

4. Дымар, О.В. Повышение эффективности переработки молочных ресурсов: научно-технологические аспекты: монография / О.В. Дымар. – Минск: Колорград, 2018. – 236 с.

5. Шалапугина, Э.П. Технология молока и молочных продуктов: учеб. пособие / Э.П. Шалапугина, Н.В. Шалапугина. – М.: Дашков и К, 2013. – 301 с.

6. Заяц, Е.М. Основы электротермохимических методов обработки влажных кормов / Е.М. Заяц. – Минск: Ураджай, 1997.

7. Гайдук, В.Н. Практикум по электротехнологии /

В.Н. Гайдук, В.Н. Шмигель. – Москва: Агропромиздат, 1989. – 176 с.

8. Заяц, Е.М. Электротехнология: учеб. пособие / Е.М. Заяц. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. – 400 с.

9. Храмов, А.Г. Молочный сахар / А.Г. Храмов. – Москва: Агропромиздат, 1987. – 224 с.

10. Кривовязенко, Д.И. Электрохимическое изменение концентрации ионов в молочной сыворотке / Д.И. Кривовязенко, Е.М. Заяц // Агропанорама. – 2019. – № 4. – С. 42-45.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 25.03.2020

УДК 620.95: 621.35

ЗАМЕНА РЕАГЕНТНОЙ ПОДГОТОВКИ СТОЧНЫХ ВОД МОЛОЧНЫХ КОМБИНАТОВ В СХЕМЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ИХ ЭЛЕКТРООБРАБОТКОЙ

В.А. Ковалев,

зав. каф. электротехники БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

А.В. Крутов,

доцент каф. электротехники БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Е.А. Ковширко,

магистрант БГАТУ

Объектом исследования в статье являются сточные воды молочного производства, системы их очистки и процесс электролиза в камерах с полупроницаемой перегородкой. Приведены обзор загрязнений сточных вод одного из молочных комбинатов и результаты экспериментальных исследований по снижению общего азота и фосфора в стоках путем их электролизной обработки. Применение данного метода позволяет интенсифицировать процесс выделения биогаза из твердого осадка. При этом выход биогаза увеличивается по сравнению с традиционной биологической технологией очистки с физико-химической подготовкой в 1,3-1,5 раза. Использование биогаза в мини ТЭЦ предприятия позволит снизить энергозатраты на очистку стоков и повысить уровень обеспеченности тепловой и электрической энергией.

Ключевые слова: сточные воды, молочные комбинаты, органические загрязнения, жиры, азот, фосфор, электрокоагуляция, биологическая очистка, биогаз.

The object of research is waste water of dairy production, wastewater treatment systems, electrolysis process in chambers with a semipermeable barrier. The overview of wastewater contamination of one of dairy plants and pilot study results on reduction of total nitrogen and phosphorus content in wastewater by electrolysis treatment are presented in the article. The application of this method allows to intensify the process of biogas emission from solid deposition. In this regard biogas discharge increases by 1,3-1,5 times as compared with traditional biological treatment with physical and chemical preparation. The use of biogas in mini heat electropower station makes it possible to reduce energy consumption of wastewater treatment and increase the supply level of heat and electricity.

Keywords: wastewater, dairy plants, biocontamination, fats, nitrogen, phosphorus, electrocoagulation, biological treatment, biogas.

Введение

Технологии переработки молока требуют большого количества воды: для мойки технологического оборудования, тары, трубопроводов, охлаждения молока и молочных продуктов, уборки помещений и других хозяйственно-бытовых нужд. В результате образуются стоки в объеме до 1500 м³ в сутки. Сточные воды этой отрасли при попадании в водоем без

очистки наносят большой ущерб гидросфере и рыбоводству из-за разложения содержащихся в них органических веществ белкового происхождения, а также жиров и углеводов. Следует учесть, что для мойки технологического оборудования применяются мощные средства. Ущерб от неочищенных стоков многократно возрастает в случае, если на предприятии не решена проблема утилизации отходов производства, прежде всего, сыворотки.

