

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОДНЫХ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ СНИЖЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ АКРИЛАМИДА В ОБРАБАТЫВАЕМОЙ СРЕДЕ

И.Г. Рутковский, ст. преподаватель (УО БГАТУ, г.Минск).

На основании современных исследований выявлено, что при тепловой обработке пищевых продуктов и кормов, особенно с высоким содержанием углеводов, необходимо соблюдать более жесткие требования. Установлено, что при нагреве пищевых продуктов образуется акриламид. В воде концентрацию канцерогена акриламида контролируют уже много лет. Акриламид может попадать в воду при нарушении режимов ее очистки, из загрязненной окружающей среды, например через сточные воды и выбросы в атмосферу химических предприятий. В СанПиН 2.1.4.1074–01 предельно-допустимая концентрация акриламида – 0,01 мг/л. Согласно ГН 2.1.5.1315-03 содержание акриламида в природной и питьевой воде не должно превышать 0,0001 мг/л. Директива 98/83/ЕС Совета от 3 ноября 1998 года о качестве питьевой воды также ограничивает содержание акриламида до 0,0001 мг/л.

В 2002 году было доказано, что акриламид может образовываться при термообработке пищевых и кормовых продуктов. При традиционной тепловой обработке контактная поверхность теплообмена раскаляется до высоких температур, что способствует образованию акриламида. Всемирная организация здравоохранения, стандартом 2009 года, объявила приоритетными исследования и разработки по предотвращению и ограничению образования акриламида в продуктах [1].

Исследованиями установлено, что наиболее интенсивно акриламид образуется при температуре выше 120 °С. В таблице 1 приведено содержание акриламида в различных пищевых продуктах [2].

Таблица 1 – Содержание акриламида в пищевых продуктах [2]

Пищевой продукт	Содержание акриламида в 1 кг продукта, мкг
Сырые и вареные продукты (мука, отруби, картофель, спагетти, рис, овсяная каша)	до 30
Жареные и печеные продукты (блины, жареная рыба, пицца, белый хлеб, ржаной хлеб)	30-80
Сухие завтраки, печенье, крекеры	200-500
Картофель фри	356-600
Хрустящий картофель (Estrella)	670-1200
Чипсы (Lays, pringles...)	1250-1300

Анализируя таблицу, можно прийти к выводу, что при увеличении температуры термообработки содержание акриламида в продуктах увеличивается. Однако в сырых и вареных продуктах (мука, отруби, картофель, спагетти, рис, овсяная каша) также обнаружен акриламид. Это может происходить по нескольким причинам. Во-первых: в продукты акриламид мог попасть из загрязненной окружающей среды, например через выбросы химических предприятий. Во-вторых: теплоноситель при сушке зерна и контактная поверхность теплообмена при варке пищевых продуктов, как правило разогреты до температур, которые значительно превышают 120 °С. Это также может привести к образованию акриламида. Из таблицы видно, что при варке акриламид образуется в значительно меньшей степени, чем при обжаривании или выпечке.

Снизить температуру термообработки можно только путем перехода к объемному вводу энергии в нагреваемую среду. Из путей объемного ввода энергии в нагреваемую

среду наиболее перспективно проводить термообработку прямым электронагревом сопротивлением. Высокочастотный нагрев не нашел промышленного распространения в связи со сложностью электрической схемы и большими потерями электроэнергии.

Широкое распространение электродных нагревателей до сих пор сдерживало отсутствие методики расчета, которая бы учитывала ограничение по плотности тока на электродах в зависимости от температуры нагреваемой среды. Разработанные методики расчета [3], позволяют разрабатывать электродные нагреватели с требуемым распределением плотности тока. Это позволяет снизить до допустимых пределов, или полностью исключить, нежелательные электрохимические процессы при электротепловой обработке. Электродный нагрев имеет высокий КПД – 98% и отличается простотой реализации. Однако при использовании электродных нагревателей очень жестко стоит вопрос электробезопасности. Поэтому корпус электродного нагревателя, в обязательном порядке, выполняется из диэлектрического материала. Кроме того используются защитные кожухи, защитная сигнализация, защитные блокировки и защитное отключение. Для установок с электродными нагревателями большой мощности желательно защитное ограждение. А для проточных электродных нагревателей обязательны диэлектрические вставки в трубопровод. Необходимость применения этих дополнительных мер оправдана тем, что при других способах нагрева существенно снизить содержание акриламида в обрабатываемой среде не представляется возможным.

