

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯТОРА БЕЛКОВ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ

Д.И. Кривовязенко,

ст. преподаватель каф. электротехнологии БГАТУ

Е.М. Заяц,

профессор каф. электротехнологии БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

В статье предложена методика расчета электрокоагулятора молочной сыворотки, которая позволяет определить геометрические размеры электродной системы и потребляемую мощность с учетом изменения ее свойств.

Ключевые слова: электрореактор, расчет параметров, электродная система, конструкция, электрическая проводимость, молочная сыворотка.

The article describes the calculation method of whey electrocoagulator which makes it possible to determine the geometry of electrode system and the coagulator power consumption taking into account the features updates.

Keywords: electroreactor, calculation of parameters, electrode system, design, electrical conductivity, whey.

Введение

В Республике Беларусь ежегодно производится более 7 млн тонн молока. Побочный продукт переработки молока – молочная сыворотка составляет до 3 млн тонн в год. Это ценный пищевой продукт, содержащий до 1 % белков и других полезных веществ, в то же время и сильный загрязнитель сточных вод молочных предприятий. Коагуляция и выделение белков – одно из направлений повышения эффективности использования сыворотки и защиты окружающей среды.

Известные методики расчета электродных систем [1-3] справедливы в условиях существенного влияния температуры среды на потребляемую мощность при отсутствии значительного изменения кислотности (pH). Предлагаемая методика позволяет провести расчет параметров электрореактора с учетом изменения ионного состава среды при незначительном изменении температуры.

Цель работы разработать методику расчета электрокоагулятора белков коллоидных растворов, основанную на изменении ионного состава коагулируемой среды, и в первую очередь, pH -показателя.

Основная часть

Задача расчета электрокоагулятора состоит в определении конструктивных размеров электрореактора, напряжения питания и мощности. Основными расчетными размерами являются: площадь поверхности электродов, межэлектродное расстояние в анодной и катодной зоне, число электродных камер. Электрореактор должен обеспечивать необходимое изменение водородного показателя молочной сыворотки и, как следствие, коагуляцию белков.

Расчетная схема электрореактора показана на рисунке 1. Молочная сыворотка с начальным $pH_н = 4,7...4,9$ входит в анодную зону А, опускается

вниз, подвергаясь воздействию электрического тока. Ее pH снижается до $3,0...3,5$ в зоне перехода из анодного в катодное пространство. Далее сыворотка протекает вверх вдоль катода, при этом pH изменяется от $3,0...3,5$ до $9...10$. Эти изменения pH охватывают весь диапазон изоэлектрических точек, в которых белки коагулируют.

Площадь поверхности электродов можно найти из уравнения баланса количества электричества на коагуляцию белков сыворотки

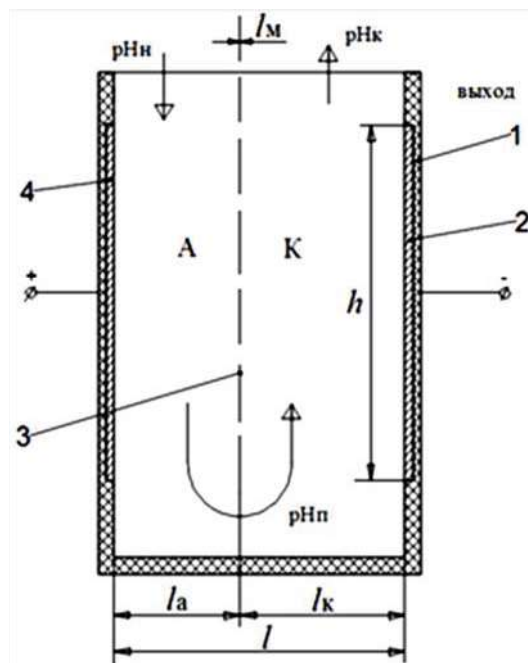


Рисунок 1. Расчетная схема электрореактора:
1 – корпус; 2, 4 – токоподводящие электроды;
3 – мембрана; А – анодная зона; К – катодная зона

$$Q = Q_{\Sigma} + Q_n, \quad (1)$$

где Q, Q_{Σ}, Q_n – количество электричества, соответственно, подведенное к электрореактору, полезно затраченное на электрообработку и потерянное на нагревание окружающей среды, Кл.

Количество электричества, подведенное к электрореактору

$$Q = \gamma_{\Sigma}(pH) E_c S d \tau, \quad (2)$$

где $\gamma_{\Sigma}(pH)$ – зависимость эквивалентной электрической проводимости сыvorотки от водородного показателя, См/м;

E_c – средняя напряженность электрического поля между анодом и катодом, В/м;

S – площадь электрода, м²;

τ – продолжительность обработки, с.

Примем, что температура изменяется за время обработки незначительно и ее влияние на проводимость сыvorотки не учитываем.