Общая масса загрязнений сточных вод молочных предприятий оценивается в 400 тыс. т ежегодно [1, с. 28]. Сточные воды образуются на молочных комбинатах в результате производства таких продуктов, как твердый сыр, масло, сухая обезжиренная сыворотка, сухое обезжиренное молоко и др. Так как сточные воды содержат белковые вещества, жиры и углеводы, они очень быстро гнивают. Происходит ферментация молочного сахара в молочной кислоте, что приводит к отложению казеина и других белковых веществ. Гниение последних сопровождается выделением неприятного запаха, pH сточных вод снижается до 4,5. Сточные воды молочных производств значительно превышают требования технических нормативных правовых актов о допустимой концентрации загрязнений, предъявляемые к их приему в системы канализации населенных пунктов. Предварительная очистка стоков в основном производится путем отстаивания, обработки в гидроциклонах, флотаторах. Образующийся осадок вывозится на полигоны твердых коммунальных отходов или направляется со стоками на биологическую очистку. При сжигании биогаза получают тепловую и электрическую энергию, а осадок используют как органическое удобрение.

Цель работы – повысить эффективность очистки сточных вод молочных комбинатов путем снижения концентрации азота и фосфора в сточных водах, повышения выхода биогаза при утилизации твердого осадка и флотошлама в биогазовой установке.

Основная часть

Сточные воды молочной промышленности имеют свою специфику по составу загрязнений. Среднегодовое содержание жира в них составляет 100-200 мг/л [1]. В таблице 1 приведен качественный состав производственных сточных вод ОАО «Пружанский молочный комбинат» на основании усредненных данных за 2012 – 2014 гг., представленных в техническом задании на реконструкцию очистных сооружений [2, с. 15].

Для сброса очищенных стоков в водоемы требуется минимизация содержания в них таких элементов, как

Таблица 1. Характеристика производственных сточных вод

Показатели загрязнений	Значение показателя
pH (min-max)	3-13
БПК5, мг/дм ³	1850
ХПК, мг/дм ³	3000
Взвешенные вещества, мг/дм ³	800
Аммоний-ион, мг/дм ³	25
Азот общий, мг/дм ³	120
Фосфор общий, мг/дм ³	40
Фосфор фосфатный, мг/дм ³	38
Минерализация по сухому веществу, мг/дм ³	1500
Хлорид-ион, мг/дм ³	250
Сульфат-ион, мг/дм ³	60
СПАВ (анион), мг/дм ³	1,2
Нефтепродукты, мг/дм ³	3,14
Температура (min-max), °C	25-30

азот и фосфор, которые способствуют росту водорослей в водных бассейнах. Для обезвреживания сточных вод наиболее широко применяется биологическая очистка. Технологическая схема очистки сточных вод молочного комбината приведена на рисунке 1.

Станция первичной обработки сточных вод предназначена для задержки крупномерных включений, песка. Обычно для этих целей применяется комбинированная установка – ситопесколовка в комплекте с пресс-транспортером. Ширина прозоров сит – 1-6 мм. Расход сточных вод на станции первичной очистки составляет около 120 м³/ч. Сточные воды, образующиеся в процессе отжима, отводятся в канал перед ситопесколовкой. Уплотненные отбросы и песок из ситопесколовки погружаются в контейнеры и вывозятся на полигон твердых коммунальных отходов. Далее сточные воды подаются в резервуар-усреднитель для усреднения гидравлической нагрузки на сооружения основной очистки и усреднения концентраций загрязнений. После резервуара-

