрунтом, зависит в первую очередь от степени загрязнённости свёклы примесями, эффекта очистки при приёмке свёклы и составляет в среднем

18 % к массе переработанной свёклы.

Основную массу минеральных примесей составляют частицы размером 0,005–0,25 мм.

При недостаточном обезвоживании осадка ТМВ и последующей системе подаче его в сточных водах III категории на поля фильтрации происходит также нарушение водного баланса системы оборотного водоснабжения, так как часть воды теряется с осадком и для восполнения требуется дополнительный водозабор моечной воды. Потери воды с фильтрационным осадком составляют 8–14 % к массе свёклы [8].

Сточные воды III категории (диффузные, жомовые, канализационные и др.) являются наиболее загрязнёнными, поскольку содержат большое количество растворённых органических веществ. Так, растворённый сахар способствует образованию различных органических кислот, а свекловичный сапонин вызывает вспенивание водных растворов и несёт в себе угрозу токсичных отравлений живых организмов. Поэтому очистка стока этой категории наиболее важна для окружающей среды и требует более тщательного подхода.

С учётом того, что средняя производственная мощность одного сахарного завода в России по переработке сахарной свёклы увеличилась, по данным Союзроссахара, почти вдвое – составляла 2,83 тыс. т/сут в 1990 г. и достигла 5,26 тыс. т/сут в 2018 г. – обострилась проблема утилизации осадков ТМВ, 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. Иначе в результате увеличения объёмов переработки свёклы и выводе на поля сверхнормативного

количества взвешенных веществ происходит полное прекращение как фильтрации, так и естественной биологической очистки. Вода не фильтруется через грунт, который обладает достаточной фильтрационной и окислительной способностью только при нормативной нагрузке по взвешенным веществам, в дренажный канал по периметру полей фильтрации, и это вынуждает переоборудовать их в непроточные биологические пруды. Поэтому одной из важнейших задач стабилизации работы очистных сооружений является обеспечение вывода твёрдой фазы в виде осадка из ТМВ в схеме очистки сточных вод и направление на поля фильтрации осветлённой воды с минимальным количеством взвешенных веществ.

#### Цель и задачи проекта

Цель проекта – разработка технологии механического обезвоживания сгущённой суспензии транспортёрно-моечной воды и получение осадка с минимальной влажностью, пригодного для механического транспортирования, а также обеспечение работоспособности полей фильтрации при двукратном увеличении потока сточных вод.

Задачи проекта:

– разработка способа механического обезвоживания сгущённой суспензии ТМВ после гравитационного отстойника и получение осадка с влажностью  $W = 60–70\%$ , соответствующего возможности внесения разбрасыванием в почву перед основной обработкой;

– обоснование выбора оборудования для механического обезвоживания сгущённой суспензии ТМВ;

– повышение эффективности работы полей фильтрации посредством подачи на биологическую очистку осветлённой воды с минимальным содержанием взвешенных веществ.

**Таблица 1.** Гранулометрический состав частиц почвы, содержащийся в транспортёрно-моечной воде перед её очисткой (усреднённые данные) [5]

Размер фракции частиц почвы, мм	Масса фракции частиц почвы, %
0,25–0,50	1,8
0,05–0,25	22,6
0,01–0,05	36,9
0,005–0,01	23,4
0,001–0,005	8,8
0,001 и менее	6,2

**Существующий уровень технических решений**

Очистка производственных сточных вод сахарных заводов осуществляется поэтапно: вначале по схеме гравитационного отстаивания, а затем осветлённого декантата на полях фильтрации — участках земли, выделенных для естественной биологической очистки сточных вод путём их испарения с водной поверхности и фильтрации в грунт. Таким образом, в состав схемы очистки производственных сточных вод входят земляные отстойники, пруд-накопитель, фильтрационные карты полей фильтрации.

Биологическая очистка — природный процесс биологического окисления органических примесей (биоценоз), осуществляемый различными бактериями, водорослями, грибами, является биологической очисткой производственных сточных вод. Процесс очистки может протекать в различных условиях: анаэробных — в отсутствие растворённого в воде кислорода или при слишком высоком соотношении количества подаваемых на очистку загрязнений и аэробных — в присутствии растворённого кислорода в воде. Биологическая очистка осуществляется на биологических прудах и полях фильтрации.

