

Рисунок 3 –Установка с коаксиальным резонатором для термообработки вторичного жиросодержащего мясного сырья:

- а) технологическая схема; б) общий вид со шкафом управления в) элементы для обеззараживания сырья;
 1 – загрузочная емкость; 2 – наружный цилиндр с перфорированным нижним основанием 7; 3 – коаксиальный резонатор; 4 – внутренний неферромагнитный спиральный цилиндр; 5 – фторопластовый шнек; 6 – магнетроны; 8 – неферромагнитная накопительная емкость; 9 – запердельный волновод; 10 – диэлектрическая труба; 11 – керамическая кольцевая поверхность; 12 – неоновые лампы; 13 – коронирующие щетки

Заключение

Результаты вычисления электродинамических параметров показывают, что напряженность электрического поля в коаксиальном резонаторе составляет 4...6 кВ/см при их размерах, согласованных с семикратной длиной волны (7λ) и мощности генератора 2400 Вт. Собственная добротность составила – 130 тыс. Нагруженная добротность равна 14...22 тыс.

Литература

1. Электрофизические, оптические и акустические характеристики пищевых продуктов / И. А. Рогов, В. Я. Адаменко, С. В. Некрутман – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 288.
2. Стрекалов А. В. Стрекалов Ю.А. Электромагнитные поля и волны. – М.: РИОР:ИНФРА-М 2014. -375 с.

УДК 66.087.5:637.146.4

К РАСЧЕТУ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯТОРА БЕЛКОВ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ

Кривовязенко Д.И., к.т.н., доцент

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

Производство молочной сыворотки в Республике Беларусь неуклонно растет и к 2025 году достигнет 5 млн. тонн [1]. Оптимальным способом переработке сыворотки является извлечение из нее наиболее ценных компонентов, одним из которых является сывороточный белок. Известные методики расчета электродных систем [2,3] справедливы в условиях существенного влияния температуры среды на потребляемую мощность при отсутствии значительного изменения кислотности (рН). Предлагаемая методика позволяет провести расчет параметров электрореактора с учетом изменения ионного состава среды при незначительном изменении температуры.

Электрокоагулятор предназначен для коагуляции белков молочной сыворотки. Он может быть использован для коагуляции белков картофельного сока и некоторых других коллоидных сред.

Электрокоагулятор должен выполнять следующие технологические требования:

- дозировать количество электричества, протекающего через сыворотку в пределах 5000...7000 Кл/кг;
- поддерживать в заданном диапазоне напряженность электрического поля 500...700 В/м и плотность тока 100...120 А/м²;
- обеспечивать продолжительность обработки сыворотки в течение 1600...1800 с;
- не превышать температуру сыворотки более 25...28 °С;
- изменять рН показатель в анодной зоне от 4,6 до 3...4, в катодной от 3...4 до 8...10;
- выделять после коагуляции не менее 90 % белков.

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 $pH_n=4,7..4,9$ 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 [4].

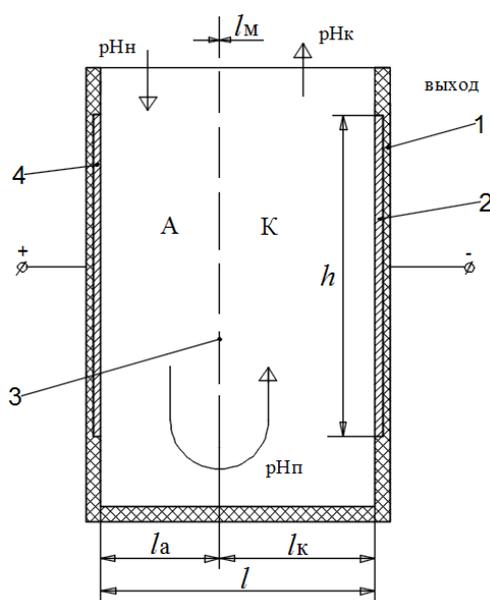


Рисунок 1 – Расчетная схема электрореактора:

1 – корпус; 2, 4 – токоподводящие электроды; 3 – мембрана; А – анодная зона; К – катодная зона

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

$$Q = Q_{\text{э}} + Q_n, \quad (1)$$

где $Q, Q_{\text{э}}, Q_n$ - количество электричества соответственно подведенное к электрореактору, полезно затраченное на электрообработку и потерянное на нагревание окружающей среды, Кл.