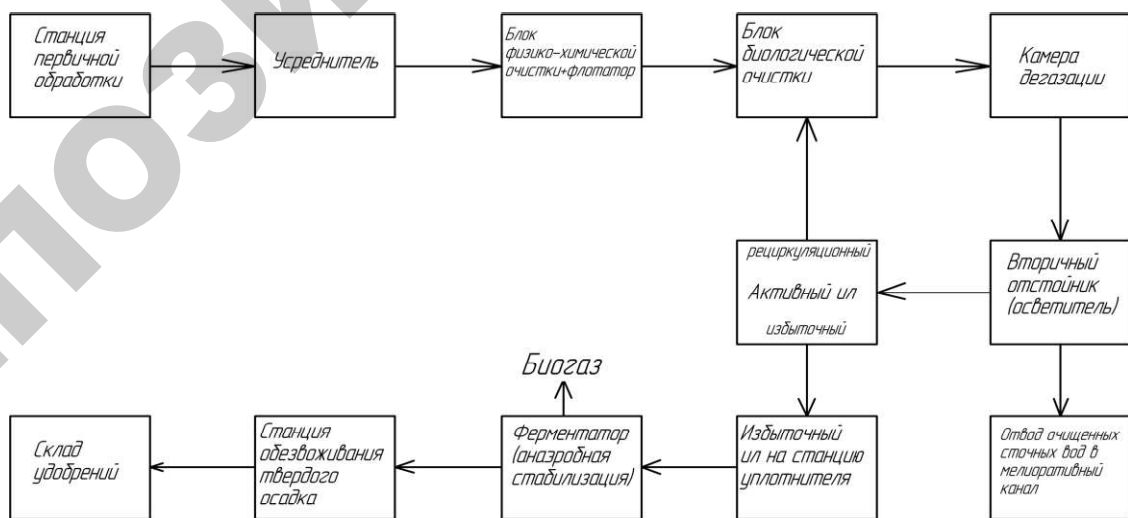


Рисунок 1. Схема технологического процесса очистки

усреднителя сточные воды при помощи насосов подаются на блок физико-химической очистки. Для удаления взвешенных веществ, жиров, нефтепродуктов и СПАВ применяется напорный флотатор. Одновременно происходит снижение общего азота и общего фосфора под воздействием различных реагентов (вводят коагулянты: хлорид железа (FeCl_3), полиэлектролит; едкий натрий (NaOH) или 70 %-й раствор серной кислоты для корректировки pH, пеногаситель). Для хранения реагентов требуется их транспортировка и помещения. Авторами публикации рассматривается способ, когда вместо физико-химической обработки стоков проводится электрофизическая их обработка в электролизной установке (электрофлотокоагуляторе) с межэлектродной полупроницаемой перегородкой. На втором этапе проводится обработка стоков и шлама по вышеуказанной схеме с образованием биогаза. В качестве материала электродов в электролизной установке применяется сталь 3.

Преимущество рассматриваемого способа состоит в том, что отпадает потребность в химических реагентах. Коагулянт (хлорид железа) образуется в процессе электролиза. В электролизере под воздействием электрического тока в водной среде происходит анодное растворение металла с образованием гидроксидов, являющихся хорошими коагулянтами. Расчеты показывают, что растворение 1 г железного электрода равнозначно введению 2,9 г хлорного железа FeCl_3 или 3,6 г сернокислого железа $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$. Для этого потребуется 2,9 Вт·ч электроэнергии [4, 5]. Этот метод позволяет производить эффективную очистку воды от взвесей минерального, органического и биологического происхождения, коллоидов, веществ в молекулярном и ионном состояниях, в том числе аммония и фосфатов. Электрокоагуляция обладает существенными преимуществами перед реагентными методами: компактностью установки, простотой обслуживания и возможностью полной автоматизации. При этом образующиеся в процессе электролиза газообразные водород и кислород транспортируют скоагулировавшиеся частицы загрязнений и гидроксидов из жидкости на ее поверхность. Выделяемый из стоков аммиак, сероводород и другие газы отводятся с помощью принудительной вентиляции. Отпадает необходимость применять напорную флотацию. При электрофлотации образуется меньше пены и не требуется вводить в сточные воды пеногаситель. Этот метод перспективен в условиях появления в республике излишек электроэнергии после ввода в эксплуатацию Белорусской АЭС.

Установлено, что процесс электрокоагуляционной очистки целесообразно осуществлять при высоких плотностях тока (не менее 1000 А/м^2). Однако высокая плотность тока вызывает пассивацию электродов. Для ее уменьшения периодически меняют полярность тока. Рекомендуемый режим электрокоагуляции:

- плотность тока – 1200 А/м^2 ;
- расстояние между электродами – не более 20 мм;
- скорость движения воды между электродами – не менее 0,5 м/с.