Нагрузка на поля фильтрации, например, при среднегодовой температуре 3,5–6 °С и глубине залегания грунтовых вод 3 м должна составлять 50–100 куб. м/га в сутки в зависимости от фильтрационной способности почвы (лёгкие суглинки, супеси, пески). Очистка сточных вод на полях фильтрации при нормальной эксплуатации их довольно эффективна. Сточная жидкость после очистки освобождается от неприятного запаха, окраски, взвешенных веществ, на 90–99 % уменьшается бактериальная загрязнённость и на 90–96 % — количество

растворённых органических веществ. Однако зачастую на большинстве сахарных заводов сброс стока III категории на малые поля фильтрации производится без какой-либо предварительной очистки, что наносит колоссальный вред окружающей среде из-за инфильтрации стоков в грунтовые воды. Биологическая очистка на полях фильтрации происходит медленно, недостаточно эффективно и только в весенне-летнее время (при положительных температурах окружающей среды). Вследствие этого со временем поля фильтрации превращаются в глубокие пруды-накопители, являясь не только загрязнителем почвы, но ещё и источником загрязнения атмосферы в виде эмиссии запаха от метанового брожения.

Газы, образующиеся при метановом брожении, имеют неприятный запах, который обуславливают следующие его компоненты — сероводород, индол, скатол:

— сероводород (H<sub>2</sub>S) имеет характерный неприятный тяжёлый

запах тухлых яиц (тухлого мяса). Образуется при гниении белков, которые содержат в составе серосодержащие аминокислоты метионин и (или) цистеин;

— индол (C<sub>8</sub>H<sub>7</sub>N) обладает очень неприятным запахом, напоминающим запах прелой капустной кочерыжки. Образуется в результате расщепления гнилостными бактериями аминокислоты триптофана;

— скатол (C<sub>9</sub>H<sub>9</sub>N, гомолог индола) в больших концентрациях имеет фекальный запах (при низких концентрациях приобретает сливочно-молочный запах или запах, напоминающий аромат жасмина). Образуется в результате разложения триптофана — одной из α-аминокислот, входящих в состав белков.

По существующей схеме очистки ТМВ разбавленный транспортёрно-мочный осадок после радиального отстойника направляют в вертикальный отстойник-сгуститель (табл. 2), где его дополнительно сгущают и густой осадок выводят в стоки вод III категории,

**Таблица 2. Оборудование для предварительного сгущения ТМВ сахарного производства [8]**

Параметры	Седиментация и декантация ТМВ			
	ТМВ исходная	При известковании ТМВ до pH 9,5–10	Реагентная обработка ТМВ	
	Вертикальный отстойник ВОУ-1		Отстойник-сгуститель вертикальный Ш1-ПОС-3	Радиальный отстойник, Ø 18 м
Производительность техническая, м <sup>3</sup> /ч: по ТМВ; по сгущённой суспензии	525±50		800–1050	
	—		40–80	
Влажность осадка, %	50–97	82–85	70–97	93,0–93,5
Эффективность осветления по взвешенным веществам, %, не более	70	85	70	50–55
Концентрация взвешенных веществ в осадке, мг/дм <sup>3</sup>	30000–60000			

которые подвергают биологической очистке в прудах-накопителях и на полях фильтрации. Основная трудность, препятствующая возможности возврата густого осадка на сельскохозяйственные угодья, заключается в его высокой влажности и возникающих в связи с этим сложностях при распределении его по полю.

Вопросам утилизации транспортно-моечного осадка на зарубежных сахарных заводах уделяется большое внимание. Так, опыты по механическому обезвоживанию осадка с использованием декантерной центрифуги, ленточного фильтр-пресса и шнекового дегидратора дали в целом положительные результаты, но по различным причинам (в частности, из-за необходимости значительных дополнительных затрат на оборудование и электроэнергию и др.) такой метод обезвоживания не получил пока широкого распространения [1, 8, 9].

### Результаты исследования

#### Техническое решение «НТ-Пром»

С целью стабилизации работы полей фильтрации необходимо минимизировать подачу на них взвешенных веществ. Для этого 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. При минимальном содержании взвешенных веществ полностью восстанавливается режим биологической очистки и исключается эмиссия запаха от метанового брожения – процесса биодеструкции органических веществ. Таким приёмом удаётся увеличить напряжённость потока по осветлённой ТМВ для полей фильтрации и продлить их работу

именно в режиме фильтрации на период между полной очисткой от осадённого слоя взвешенных веществ.

В сезон 2018 г. компания «НТ-Пром» совместно с Заинским сахарным заводом провели исследования сгущённых в отстойниках осадков ТМВ по их структурированию в результате реагентной обработки и оценке последующей фильтруемости. Одновременно были проведены сравнение и анализ применимости различного оборудования [1, 4, 5] для механического обезвоживания сгущённой суспензии ТМВ.

В результате анализа физико-химических свойств осадков ТМВ, которые получаются при переработке свёклы в данной зоне свеклосеяния, оценки структуры сгущённого осадка ТМВ и фильтрационных характеристик грунтов, специалисты компании и сахарного завода пришли к выводу, что достаточно эффективным вариантом механического обезвоживания сгущённого осадка ТМВ является использование ленточных

фильтр-прессов, реализующих режим постепенного механического отжима и обезвоживания осадка, структурированного реагентной обработкой. Такой вывод сделан исходя из достаточно негативных результатов опытов по тупиковому (фронтальному) фильтрованию в камерных фильтр-прессах, приводящих к быстрому заиливанию фильтрующих перегородок и прекращению фильтрования опытных образцов сгущённой суспензии ТМВ.

