

ся, обеспечивая еще большую точность и удобство измерений. В будущем, с развитием квантовых технологий и нанофотоники, интерференционные методы могут стать еще более важными для контроля качества в микроэлектронике.

Литература

1. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника и микроэлектроника.: Высшая школа, 2004.
2. Курец В.Ф., Шерстнев Л.Г. Оптические методы контроля в микроэлектронике // Известия НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2010.
3. Прокопенко В.Т., Кулак М.И. Интерференционные методы измерения толщины тонких пленок // Приборы и методы измерений. – 2015.
4. Жуков А.А., Петров А.П. Современные методы диагностики тонкопленочных структур в микроэлектронике. – Минск: БГУИР, 2018.

УДК 621.365.683.9

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ МОЛОЧНОГО БЛОКА НА БАЗЕ МНОГОЗОННОГО ЭЛЕКТРОДНОГО ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЯ

М.А. Волонтей, студент 5 курса АЭФ

Научный руководитель: И.Г. Рутковский, канд. техн. наук
*УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет»,*

г. Минск, Республика Беларусь

На фермах крупного рогатого скота (КРС) в Республике Беларусь ежегодно выращивается более 1 млн гол. телят, в рацион кормления которых включен обрат (обезжиренное молоко) [1]. Согласно статистике в год от 100 гол. КРС выход составляет 90 гол. телят. Отелы происходят в основном с середины сентября по середину мая. При этом на ферме одновременно необходимо выпаивать до 30 гол. телят на каждые 100 гол. КРС. Норма подогреваемого обрата определяется из рациона кормления. Для телят до 6 месяцев, на 1 тонну готовой кормосмеси необходимо добавлять до 400 кг обрата [2]. В сутки теленок получает 10...16 литров жидкой кормосмеси, соответственно для ее приготовления требуется 4...6,4 литра обрата в сутки на одного теленка.

При фермерском ведении сельскохозяйственного производства возрастает роль относительно небольших ферм КРС (до 100 гол.). При оснащении таких ферм необходима децентрализация теплоснабжения в сочетании с невысокой стоимостью оборудования при его высоком коэффициенте полезного действия (КПД) и надежности. Применительно к нагревательным установкам, кроме того, необходима высокая пожаробезопасность. Все эти требования выполняются при использовании электродных электронагревателей (ЭЭН) [3].

Поскольку обрат термолabileная среда, т.е. термонеустойчивая, свойства которой зависят от температуры и реагируют на ее изменение, при нагреве – изменяются, а при нагреве выше допустимой температуры – изменяются необратимо, то при его подогреве необходимо проводить контроль температуры с высокой оперативностью и точностью. Так как процессы термообработки термолabileных сред, как правило, быстротечны, то для упрощения системы автоматического регулирования (САР) температуры ЭЭН необходимо использовать малоинерционные датчики температуры. Вместе с тем, зонирование электродной системы позволяет, в качестве термочувствительного элемента, использовать термозависимое сопротивление нагреваемой среды. При этом измерение её сопротивления наиболее просто и с высокой точностью можно производить методом нулевого или дифференциального сравнения. Для этого ЭЭН должен иметь один или несколько промежуточных (дополнительных) электродов и градиент температуры в обрабатываемой среде. Такой ЭЭН будет выполнять функции датчика и называться электродным электронагревателем-датчиком (ЭЭН-Д) [4].

Нагревательный блок ЭЭН-Д по стоимости на порядок ниже стоимости ТЭНов той же установленной мощности, имеет высокий КПД, пожаробезопасен. Простая схема управления позволяет с заданной точностью контролировать режим термообработки и исключить аварийные режимы. Мощность ЭЭН зависит от количества подогреваемого обрата, времени нагрева, определяемого режимом кормления и расписанием работы обслуживающего персонала, и значения конечной температуры нагрева, которое определяется с учетом технологических требований к процессу кормления телят обратом, молоком и заменителями молока [2], а также температурных потерь в процессе раздачи. С учетом вышеизложенного целесообразна разработка ЭЭН-Д для подогрева обрата.

При создании электронагревательных установок (ЭНУ) для подогрева термолабильных сред необходимо обеспечить требуемую скорость нагрева. При использовании ЭЭН также необходимо заданное распределение плотности тока в среде межэлектродного пространства. Поэтому при разработке ЭНУ на базе зонированных ЭЭН-Д, необходимо применять электротепловые схемы (ЭТС) ЭЭН-Д с плоскопараллельным исполнением электродных систем, которые обеспечивают наиболее равномерное распределение плотности тока по ширине электродов (рисунок 1). Зонированные ЭЭН-Д с плоскопараллельными электродами могут иметь различную конфигурацию электродных систем [4, 5]. Вместе с тем, их ЭТС будут частным случаем ЭТС, представленной на рисунке 1.