Выход по току металла определяется также составом очищаемой воды. Например, в присутствии хлорид-ионов выход максимальный, а сульфат- и карбонат-ионы замедляют анодное растворение. Поэтому в очищаемые стоки желателен добавлять поваренную соль, поддерживая ее концентрацию в пределах 3-4 %. При электролизе происходит снижение концентрации азота и фосфора.

Электрообработка модельного раствора, близкого по составу загрязнений к сточным водам молочного комбината, в электролизере с межэлектродной диафрагмой сопровождалась изменением водородного показателя в анодной и катодной камерах.

Параметры электрообработки:

- напряженность электрического поля – 600 В/м ;
- плотность тока – 1200 А/м^2 ;
- количество электричества – 2000 Ас .

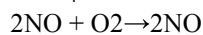
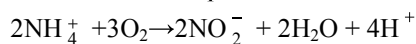
Если использовать образовавшийся катодит (pH 8-9) для получения биогаза, отмечается в 1,3-1,5 раза больший его выход в результате анаэробного брожения по сравнению со сбраживанием анолита (pH 3,5).

С целью дальнейшего снижения общего азота и общего фосфора применяется биологический реактор с отдельными камерами денитрификации, биологической дефосфатации и нитрификации.

Денитрификация – процесс восстановления нитритов и нитратов до свободного азота за счет кислорода азотсодержащих соединений. Для процессов нитрификации и денитрификации могут быть использованы аэротенки биологической очистки.

Известно, что фосфаты используются в составе моющих средств, и таким путем попадают в сточные воды. Фосфорорганические соединения хорошо растворяются в воде и опасны для окружающей среды и человеческого организма, обладают свойствами накопления в живых организмах. Поэтому важно провести дефосфатацию сточных вод. Нитрификация – процесс окисления кислородом аммонийного азота до нитритов и нитратов. Преобразование органических компонентов и окисление аммиака можно интенсифицировать путем подачи в камеру нитрификации воздуха (кислорода) компрессорами.

На первой стадии процесса нитрификации аммоний окисляется до нитритов, на второй стадии нитриты окисляются до нитратов:



Таким образом, в резервуаре нитрификации аммиак (NH_4) окисляется до нитрата (NO_3). Активный ил преобразует остатки углеводов и органических примесей стоков в воду и углекислый газ (CO_2). Часть этих остатков используется для питания микроорганизмов в активном иле и таким образом превращается в новую биомассу.

Основным при этом является метод с анаэробной обработкой активного ила, который осуществляется в ферментаторе. Применение такой технологии позволяет извлекать фосфаты с эффективностью примерно 90 % [2, с. 27].

На очередном этапе проводится обработка накопившейся биомассы (шлама) в реакторе-метантенке (ферментаторе) с образованием биогаза. Поддержка оптимальной температуры является одним из важнейших факторов процесса сбраживания. В природных условиях образование биогаза происходит при температурах от 0 °С до 97 °С, но с учетом оптимизации процесса переработки органических отходов для получения биогаза и биоудобрений выделяют три температурных режима:

- психофильный температурный режим определяется температурами до 20-25 °С;
- мезофильный температурный режим – от 25 °С до 40 °С;
- термофильный температурный режим определяется температурами свыше 40 °С.

Степень бактериологического производства метана увеличивается с увеличением температуры, но так как количество свободного аммиака тоже увеличивается с ростом температуры, процесс сбраживания может замедлиться. Биогазовые установки без подогрева реактора демонстрируют удовлетворительную производительность только при среднегодовой температуре около 20 °С и выше, или когда средняя дневная температура достигает по меньшей мере 18 °С. При средних температурах в 20-28 °С производство газа увеличивается. Если же температура биомассы менее 15 °С, выход газа будет так низок, что биогазовая установка без теплоизоляции и подогрева перестает быть экономически выгодной.