Для создания суспензии, пригодной к обезвоживанию и дополнительному уплотнению осадка на фильтре механическим сжатием применялись химические реагенты. Комплекс реагентов и их дозировка индивидуальны и подбираются в ходе лабораторных испытаний [1].

На основании проведённых опытов была разработана технологическая схема. В качестве основного оборудования в схеме обезвоживания осадка ТМВ механическим отжимом использовался ленточный фильтр-пресс (рис. 2),



Рис. 2. Ленточный фильтр-пресс

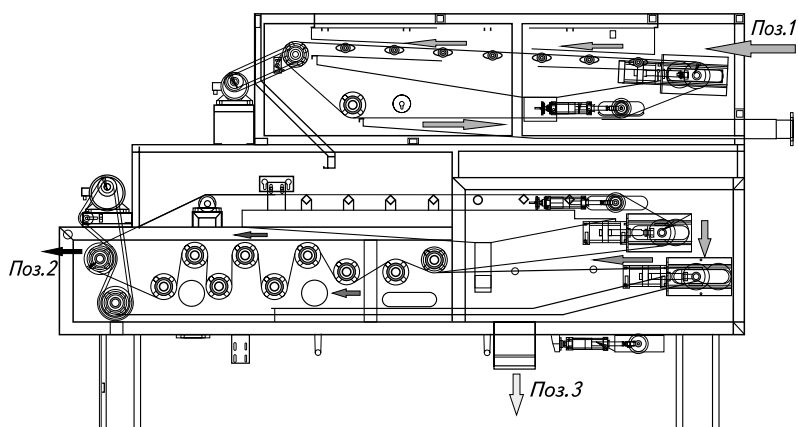


Рис. 3. Схема движения суспензии на ленточном фильтр-прессе

модернизированный для работы с суспензией транспортёрно-моечной воды. Данная схема апробирована на Заинском сахарном заводе в 2019 г.

**Принцип работы ленточного фильтр-пресса**

Ленточный фильтр-пресс представляет собой установку, состоящую из двух зон: зоны стекания и зоны отжима.

Суспензия (поз.1) попадает на верхнюю ленту гравитационного разделения (рис. 3) в зоне стекания, где под действием силы тяжести вода отделяется от осадка и стекает в водоотводящий лоток.

Обезвоженная суспензия попадает в зону отжима, состоящую из двух лент, которыми захватывается и под равномерно увеличивающимся давлением отжимается, а на выходе при помощи ножей снимается с них. Из фильтра отводится обезвоженный осадок (поз. 2) и фильтрат (поз. 3).

На основе данного оборудования разработана технологическая схема фильтровального модуля. Опытный фильтровальный модуль собран и эксплуатировался на Заинском сахарном заводе. Технологическая схема представлена на рис. 4. Исходная суспензия подавалась в ёмкость смеси-

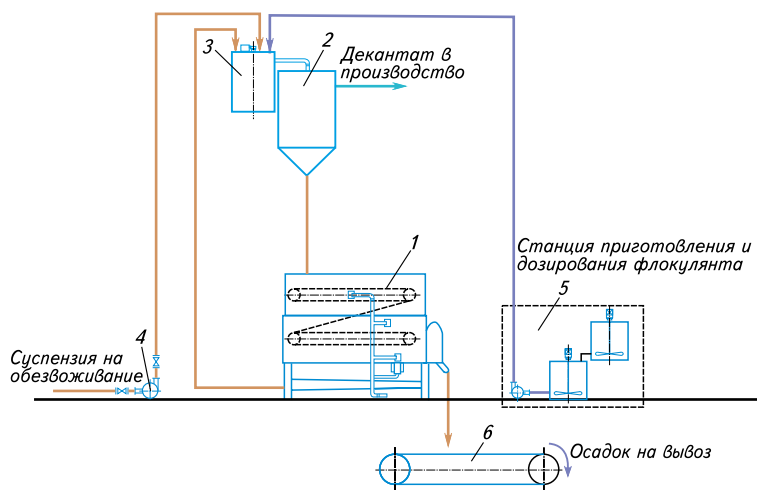


Рис. 4. Схема фильтровального модуля обезвоживания суспензии ТМВ

теля (поз. 3), куда подавался также комплекс реагентов и фильтрат с фильтра. В смесителе реагенты перемешиваются и взаимодействуют с суспензией, затем смесь поступает в отстойник-реактор (поз. 2). В отстойнике происходит уплотнение твёрдой фазы и отвод осветлённой воды в производство. Уплотнённая суспензия самотёком поступает на ленточный фильтр (поз. 1), где осадок обезвоживается. Полученный осадок отводится транспортёром (поз. 6) и вывозится автотранспортом, фильтрат с ленточного фильтра возвращается в сборник-смеситель.