Для разработки электродных нагревателей с требуемым распределением плотности тока необходимо применение секционирования и зонирования электродной системы (рисунок 1, 2). Зонирование электродной системы, кроме того позволяет контролировать изменение сопротивления обрабатываемой среды на зонах нагрева. Это дает возможность контролировать температуру нагрева обрабатываемой среды и вести нагрев в требуемом режиме.

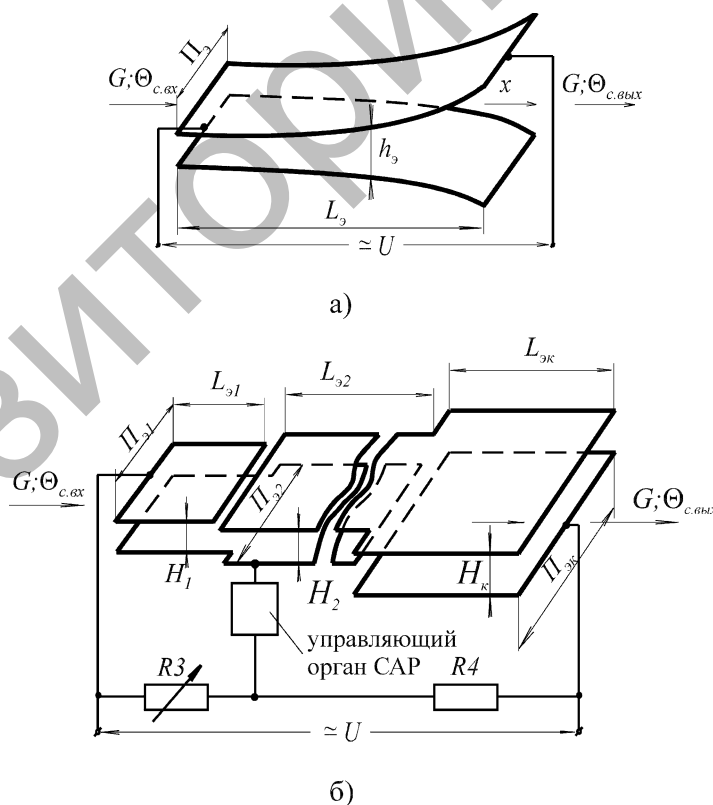
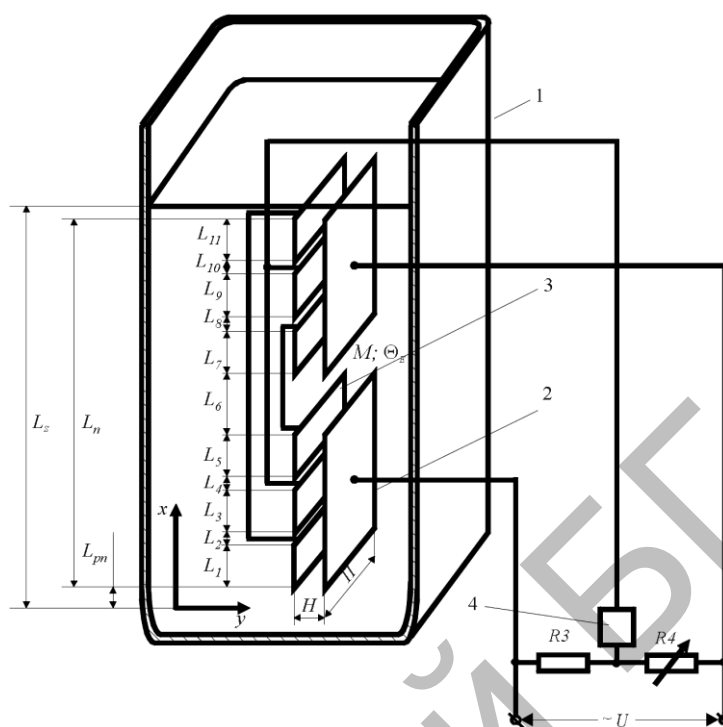