На практике более распространены два температурных режима: термофильный и мезофильный. У каждого из них есть свои достоинства и недостатки. Преимущества термофильного процесса сбраживания – это повышенная скорость разложения сырья и, следовательно, более высокий выход биогаза, а также практически полное уничтожение болезнетворных бактерий, содержащихся в сырье. К недостаткам термофильного разложения можно отнести большое количество энергии, требуемое на подогрев сырья в реакторе, чувствительность процесса сбраживания к минимальным изменениям температуры и несколько более низкое качество получаемых биоудобрений.

При мезофильном режиме сбраживания сохраняется высокий аминокислотный состав биоудобрений, но обеззараживание сырья не такое полное, как при термофильном режиме. Для климатических условий Беларуси наиболее целесообразен мезофильный режим сбраживания. В метантенке происходит мезофильное анаэробное сбраживание (ферментация) сгущенной иловой смеси, состоящей из флотационного шлама, отделенного в блоке флотации, и избыточного ила, полученного в блоке биологической очистки. В метантенке в процессе сбраживания биомассы образуется биогаз. Поскольку оптимальная температура для анаэробной обработки составляет 35-37 °С, то шлам, поступающий в метантенк следует нагреть до температуры около 38 °С. Нагрев происходит с использованием трубчатого теплообменника. В качестве теплоносителя используется горячая вода, поступающая из контура охлаждения ТЭЦ, которая, в

свою очередь, работает на биогазе, производимом в реакторе. Сам реактор представляет собой закрытый стальной, теплоизолированный резервуар. Внутренняя облицовка резервуара должна быть устойчива к кислой среде. Реактор оснащен перемешивающим устройством, приборами измерения давления и температуры биогаза, а также защитным клапаном для сброса давления. Ил, находящийся в реакторе, непрерывно перемешивается. После брожения шлам перетекает в резервуар-накопитель переработанного ила и далее – на обезвоживание и расфасовку, как удобрение. Выделяющийся биогаз поступает из реактора в резервуар для хранения биогаза (газгольдер).

Одним из наиболее важных факторов, влияющих на метановое брожение, является также соотношение углерода и азота в твердом осадке. Оно должно соответствовать диапазону значений отношения масс углерода к азоту от 10 до 16 [3, 4]. Если соотношение углерода к азоту чрезмерно велико, то недостаток азота будет служить фактором, ограничивающим процесс метанового брожения. Если же это соотношение слишком мало, то образуется такое большое количество аммиака, что он становится токсичным для бактерий. Это связано с тем, что при увеличении концентрации углерода в биологическом сырье, зависящем от содержания углеводов относительно белковой массы, снижается количество аммонийного азота, что ведет к увеличению концентраций водорода и углекислого газа, и уменьшению доли метана. Как следствие, повышается кислотность среды, ведущая к снижению активности метаногенной составляющей анаэробного биоценоза. В свою очередь, увеличение белковых масс ведет к избыточному выделению аммиака, что так же ухудшает условия жизнедеятельности метанобразующих микроорганизмов.

Образование биогаза зависит и от кислотно-щелочной среды. Метанопродуцирующие бактерии лучше всего приспособлены для существования в нейтральных или слегка щелочных условиях. В процессе метанового брожения второй этап производства биогаза является фазой активного действия кислотных бактерий. В это время уровень рН снижается, то есть среда становится более кислой.

Однако при нормальном ходе процесса, жизнедеятельность разных групп бактерий в реакторе проходит одинаково эффективно и кислоты перерабатываются метановыми бактериями. Оптимальное значение рН колеблется в зависимости от сырья – от 6,5 до 8,5 [5].

Заключение

1. Биологическую очистку стоков молочных комбинатов целесообразно устраивать путем утилизации твердого осадка в метантенках с получением биогаза и органических удобрений. Для увеличения выхода биогаза предпочтительнее снижение общего азота и общего фосфора осуществлять методом электрокоагуляции в электролизере с полупроницаемой мембраной между электродами: напряженность электрического поля – 600 В/м; плотность тока – 1200 А/м²; количество электричества – 2000 Ас.

