

2. Козина, Е.А. Нормированное кормление животных : учебное пособие [Электронный ресурс] / Е.А. Козина, Т.А. Полева; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2020. – 139 с.
3. Кудрявцев, И.Ф. Электрический нагрев и электротехнология / И.Ф. Кудрявцев, В.А. Карасенко. – Минск : Колос, 1975. – 384 с.
4. Прищепов, М.А. Функциональные возможности электродных электронагревателей с зонированными электродными системами / М.А. Прищепов, И.Г. Рутковский // Агропанорама. – 2024. – № 1. – С. 23–28.
5. Прищепов, М.А. Обоснование выбора электротепловой схемы проточных электродных электронагревателей / М.А. Прищепов, И.Г. Рутковский // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск: «Издательский дом «Беларуская навука», 2024. – Вып. 57. – С. 338–343.

УДК 637.142.2

ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ ДВИЖЕНИЯ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ ПРИ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИИ СЫВОРОТОЧНЫХ БЕЛКОВ

А.А. Жидович, студент 4 курса АЭФ

Научный руководитель: Д.И. Кривовязенко, канд. техн. наук, доцент
*УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Беларусь производит более 9 млн тонн молока в год и занимает четвертое место в мире по экспорту молочной продукции [1]. Переработка молока дает побочный продукт – молочную сыворотку, количество которой приближается к 4 млн тонн в год [1, 2]. Переработка молочной сыворотки в масштабах Беларуси может дополнительно дать до 20 тыс. тонн белка в год. Кроме того, значительно уменьшит загрязнение окружающей среды стоками молочных предприятий. Рост использования сыворотки, снижение загрязнения окружающей среды молочными стоками сдерживает проблема – отсутствие эффективного способа выделения белков из сыворотки.

Эта проблема может быть решена путем электрической коагуляции белков. Суть электрической коагуляции состоит в накоплении в коллоидной среде анионов и катионов необходимой концен-

трации, соответствующей изоэлектрическим точкам белков, путем пропускания электрического тока через эту среду, размещенную между токоподводящими электродами и разделенную ионопроницаемой мембраной. Изменение концентрации ионов в результате электролиза воды в молочной сыворотке нарушает устойчивость коллоидной среды и коагулирует белки.

Применение предлагаемой технологии по электрокоагуляции белков невозможно без исследования схемы движения сыворотки между электродами и мембраной электрокоагулятора. Это позволит определить наиболее эффективную схему движения и, соответственно, оптимальные параметры коагуляции белков.

Цель данной работы – исследовать влияние схемы движения молочной сыворотки в электрокоагуляторе на параметры процесса электрокоагуляции белков.

Согласно теории коагуляции коллоидные частицы, в нашем случае белки, наиболее интенсивно коагулируют в изоэлектрической точке, когда потенциал поверхности белковой клетки $\varphi_0 = 0$. Это условие наступает при определенном pH среды, который в свою очередь зависит от количества электричества Q , протекающего через коллоидную среду [3].

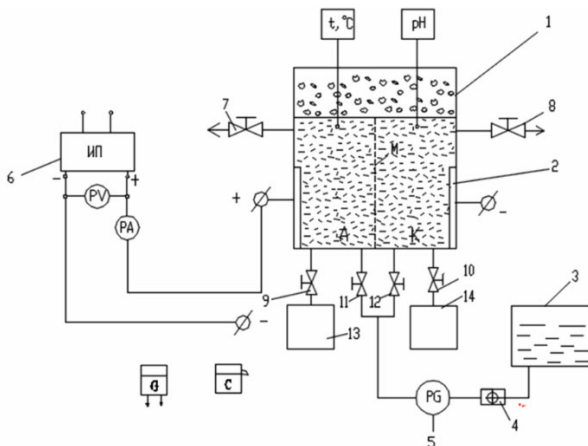
$$\varphi_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_c} \int_s \frac{\rho_0}{r} dS,$$

где ϵ_c – диэлектрическая проницаемость белковой среды, Ф/м; ρ_0 – суммарная плотность поверхностного заряда белковой клетки, Кл/м²; S – площадь поверхности белковой клетки, м²; r – радиус клетки, м.