Рисунок 1 – Проточные электродные нагреватели: выполненные с секционированной системой электродов (а) и зонированной системой электродов (б)



1 - емкость; 2 - основные токоподводящие электроды; 3 - дополнительные электроды;
4 - управляющий орган САР; R3, R4 - термoneзависимые сопротивления измерительного моста

Рисунок 2 – Емкостной электродный нагреватель с зонированной плоскопараллельной электродной системой

Зависимость допустимых значений плотности тока от величины удельного сопротивления обрабатываемой среды определяет максимально допустимую плотность тока. При превышении допустимой плотности тока возможны нежелательные электрохимические процессы. На скорость протекания электрохимических реакций влияет также: температура обрабатываемой среды, род тока, количество протекающего электричества и водородный показатель [4]. Применение постоянного электрического тока определяет расход электрической энергии преимущественно на электротермогидролиз. Переменный электрический ток устраняет концентрационную поляризацию, и в средах с нормальным pH , доля электрохимических реакций незначительна. Результаты исследований [4] показывают, что обработка переменным и постоянным током не приводит к каким либо существенным изменениям в исследованных санитарных показателях. В пробах отсутствуют: формальдегид, изопропанол, бутанол-1, найдены следы ацетальдегида. Другие санитарные показатели представлены в таблице 2.

Однако электрообработка в средах с выраженным pH приводит к значительному изменению всех изученных показателей по сравнению с контролем. Например в экспериментах с измельченной и увлажненной соломой с 4–5% Na_2CO_3 и 1,5–2% $NaCl$ растет выделение формальдегида и ацетальдегида, метанола и ацетона, наблюдается появление легких хлорированных алифматических углеводов.

При электродном нагреве исследовалась проблема образования локальных зон перегрева обрабатываемой среды. На основании этих исследований установлено, что в некоторых случаях существует необходимость уменьшения контактного сопротивления на границе электрод-среда. Контактное сопротивление вызывает перегрев среды у электродов, что приводит к ухудшению качества обрабатываемой среды и росту отложений на электродах. На перегрев среды у электродов может влиять соотношение скорости потока обрабатываемой среды между электродами и плотности тока [5]. При

нагреве эпюра скоростей зависит от температуры. Чем выше температура нагреваемой среды, тем больше разность скоростей в середине потока и у электродов. Поэтому у электродов будет происходить перегрев среды. Образованию отложений можно препятствовать путем увеличения турбулентности обрабатываемой среды между электродами. Выделяемая мощность в единицу объема, при электродном нагреве, изменяется как по длине электронагревателя, в связи с увеличением температуры и проводимости, так и в межэлектродном пространстве. Температура в центре потока и возле электродов может значительно отличаться. Это один из факторов, который вызывает перегрев обрабатываемой среды у электродов и приводит к увеличению количества отложений на них. Установлено, что на количество отложений наиболее сильно влияют два фактора: скорость движения обрабатываемой среды и плотность тока на электродах. Зависимость отложений от плотности тока и скорости молока (при ширине электродов равной межэлектродному расстоянию) представлена на рисунке 3. Исследования температурного поля на воде показали, что при $Re < 2320$ (ламинарный режим) разница температур у электродов и в центре потока достигает $11,4^{\circ}C$. С повышением скорости движения жидкости, разница температур уменьшается. При $Re > 3280$ (турбулентный режим) разница температур у электродов и в центре потока снижалась до $3^{\circ}C$. В канале электродного нагревателя наблюдается турбулентное ядро и ламинарный слой у электродов. При повышении скорости движения жидкости, ламинарный слой у электродов уменьшается. Соответственно уменьшается разность температур у электродов и в центре потока.

