

Список использованных источников

1. Мусин, А.М. О выборе мощности привода зернодробилки и критерия оптимизации его загрузки / А.М. Мусин, Б.П. Чеба // Электрификация сельскохозяйственного производства: сб. научных трудов; под ред. Р.Л. Самойлович. – М., 1975. – Том 12, вып. 3, Ч.1. – С. 47–53.
2. Дайнеко, В.А. Обоснование целевой функции и критерия оптимизации конструктивных и технологических параметров системы электропривода вальцовых плющилок-измельчителей зерна / В.А. Дайнеко, И.И. Гургенидзе, Е.М. Прищепова // Агропанорама. – 2015. – №4. – С. 30–35.
3. Дайнеко, В.А. К вопросу снижения энергоемкости процесса измельчения фуражного зерна / В.А. Дайнеко, Е.М. Прищепова // Агропанорама. – 2008. – №1. – С. 35–40.

**Прищепов М.А., д.т.н., доцент,
Рутковский И.Г., ст. преподаватель
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ
НА ЭЛЕКТРОДАХ ПРОТОЧНЫХ МНОГОЗОННЫХ
ЭЛЕКТРОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ**

На тепловую обработку термолабильных сред, при электродном нагреве, существенное влияние оказывают отложения на электродах. Под действием высоких температур на компоненты обрабатываемых сред, происходят необратимые физико-химические изменения, например денатурация белков или карамелизация сахаров.

В зависимости от вида продукта и режима обработки отложения можно разделить на легко удаляемый налет, который образуется при небольшом перегреве и на сложно удаляемый пригар, который образуется при сильном перегреве. При нагреве воды на количество отложений влияют примеси нескольких групп. В первую очередь это грубодисперсные примеси, например взвешенные частицы песка, глины и других частиц минерального и органического происхождения. Так же на образование отложений влияют коллоидно-дисперсные примеси, например соединения кремния, алюминия,

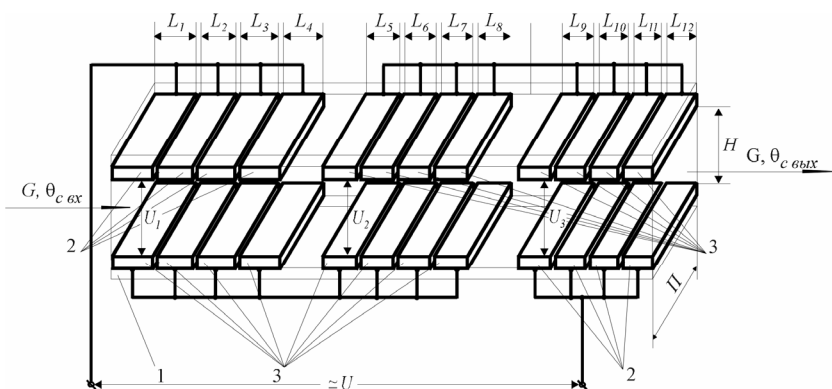
железа, и некоторые органические вещества. Кроме того следует отметить влияние на образование отложений молекулярно- и ионодисперсных примесей, например растворенных в воде солей, кислот, щелочей и газов. Интенсивность образования отложений зависит от ряда факторов. В настоящее время отмечается, что наибольшее влияние оказывают: плотность тока, температура нагрева обрабатываемой среды, наличие застойных зон, скорость движения обрабатываемой среды в межэлектродном пространстве, кислотность и содержание газов. [1].

По растворимости в воде и в соляной кислоте отложения можно разделить на несколько типов. К первому относятся отложения, не растворимые в воде и не разлагаемые соляной кислотой. В эту группу попадает большинство котельных накипей, а также продукты коррозии металла, образующиеся под воздействием перегретого водяного пара. Второй тип составляют отложения, практически нерастворимые в воде, но легко разлагаемые соляной кислотой. К ним относятся так называемые низкотемпературные накипи, в том числе накипи образующиеся в электрических аппаратах. Третий тип составляют отложения, в значительной степени растворимые в воде (например, отложения в пароперегревателях котлов и проточной части паровых турбин).

Любое образование отложений приводит к сложностям в эксплуатации нагревательной установки, так как отложения образуют дополнительное сопротивление на границе электрод-среда и приводят к уменьшению межэлектродного расстояния. Это приводит к перераспределению мощности по длине электродного электронагревателя (ЭЭН), а соответственно, и плотности тока на электродах по всей длине ЭЭН, что вызывает неравномерный нагрев и способствует лавинообразному росту количества отложений на электродах ЭЭН. Обзор литературных источников [1, 2] показывает, что распределение образующихся отложений практически не поддается теоретическому моделированию. Исследования должны проводиться экспериментально на реальной установке для конкретных режимов работы, так как при разработке ЭЭН невозможно учесть все факторы которые влияют на образование отложений на электродах.