2. Процессом электрокоагуляции можно управлять в зависимости от количества электричества, расходуемого на электрообработку сточной воды по требуемой дозе растворения стальных электродов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Петров, В.Г. Разложение водно-жировых эмульсий в сточных водах молочного производства с использованием коагулянтов / В.Г. Петров, М.А. Шумилова, В.В. Столов // Вестник Удмуртского университета. – 2013. – Вып. 4. – С. 27-32.

2. Реконструкция комплекса локальных очистных сооружений производственных сточных вод ОАО «Пружанский молочный комбинат». Техническое задание на объект проектирования. Оценка воз-

действия на окружающую среду по объекту. – Брест, 2015. – 111 с.

3. Долина, Л.Ф. Очистка сточных вод от биогенных элементов: монография / Л.Ф. Долина. – Днепропетровск: Континент, 2011. – 198 с.

4. Мосин, О.В. Технологический расчет установок электрокоагуляции воды / О.В. Мосин // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2014. – № 4. – С. 62-85.

5. Дабаева, М.Д. Эколого-безопасная утилизация отходов: монография / М.Д. Дабаева, И.И. Федоров, А.И. Куликов. – Бурятская гос. с.-х. академия. – 2001. – 94 с.

6. Нефедов, С.С. Электрообработка жидкого субстрата птичьего помета с целью интенсификации метанообразования / С.С. Нефедов, А.В. Крутов // Агропанорама. – 2015. – № 6. – С. 27-31.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 22.11.2019

УДК 631.353.6:62-83

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ЗАГРУЗКИ ВАЛЬЦОВОЙ ПЛЮЩИЛКИ-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА

Е.М. Прищепова,

ст. преподаватель каф. электрооборудования сельскохозяйственных предприятий БГАТУ

В молотковых дробилках зерна для регулирования их загрузки используются, как правило, роторные или шнековые дозаторы, которые имеют существенные затраты энергии на подачу зерна. В вальцовых-плющилках-измельчителях зерна наиболее целесообразно использовать шахтный способ загрузки, а степень загрузки регулировать с помощью заслонки системой автоматической стабилизации загрузки. В статье представлены структурная схема и передаточные функции системы автоматической стабилизации загрузки плющилки-измельчителя, а также структурная схема и передаточные функции частотно-регулируемого асинхронного электропривода заслонки с векторным управлением и бездатчиковой обратной связью по скорости. Далее проведен анализ качества работы регулятора загрузки с П- и ПИ-регуляторами при их оптимальной настройке.

Ключевые слова: частотно-регулируемый электропривод, передаточные функции, параметры настройки, векторное управление, анализ качества работы, синтез параметров системы, система автоматической стабилизации.

Rotary or screw dispensers are usually used in hammer grain crushers to regulate their loading, which have significant energy costs for grain supply. The mine method of loading is most advisable to use in roller-flatteners-grain grinders, and a flap with an automatic loading stabilization system regulates the loading degree. The purpose of this article is to synthesize parameters of the automatic load stabilization system for a roller flattener-grain grinder. The article presents the block diagram and transfer functions of the automatic load stabilization system of the flattener-grinder, as well as the block diagram, and transfer functions of a variable frequency asynchronous electric flapper drive with vector control and speed feedback without sensors. Further, the analysis of the quality of the load controller operation with P- and PI- controllers at their optimal setting is carried out.

Keywords: variable frequency electric drive, transfer functions, setting parameters, vector control, analysis of work quality, synthesis of system parameters, automatic stabilization system.

Введение

В современном сельскохозяйственном производстве все большее применение находят вальцовые плющилки-измельчителя зерна, обеспечивающие плющение влажного зерна с последующей его консервацией и измельчение сухого зерна перед скарм-

ливанием или изготовлением комбикорма. При этом обеспечивается высокое качество приготовления измельченного зерна, в котором практически полностью отсутствует переизмельченная фракция в отличие от молотковых дробилок зерна, а также круглогодичная загруженность плющилок-измельчителей зерна. Как правило, в молотковых дробилках зерна