Количество электричества, подведенное к электрореактору

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

где $\gamma_{\vartheta}(pH)$ - зависимость эквивалентной электрической проводимости сыворотки 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 сыворотки не учитываем.

Удельная эквивалентная электрическая проводимость сыворотки применительно к расчетной схеме (рисунок 1)

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

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 сыворотки в анодной, катодной области и мембраны, См/м; ρ_k - удельное контактное сопротивление, Ом · м².

Межэлектродное расстояние l в электрореакторе коагулятора белков сыворотки следует принимать примерно 0,02 м. Соотношение расстояний $l_a / l_k = 0,8 \dots 0,9$, по нашим исследованиям. 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 $l_m = 0,25 \cdot 10^{-3}$ м. Удельное контактное сопротивление $\rho_k = 0,015$ Ом · м².

После преобразований получим

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

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

Количество электричества, затраченное на электрокоагуляцию

$$Q_{\vartheta} = q(pH) m d(pH),$$

где $q(pH)$ - удельное количество электричества на коагуляцию белков в одном килограмме сыворотки, Кл/кг; m - масса обрабатываемой сыворотки, кг.

Зависимость удельного количества электричества от pH

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

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

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

$$n_{H^+} = \frac{C_{H^+}^{A_0} \lambda_{H^+}}{\sum_{i=1}^a C_{k_i}^{A_0} \lambda_{k_i} + \sum_{j=1}^b C_{a_j}^{K_0} \lambda_{a_j}}, \quad (2)$$

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; λ_{H^+} , λ_{k_i} , λ_{a_j} - соответственно подвижность катиона H^+ , i -го катиона и j -го аниона, См · м².

Зависимость концентрации ионов сыворотки рассмотрена в нашей работе [4]. Подставив значения их концентраций в (2) получим $n_{H^+} = 0,73$.

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

Подставив соответствующие значения в (1), получим

$$\frac{E_c S \gamma_{\Sigma}(pH_{нач}) \rho n_{H^+}}{kmF} = \frac{0,12 - 0,0012 pH}{0,12 - 0,03 pH} (10^{3-pH_{нач}} - 10^{3-pH_{к}}) \quad \text{или} \quad (3)$$

Правая часть уравнения (3) 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

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

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

Среднюю напряженность электрического поля E_c принимают 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

$$S_1 = S : N.$$

Высота электрода при его заданной ширине v

$$h = S_1 : v.$$

Ширина электролизера приближенно можно определить (рис. 1)

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

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

Высота стенок электролизера должна быть на 10...20 % больше высоты электрода [5].

Расчетная мощность электрореактора, Вт:

$$P_p = \frac{U^2 \gamma_{\varepsilon} (pH_{нач}) S}{l}$$

По изложенной методике рассчитан электрореактор коагулятора белков молочной сыворотки и изготовлен лабораторный образец (рисунок 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 400/230В.