Плотность поверхностного заряда белковой клетки зависит от вида и концентрации ионов в коллоидном растворе и, в первую очередь, от количества ионов H^+ и OH^- и следовательно pH среды. При этом возможна оптимальная концентрация этих ионов, при которой $\rho_0 = 0$, и, следовательно, коагуляция наиболее вероятна.

Основными задачами экспериментальных исследований является установление влияния схемы движения молочной сыворотки на параметры электрического поля, выделение белков из сыворотки в результате их коагуляции, изменение ионного состава среды, pH -показатель. Блок-структурная схема экспериментальной установки показана на рисунке 1.

Корпус электроореактора 1 представляет собой камеру прямоугольной формы из диэлектрического материала с плоскопараллельными электродами 2, разделенную полиамидной мембраной перегородкой. Объемы анодной и катодной зон изменяли перестановкой мембраны между электродами.



1 – электроореактор; 2 – электроды; 3 – бак с сывороткой; 4 – насос;
5 – расходомер; 6 – источник постоянного тока; 7...12 – краны; 13, 14 – емкости для сбора сыворотки; А, К – анодная и катодная зоны реактора; М – мембрана;
t, pH – приборы измерения температуры и pH сыворотки; С – центрифуга

Рисунок 1 – Блок-структурная схема экспериментальной установки

Схему движения сыворотки параллельными потоками или противотоком устанавливали переключением кранов 7...12 (рисунок 1) по необходимой схеме движения.

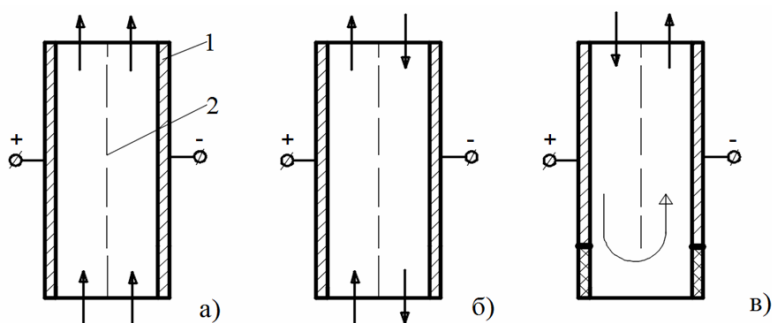
После электрообработки жидкость поступала в центрифугу для отделения белка. Напряжение питания на электродах измерительной ячейки принято 12 В постоянного тока. Количество электричества регулировали продолжительностью нахождения сыворотки между электродами, которую устанавливали величиной подачи сыворотки дозирующим насосом от $0,2 \cdot 10^{-3}$ до 20 кг/ч. Фактором, ограничивающим минимальную подачу насоса, являлась температура сыворотки на выходе из электроореактора, которая не должна превышать 28...30 °C. Это значение принято с целью минимизации энергозатрат, учитывая, что температура сыворотки, поступающей на коагуляцию, составляет 20...22 °C после предыдущей обработки молока.

Сыворотку пропускали между электродами реактора через электрическое поле напряженностью 400...800 В/м. Количество электричества изменяли в диапазоне $(2...10) \cdot 10^3$ Кл/кг. Плотность тока при этом изменялась в пределах 75...150 А/м².

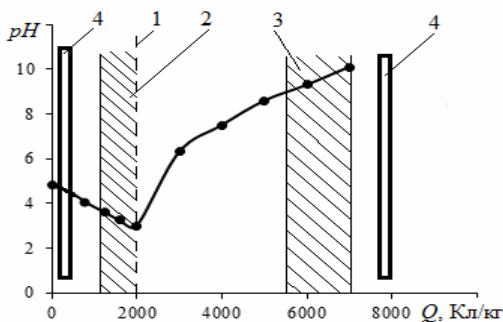
Эффективность коагуляции зависит от схемы движения сыворотки между электродами и мембраной реактора. Исследовано несколько таких схем: параллельное движение потоков сыворотки в катодной и анодной зонах; встречное движение в этих зонах (противотоком); последовательное движение сыворотки из анодной в катодную зону и на выход из коагулятора (рисунок 2).

Наибольший интерес представляет схема движения сыворотки на рисунке 2, в. Сыворотка движется одним потоком от входа до выхода из реактора. Достаточно одного аппарата очистки сыворотки от скоагулированного белка. Встречное движение потоков снижает температуру мембраны. Зависимость *pH* от количества электричества показана на рисунке 3.