На протяжении опытов установка показала устойчивую работу, при этом непрерывно отводились обезвоженный осадок и осветлённая вода (рис. 5 и 6).

В результате промышленных испытаний на выходе из установки механического обезвоживания сгущённой суспензии ТМВ методом отжима осадка в ленточном фильтр-прессе получена влажность осадка 60–70 %. Класс опасности осадка – V.

**Выводы и предложения производству**

Предлагаемое техническое решение, основанное на результатах опытов, позволяет:

- вывести осадок транспортёрно-моечной воды в сухом виде и использовать его в качестве почвогрунта для возвращения на земли сельхозугодий;
- направить на поля фильтрации только осветлённую фазу транспортёрно-моечной воды без взвешенных веществ и вернуть их в устойчивый режим работы по принципу биологической очистки;
- снизить экологическую нагрузку сахарного завода на окружающую среду в виде сокращения потребления свежей воды и эмиссии запаха от полей фильтрации.





Рис. 5. Выгрузка обезвоженного осадка ТМВ из ленточного фильтр-пресса



Рис. 6. Осветлённая вода на выходе из фильтровального модуля

#### Список литературы

1. Будыкина, Т.А. Очистка транспортёрно-моечных вод сахарного завода / Т.А. Будыкина, В.В. Франтова // Вестник РУДН. Серия : Инженерные исследования. – 2011. – № 2. – С. 27–30.
2. Ермакова, Н.В. Техногенное воздействие сахарного завода на окружающую среду / Н.В. Ермакова, Т.А. Будыкина // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия : Техника и технологии. 2012. – № 2. – Ч. 2. – С. 176–179.
3. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 44-2017 «Производство продуктов питания» (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11 декабря 2017 г. № 2784). Режим доступа: <http://www.gost.ru>. Дата обращения 27.12.2017.
4. Кривень, А.П. Выбор оборудования для обезвоживания осадков / А.П. Кривень // Водоснабжение и санитарная техника. – 2012. – № 5. – С. 67–74.
5. Пушанко, Н.Н. Теория и практика разделения суспензий в свеклосахарном производстве. Кн. 1. Образование суспензий и их свойства : Монография / Н.Н. Пушанко [и др.]. – Киев : Сталь, 2017. – 541 с.
6. Савостин, А.В. Повышение эффективности очистки транспортёрно-моечной воды свеклосахарных заводов / А.В. Савостин [и др.] // Известия вузов. Пищевая технология. – 2007. – № 4. – С. 108–110.
7. Славянский, А.А. Промышленное производство сахара / А.А. Славянский. – М. : МГУТУ, 2015. – 255 с.
8. Спичак, В.В. Водное хозяйство сахарных заводов / В.В. Спичак, П.А. Ананьева, Т.В. Поливанова. – Курск : ГНУ РНИИСР Россельхозакадемии, 2005. – 167 с.
9. <http://www.he-rus.ru/index.php/lebensmittel-getraenke-145.html>

**Аннотация.** С учётом роста производственной мощности сахарных заводов РФ при сохранении неизменной площади полей фильтрации обострилась проблема утилизации осадков ТМВ. Предложено техническое решение стабилизации работы полей фильтрации в режиме биологической очистки посредством вывода твёрдой фазы в виде сухого осадка (почвогрунта) из ТМВ в схеме очистки сточных вод с использованием ленточного фильтр-пресса и направление на поля фильтрации осветлённой воды с минимальным количеством взвешенных веществ. При этом уменьшается экологическая нагрузка сахарного завода на окружающую среду в виде снижения потребления свежей воды и снижения эмиссии запаха от полей фильтрации.

**Ключевые слова:** транспортёрно-моечная вода, ленточный фильтр-пресс, обезвоживание осадка отжимом, поля фильтрации, снижение потребления свежей воды, снижение эмиссии запаха.

**Summary.** Taking into account the growth of the production capacity of sugar plants in the Russian Federation while maintaining a constant area of filtration fields, the problem of utilization of conveyor-washing water, precipitation has become more acute. A technical solution is proposed to stabilize the operation of filtration fields in the biological treatment mode by removing the solid phase in the form of dry sediment (soil) from the conveyor-washing water in the wastewater treatment scheme using a belt filter press and sending clarified water to the filtration fields with a minimum amount of suspended substances. This reduces the environmental impact of the sugar plant on the environment in the form of reducing the consumption of fresh water and reducing the emission of odors from the filtration fields.

**Keywords:** conveyor-washing water, belt filter press, sludge dewatering by pressing, filtration fields, reduction of fresh water consumption, reduction of odor emission.