Для исследования работы проточного многозонного ЭЭН при наличии отложений на его электродах была изготовлена экспериментальная установка электродного нагревателя. Поскольку толщина отложений на электродах зависит от различных факторов и, как правило, возрастает с увеличением температуры к выходу из ЭЭН, то для определения температурной зависимости удельного

сопротивления (проводимости) отложений на электродах и распределения их толщины по длине ЭЭН необходимо выделить участки электродов для проведения измерений. Для этого каждый из электродов ЭЭН был разбит на четыре одинаковых участка (рисунок 1). Электроды разработанного ЭЭН имели следующие размеры $H=0,006$ м; $\Pi=0,04$ м; $L_1=L_2=L_3=L_4=0,04$ м; $L_5=L_6=L_7=L_8=0,0315$ м; $L_9=L_{10}=L_{11}=L_{12}=0,03$ м. При экспериментальных исследованиях подавали водопроводную воду с удельным сопротивлением $\rho_o=38$ Ом·м и ТКС $\alpha_T=-0,009$ 1/°С, плотностью $\rho_c=1000$ кг/м³, теплоемкостью $C_p=4174$ кДж/(кг·°С) и массовым расходом $G=0,003$ кг/с. Напряжение питания $U=232$ В. Нагрев проводился от 10 °С до 60 °С.



1 – корпус; 2 – основные токоподводящие электроды;
3 – дополнительные электроды

Рисунок 1 – Экспериментальная установка проточного многозонного ЭЭН для исследования образования отложений на электродах при электротепловой обработке

При проведении экспериментальных исследований, через прозрачные боковые стенки ЭЭН из оргстекла, проводился визуальный контроль образования отложений. Периодически проводилась разборка нагревателя, измерение расстояния между образовавшимися отложениями и толщины отложений. Также по величине напряжений и тока определялось общее сопротивление обрабатываемой среды и отложений на участках электродов ЭЭН. С учетом измененного расстояния между образующимися отложениями определялось сопротивление обрабатываемой среды.

Проведение экспериментальных исследований показало, что распределение отложений на электродах при работе электронагревателя происходит неравномерно, их количество увеличивается к выходу из электронагревателя. Через 240 часов работы толщина отложений, на выходе электронагревателя достигла 0,9 мм.

Корреляционно-регрессионный анализ результатов показал, что изменение толщины отложений по длине ЭЭН, происходит по закону близкому к линейному. Изменение толщины отложений по времени работы ЭЭН происходит по нелинейному закону. Анализ результатов показывает увеличение скорости роста толщины отложений с увеличением времени работы ЭЭН. В результате математической обработки экспериментальных данных получено выражение изменения распределения толщины отложений $HR_0(x, T)$ по длине ЭЭН в зависимости от времени его работы:

$$HR_0(x, T) = 1,937 \cdot 10^{-5} \cdot x - 2,139 \cdot 10^{-7} \cdot T + 2,383 \cdot 10^{-10} \cdot T^2 + 9,279 \cdot 10^{-6} \cdot x \cdot T \quad (1)$$

где x – переменная по длине ЭЭН, м; T – время работы ЭЭН, час.

Анализ экспериментальных данных напряжений на зонах нагрева и токов через участки электродов ЭЭН показал, что электрическая проводимость при $^{\circ}C$ и температурный коэффициент проводимости отложений на электродах, как по длине нагревателя, так и по времени его работы существенно не меняются ($\gamma_0 = 0,0148 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, $\alpha_{II} = 0,071 \text{ 1/}^{\circ}C$). Это значит, что при данном режиме нагрева, в исследуемом диапазоне образования отложений, структура кальциево-магниевого отложений существенно не меняется.

Полученные результаты можно использовать при расчете конструкции и моделировании работы ЭЭН во время их проектирования, для эксплуатации, ремонта и обслуживания.

Список использованных источников

1. Маслов, А.М. Аппараты для термообработки высоковязких жидкостей / А.М. Маслов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1980. – 208 с.
2. Васильева, Л.В. Формирование элементного и фазового состава отложений в теплоэнергетическом оборудовании в условиях различных схем водоподготовки и способы их удаления : дис. ... канд. хим. наук : 03.02.08 / Л.В. Васильева. – Краснодар., 2017. – 136 с.