Согласно рисунку 3 в анодной зоне водородный показатель снижается от начального значения 4,6 до 3,0...4,0, проходя через изоэлектрические точки белков β -лактоглобулина, равную 4,5 и альбумина [4]. Эти белки составляют 48,4 % от всех белков сыворотки. Далее сыворотка перетекает под мембраной в катодную зону, в которой *pH* увеличивается от 3,0...4,0 до почти 9, проходя через изоэлектрические точки остальных белков сыворотки. Можно предположить, что области *pH*, показанные как 2, 3 на рисунке 3, являются областями наиболее интенсивной коагуляции белков.



1 – электроды; 2 – мембрана; а – параллельное; б – встречное; в – последовательное
Рисунок 2 – Схема движения сыворотки в электроореакторе



1 – мембрана; 2, 3 – области изоэлектрических точек белков; 4 – электроды

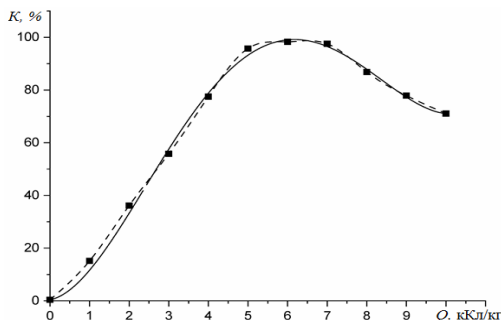
Рисунок 3 – Зависимость pH от количества электричества Q при последовательном движении сыворотки в зонах реактора

Эффективность коагуляции и очистки сыворотки при принятой схеме движения оценивали по процентному отношению белков, выделенных из сыворотки, к оставшимся. Изменение выхода белка K после обработки сыворотки в анодной и катодной зонах реактора растет с соответствующим изменением pH от начального, по мере того как показатель проходит точки коагуляции белков. В анодной зоне коагуляция заметно ниже, чем в катодной. Это можно, видимо, объяснить различной скоростью реакции в этих областях.

Максимальное выделение белка соответствует (5...7) 103 Кл/кг сыворотки. Это количество электричества соответствует напряженности электрического поля 600 В/м и продолжительности коагуляции 1600...1800 секунд. Следует обратить внимание, что коагуляция не является мгновенной, требует определенного времени на перезарядку и слипание белковых молекул.

Очистка сыворотки от белков приближается к полной, стопроцентной. Дальнейшая обработка сыворотки ведет к разрушению скоагулированных клубков молекул белков, скорее всего, из-за увеличения температуры и изменения ϕ -потенциала их поверхности (рисунок 4).

Оптимальная схема движения молочной сыворотки – последовательная, из анодной в катодную зону и на выход из коагулятора. Концентрация ионов H^+ и OH^- при электролизе зависит от количества электричества, протекающего через сыворотку. Изменяя количество электричества, возможно получить оптимальные условия для коагуляции белков сыворотки.



--- экспериментальная кривая; — аналитическая кривая

Рисунок 4 – Зависимость выделения белка K от количества электричества Q

Литература

1. Сельское хозяйство Республики Беларусь : [статистический сборник] / Национальный статистический комитет Республики Беларусь ; редкол.: И. В. Медведева (гл. ред.) [и др.]. – Информационно-вычислительный центр Национального статистического комитета Республики Беларусь, 2024. 211 с.
2. Брежнева, Е.А. Современное состояние и перспективы переработки молочной сыворотки / Е. А. Брежнева // Вестник науки. – 2021. – № 1. – С. 131–135.
3. Кривовязенко, Д.И. Электрохимическое изменение концентрации ионов в молочной сыворотке / Д.И. Кривовязенко, Е.М. Заяц // Агропанорама. – 2020. – № 4. – С. 42–45.
4. Храмцов, А. Г. Молочный сахар. – 2-е изд., перераб. и доп. / А. Г. Храмцов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 224 с.

УДК 621.316.722

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВР ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ I КАТЕГОРИИ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ АПК II КАТЕГОРИИ

Е.А. Дерушко, магистрант АЭФ

Научный руководитель: О.В. Бондарчук, канд. техн. наук
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет»,
г. Минск, Республика Беларусь

Бесперебойное, надежное и качественное электроснабжение является критическим фактором безопасности предприятий и непрерывности технологических процессов. Сельскохозяйственные объекты,