Электротепловые процессы (ЭТП) в зонированных проточных ЭЭН-Д с плоскопараллельными электродами (рисунок 1) описываются уравнением [3]:

$$C_p \cdot \rho_c \left(\frac{\partial \theta_c}{\partial \tau} + v(x) \cdot \frac{\partial \theta_c}{\partial x} \right) = \frac{U_k^2 \cdot \eta}{\rho_t(\theta_c) \cdot H_k^2}, \quad (1)$$

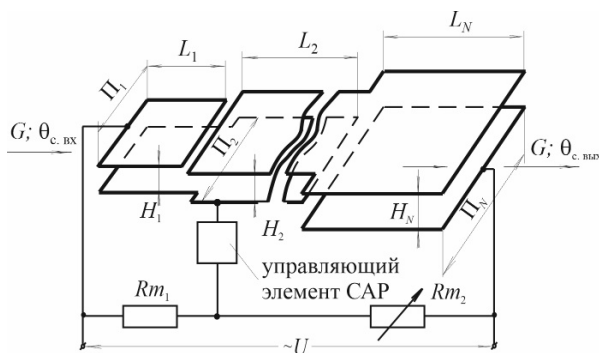
где C_p – удельная теплоемкость обрабатываемой среды, Дж/(кг·°С); ρ_c – плотность обрабатываемой среды, кг/м³; θ_c – температура обрабатываемой среды, °С; τ – переменная по времени нагрева, с; $v(x)$ – скорость обрабатываемой среды в межэлектродном пространстве на расстоянии x от начала ЭЭН-Д ($v(x) = G / (\rho_c \cdot H_k \cdot \Pi_k)$), м/с; G – массовый расход обрабатываемой среды, кг/с; H_k – межэлектродное расстояние на k -й зоне ЭЭН-Д, м; Π_k – ширина электродов на k -й зоне ЭЭН-Д, м; η – КПД, о.е.; ρ_t – удельное сопротивление обрабатываемой среды, Ом·м; U_k – напряжение на k -й зоне ЭЭН-Д ($k = 1, 2, \dots, N$), В; N – количество последовательно соединенных зон (на единицу меньше количества электродов электродной системы ЭЭН-Д).

При описании ЭТП в ЭЭН-Д (рисунок 1) к уравнению (1), записанному для k -й зоны, необходимо дополнительно записать систему уравнений (2) для вычисления напряжения U_k на k -й зоне ЭЭН-Д [3]:

$$\begin{cases} U_k = \sum_{k=1}^N I \cdot R_k; I = U / R; R = \sum_{k=1}^N R_k; \\ R_k = \left(\int_0^{L_k} \rho_t(\theta_c) dx \cdot \int_0^{L_k} H_k dx \right) / \left(\int_0^{L_k} \Pi_k dx \cdot L_k^2 \right), \end{cases} \quad (2)$$

где I – текущее значение полного тока ЭЭН-Д, А; R_k – сопротивление k -й зоны ЭЭН-Д, Ом; R – полное сопротивление ЭЭН-Д, Ом; L_k – длина электродов k -ой зоны ЭЭН-Д, м.

Приведенная математическая модель позволяет рассчитывать конструктивные параметры проточных ЭЭН-Д, обеспечивающих заданное распределение плотности тока в обрабатываемой среде межэлектродного пространства, что необходимо при подогреве обрат.



G – массовый расход обрабатываемой среды, кг/с; $\theta_{с.вх}$, $\theta_{с.вых}$ – температура на входе и на выходе ЭЭН-Д, °С; $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_N$ – ширина электродов на 1, 2, ..., N -ой последовательно соединенной зоне ЭЭН-Д, м; N – количество последовательно соединенных зон (на единицу меньше количества электродов электродной системы ЭЭН-Д); $L_1, L_2, \dots, L_N$ – длина электродов на 1, 2, ..., N -ой последовательно соединенной зоне ЭЭН-Д, м; $H_1, H_2, \dots, H_N$ – межэлектродное расстояние на 1, 2, ..., N -ой последовательно соединенной зоне ЭЭН-Д, м; R_{m1}, R_{m2} – термнезависимые сопротивления измерительного моста ЭЭН-Д, Ом; U – напряжение питания, В

Рисунок 1 – ЭТС проточного ЭЭН-Д с плоскопараллельной зонированной электродной системой

Литература

1. Технологические требования по выращиванию телят : рекомендации / Мин-во сел. хоз-ва и продовол. Респ. Беларусь // Белорусское сельское хозяйство, – Минск, 2014. – 32 с.

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-