Удельная эквивалентная электрическая проводимость сыvorотки применительно к расчетной схеме (рис. 1)

$$\gamma_{\Sigma}(pH) = \frac{l_a + l_k + l_m}{\frac{l_a}{\gamma_V^A(pH)} + \frac{l_k}{\gamma_V^K(pH)} + \frac{l_m}{\gamma_V^M} + 2\rho_k}, \quad (3)$$

где l_a, l_k, l_m – соответственно, расстояния от анода до мембраны, от катода до мембраны и толщина мембраны, м;

$\gamma_V^A(pH), \gamma_V^K(pH), \gamma_V^M$ – удельная объемная электрическая проводимость сыvorотки в анодной, катодной области и мембраны, См/м;

ρ_k – удельное контактное сопротивление, Ом/м².

Межэлектродное расстояние l в электрореакторе коагулятора белков сыvorотки следует принимать примерно 0,02 м. Соотношение расстояний $l_a/l_k=0,8\dots0,9$, по исследованиям авторов. Различные расстояния обусловлены разной скоростью реакций в анодной и катодной зонах. Толщина мембраны l_m соответствует толщине материала, используемого для этих целей (для полиамидной мембраны МИФИЛ-ПА $l_m=0,25\cdot10^{-3}$ м). Удельное контактное сопротивление $\rho_k=0,015$ Ом·м².

Зависимость удельной объемной проводимости сыvorотки от водородного показателя:

для катодной области

$$\gamma_V^K(pH) = \gamma_V^K(pH_{нач}) \left[a_0 - a_1(pH^K - pH_{нач}) - a_2(pH^K - pH_{нач})^2 \right], \quad (4)$$

для анодной области

$$\gamma_V^A(pH) = \gamma_V^A(pH_{нач}) \left[a_0 - a_1(pH_{нач} - pH^A) - a_2(pH_{нач} - pH^A)^2 \right], \quad (5)$$

где $\gamma_V^A(pH_{нач}) = 0,09$ См/м – начальная удельная объемная электрическая проводимость сыvorотки при начальном $pH_{нач}=4,8$;

$\gamma_V^K(pH_n)$ – удельная объемная электрическая проводимость сыvorотки при водородном показателе в зоне перехода из анодной в катодную области реактора, т.е. при $pH=3,0\dots3,5$;

a_0, a_1, a_2 – коэффициенты;

$pH_{нач}$ – начальное значение pH среды;

pH^A, pH^K – текущее значение pH среды соответственно в анодной и катодной зоне.

После подстановки исходных значений в уравнение (3) и преобразований, получим:

$$\gamma_{\Sigma}(pH) = \gamma_{\Sigma}(pH_{нач}) \frac{0,12 - 0,003 pH}{0,12 - 0,0012 pH}, \quad (6)$$

где $\gamma_{\Sigma}(pH_{нач})=0,84$ См/м при $pH_{нач}=4,8$.

Количество электричества, затраченное на электрокоагуляцию

$$Q_{\Sigma} = q(pH) m d(pH), \quad (7)$$

где $q(pH)$ – удельное количество электричества на коагуляцию белков в одном килограмме сыvorотки, Кл/кг;

m – масса обрабатываемой сыvorотки, кг.

Зависимость удельного количества электричества от pH

$$q(pH) = \frac{(10^{3-pH_{нач}} - 10^{3-pH_k}) F}{\rho n_{H^+}}, \quad (8)$$

где $\rho=1020$ кг/м³ – плотность молочной сыvorотки; $F=96485$ Кл/моль – число Фарадея.

При одинаковых объемах анодной и катодной зон электрореактора число переноса ионов H^+

$$n_{H^+} = \frac{C_{H^+}^{A_0} \lambda_{H^+}}{\sum_{i=1}^a C_{k_i}^{A_0} \lambda_{k_i} + \sum_{j=1}^b C_{a_j}^{K_0} \lambda_{a_j}}, \quad (9)$$

где $C_{H^+}^{A_0}, C_{k_i}^{A_0}, C_{a_j}^{K_0}$ – соответственно начальная концентрация катиона H^+ , i -го катиона в анодной зоне и j -го аниона в катодной зоне, моль/м³;

$\lambda_{H^+}, \lambda_{k_i}, \lambda_{a_j}$ – соответственно подвижность катиона H^+ , i -го катиона и j -го аниона, См·м².

Зависимость концентрации ионов сыvorотки рассмотрена в нашей работе [1]. Подставив значения их концентраций в уравнение (9), получим $n_{H^+} = 0,73$.

Потери энергии в окружающую среду учитываем коэффициентом потерь K , равным $1,05\dots1,10$.

Подставив соответствующие значения в уравнение (1), получим:

$$E_c S \gamma_{\Sigma}(pH_{нач}) d \tau = K q(pH) m d(pH) \quad (10)$$

$$E_c S \gamma_{\Sigma}(pH_{нач}) \frac{0,12 - 0,03 pH}{0,12 - 0,0012 pH} d\tau =$$

$$= \frac{(10^{3-pH_{нач}} - 10^{3-pH_{к}}) FK}{\rho n_{H^+}}, \quad (11)$$

$$\frac{E_c S \gamma_{\Sigma}(pH_{нач}) \rho n_{H^+}}{kmF} =$$

$$= \frac{0,12 - 0,0012 pH}{0,12 - 0,03 pH} (10^{3-pH_{нач}} - 10^{3-pH_{к}}). \quad (12)$$

Правая часть уравнения (9) может быть решена только численно. Для $pH_{нач}=4,8$ и $pH_{к}=10$ ее решение с помощью приложения Matcad дает число $f=0,84$.