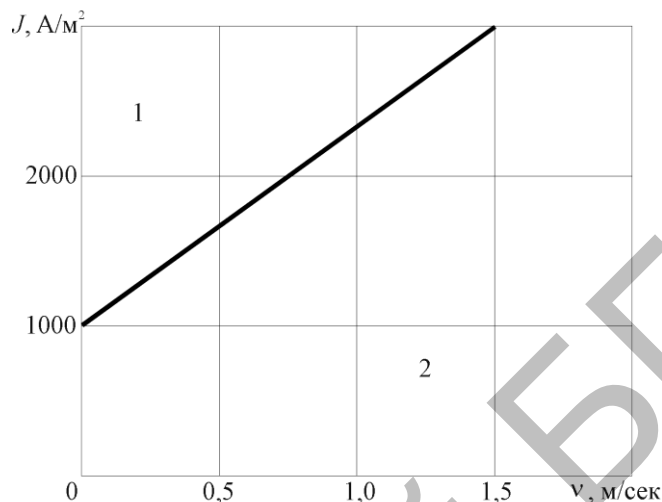
Таблица 2 – Результаты химического анализа зерна ячменя и сока картофеля [4]

Химические ингредиенты	Вид обработки			
	Без обработки	Переменный ток 50 Гц	Постоянный ток (без мембраны)	Электрохимическая коагуляция
	Ячмень сок картофеля	Ячмень —	Ячмень —	— сок картофеля
Нитраты (NO_3^-), мг/кг	н.о н.о	н.о —	6,2 —	— н.о
Хлориды (Cl^-), мг/кг	2456 934	1522 —	2903 —	— 1101
Метанол, мг/кг	2,7 0,02	н.о —	3,6 —	— 0,013
Этанол, мг/кг	3533 0,05	4711 —	2489 —	— 0,01
Ацетон, мг/кг	38,3 5,6	33,3 —	20,0 —	— 15,7
Фенолы, мг/кг	1,01 1,1	1,33 —	0,89 —	— 0,73

Применение электродного нагрева возможно для различных продуктов: молоко, соки, тертый картофель и т.д.. Достаточно успешно проведены опыты по выпечке бескоркового хлеба [6]. Несмотря на полученные положительные результаты, такое производство хлеба широкого распространения не получило. Это обусловлено тем, что у хлеба, который выпечен по этой технологии отсутствует корка. Соответственно нет и привычного вкуса. Во время проведения этих экспериментов об образовании акриламида при выпечке не было известно, поэтому полученный положительный опыт не получил распространения.

В заключение необходимо отметить, что разработка электродных нагревателей с требуемым распределением плотности тока является достаточно непростой задачей. Нелинейные зависимости удельного сопротивления обрабатываемой среды и плотности тока в межэлектродном пространстве от температуры нагрева вызывают необходимость

применения секционирования и зонирования электродной системы. А разработка секционированных и многозонных электродных нагревателей возможна только с использованием численных методов. Однако в результате возможна разработка конструкции электродного нагревателя, обеспечивающего необходимый режим нагрева, при ограничении до допустимых пределов, нежелательных электрохимических процессов на электродах. Это позволяет провести качественный нагрев без образования акриламида.



1 – электроды покрываются белком;
2 – отложения белка на электродах не происходит

Рисунок 3 – Зависимость отложений на электродах от плотности тока и скорости молока [5]

Литература

1. Выпуск новостей Всемирной организации здравоохранения 6 июля 2009 г. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2009/food_standards_20090706/ru/index.html. – Дата доступа : 05.01.2013
2. U.S. Food and Drug Administration Protecting and Promoting Your Health. – Режим доступа <http://www.fda.gov/Food/FoodSafety/FoodContaminantsAdulteration/ChemicalContaminants/Acrylamide/ucm053549.htm#u0203>. – Дата доступа : 05.01.2013
3. Прищепов, М.А. Моделирование характеристик емкостного электродного нагревателя-датчика для нагрева термолабильных сред / М.А. Прищепов, И.Г. Рутковский // Агропанорама. №6. 2004. – С. 15–22.
4. Заяц, Е.М. Основы электротехнологических методов обработки влажных кормов / Е.М. Заяц. – Мн.: Ураджай, 1997. – 216 с.
5. Наний, Е.П. Исследование и разработка электродных нагревателей для животноводческих ферм колхозов и совхозов.: Дис. ... канд. техн. наук. 05.20.02 / Е.П. Наний – Харьков, 1961. – 325 с.
6. Островский, Я.Г. Исследование электроконтактной выпечки хлеба / Я.Г. Островский // Труды Московского технологического института пищевой промышленности, вып. 4, 1956. – 52 с.