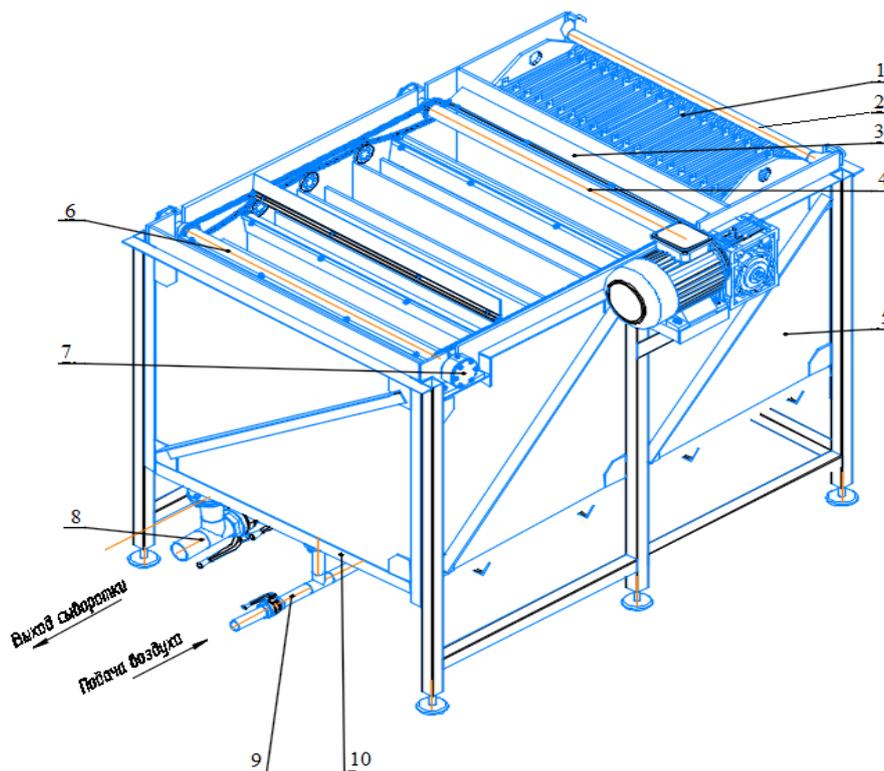


Рисунок 2 – Электрокоагулятор белков молочной сыворотки:

1-электрореактор; 2- трубопровод подвода исходной сыворотки; 3-скребковый транспортер; 4-вал приводной; 5-бак; 6-вал ведомый; 7-ролик опорный; 8-трубопровод отводной; 9-трубопровод подвода воздуха; 10-каркас

Заключение

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

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, 2023. 228 с.
2. Гайдук, В.Н. Практикум по электротехнологии / В.Н. Гайдук, В.Н. Шмигель. – Москва : Агропромиздат, 1989. – 176 с
3. Заяц, Е.М. Электротехнология : учебное пособие / Е. М. Заяц. – Минск : ИВЦ Минфина, 2019. – 400 с.

4. Кривовязенко, Д.И. Электрохимическое изменение концентрации ионов в молочной сыворотке / Д.И. Кривовязенко, Е.М. Заяц // Агропанорама. – 2019. – №4. – С. 42–45.
5. Ющенко, И. Б. Разработка способа электрокоагуляции белка картофельного сока : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / И. Б. Ющенко. – Минск, 1997. – 122 л.

УДК 621.313

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЙ

Зеленькевич¹ А.И., к.т.н., доцент, **Збродыга¹ В.М.**, к.т.н., доцент,
Шевчик² Н.Е., к.т.н., доцент

¹Белорусский государственный аграрный технический университет,

²Институт энергетики НАН Беларуси, г. Минск

При отсутствии специальных приборов для непосредственного измерения показателей качества электроэнергии коэффициенты несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности можно определить аналитическими методами, используя измеренные с помощью вольтметров значения междуфазных и фазных напряжений трехфазной электрической сети. Применяются точные аналитические методы, требующие большого количества вычислений, и приближенные. Эти методы были представлены в действовавшем ранее ГОСТ 13109-97 [1].

Например, действующее значение напряжения обратной последовательности основной частоты вычисляется по формуле

$$U_2 = \sqrt{\frac{1}{12} \left[\left(\sqrt{3}U_{AB} - \sqrt{4U_{BC}^2 - \left(\frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}} + U_{AB} \right)^2} \right)^2 + \left(\frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}} \right)^2 \right]}, \quad (1)$$

а коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} в процентах:

$$K_{2U} = \frac{U_2}{U_1} \cdot 100, \quad (2)$$

где U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} – действующие значения напряжения междуфазных напряжений прямой последовательности основной частоты, В; U_1 – действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты, В.

Допускается вычислять U_2 по приближенной формуле

$$U_2 = 0,62(U_{нб} - U_{нм}), \quad (3)$$

где $U_{нб}, U_{нм}$ – наибольшее и наименьшее действующие значения из трех междуфазных напряжений основной частоты, В.

При этом относительная погрешность определения K_{2U} с использованием формулы (3) вместо формулы (1) не превышает 8 % [1].