Тогда площадь электродов реактора

$$S = \frac{Kmfk_m}{E_c \gamma_{\Sigma}(pH_{нач}) \rho n_{H^+} \tau}, \quad (13)$$

где $k_m=55,6$ моль/кг – количество молей в 1 кг сывортки, приблизительно.

Среднюю напряженность электрического поля E_c принимаем согласно нашим исследованиям, 600...700 В/м, плотность тока – до 110 А/м². Напряжение питания чаще всего 12 В.

Количество электродных камер N зависит от производительности коагулятора и его конструктивного выполнения.

Площадь одного электрода

$$S_1 = S : N \quad (14)$$

Высота электрода при его заданной ширине b

$$h = S_1 : b \quad (15)$$

Ширину электрореактора приблизительно можно определить (рис. 1)

$$L = N(l + 2\delta_{cm}), \quad (16)$$

где $\delta_{cm} = 2...3$ мм – толщина электрода.

Высота стенок электрореактора должна быть на 10...20 % больше высоты электрода [4].

Расчетная мощность электрореактора, Вт

$$P_p = \frac{U^2 \gamma_{\Sigma}(pH_{нач}) S}{l}. \quad (17)$$

По изложенной методике рассчитан электрореактор коагулятора белков молочной сывортки и изготовлен лабораторный образец (рис. 2). Производительность электрокоагулятора – 1000 кг/ч, мощность – 10 кВт. Напряжение питания электрореактора – 12 В, расчетный ток – 900 А. Источник питания электрореактора – стандартный выпрямитель ТВ1-1200/12Т-0УХЛ4. Питание электрокоагулятора от сети – 400/230 В.

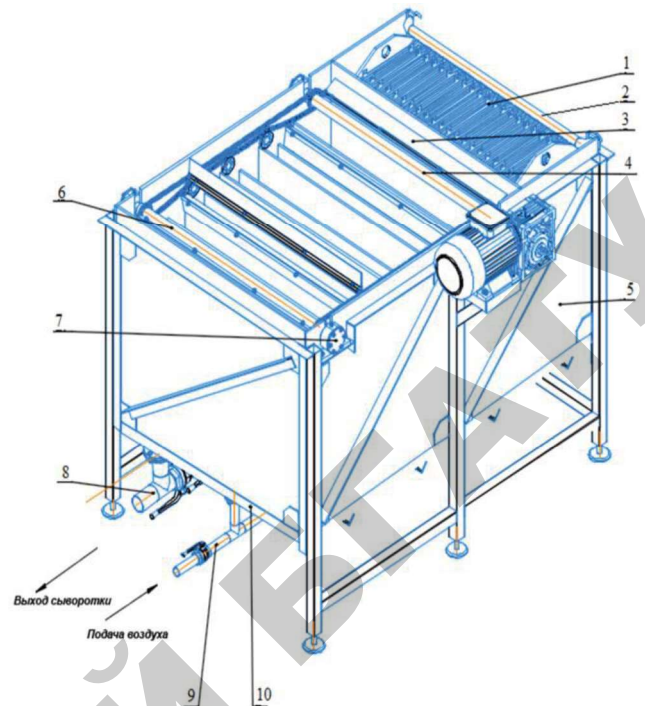


Рисунок 2. Электрокоагулятор белков молочной сывортки: 1 – электрореактор; 2 – трубопровод подвода исходной сывортки; 3 – скребковый транспортер; 4 – вал приводной; 5 – бак; 6 – вал ведомый; 7 – ролик опорный; 8 – трубопровод отводной; 9 – трубопровод подвода воздуха; 10 – каркас

Заключение

Предложенная методика расчета электрореактора необходимой производительности применима и к другим коагуляторам коллоидных смесей, например, для устройств очистки сточных вод предприятий мясной, молочной, кожевенной и др. промышленности. По данной методике рассчитан и разработан опытный электрокоагулятор белков.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сельское хозяйство Республики Беларусь: статистический сб. / Национальный статистический комитет Республики Беларусь; редкол.: И.В. Медведева (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Информационно-вычислительный центр Национального статистического комитета Республики Беларусь, 2019. – 211 с.
2. Храмов, А.Г. Технология продуктов из молочной сывортки: учеб. пособие / А.Г. Храмов, П.Г. Нестеренко. – М.: ДеЛи принт, 2004. – 587 с.
3. Справочник по переработке молока [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://dairyprocessinghandbook.com/ru/chapter/pererabotka-syvorotki>. – Дата доступа: 10.07.2019.

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.