

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА СТЕРИЛИЗАЦИИ В АВТОКЛАВЕ

Назойкина И.С., магистрант

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Постановка проблемы. Стерилизацией называют тепловую обработку консервов при температуре 100°C и выше с целью подавления жизнедеятельности микроорганизмов. Тепловая стерилизация пищевых продуктов – основной процесс консервного производства, почти полностью уничтожающий микроорганизмы, обеспечивая тем самым сохранность консервов в течение длительного времени [1].

Под формулой стерилизации понимают условную запись теплового режима работы автоклава, в котором происходит процесс стерилизации. Составление математической модели процесса стерилизации обладает рядом особенностей. Так, уравнение теплового баланса составляют на основании закона сохранения энергии, в соответствии с которым, количество теплоты, введенное в систему, равно количеству выделившейся теплоты.

Тепловой поток от воды к стерилизуемым банкам можно определить, используя следующие соотношения (1):

$$Q_6 = \alpha f(Q_B - Q_6) . \quad (1)$$

Автоклав описывается математической моделью, для которой входными переменными являются – расход $G_6(t)$ и температура $T_6(t)$ греющей воды, температура окружающей среды $T_{окр}(t)$ и масса загружаемых консервов в автоклав $M_k(t)$, а выходными – температура воды $T_6^a(t)$ и консервов $T_k^a(t)$ внутри автоклава:

$$V_a c_6 \frac{dT_6^a}{dt} = G_6 c_6 (T_6 - T_6^a) + \alpha_1 F_k (T_k^a - T_6^a) + k_m F_a (T_{окр} - T_6^a), \quad (2)$$

$$(m_6 c_6 + m_k c_k) \frac{dT_k^a}{dt} = q_{2оп} r_k - \alpha_2 F_k (T_6^a - T_k^a), \quad (3)$$

где c_6, c_k – теплоемкость воды и консервов, кДж/(м³ 0С);

$\alpha_{1,2}$ – коэффициенты теплоотдачи, Вт/(м² 0С);

F_a – поверхность теплообмена автоклава с окружающей средой, м²;

F_k – поверхность теплообмена консервов с водой, м²;

M_k – масса консервов, кг;

ρ_k – плотность консервов, кг/м³;

$q_{пар}$ – массовый расход пара при полностью открытом регулирующем органе;

r_k – удельная теплота парообразования; V_a – объем автоклава, м³.

Реализуем в пакете Simulink уравнение (2) (рис. 1).

Проведено моделирование работы автоклава с параметрами: максимальная температура горячей воды, поступающей в автоклав 60 °С, а минимальная температура охлажденной воды 17 °С. Средняя температура горячей воды 55 °С, а охлажденной - 19 °С.

Получим графики переходных процессов, описывающих зависимости заданных, регулируемых и выходных величин от времени. Нагрев консервов (рис. 2) происходит по принципу - плавно без скачков.

Рост температуры в банке по времени значительно отстает от повышения температуры среды в стерилизаторе консервов, а при неправильно подобранных режимах может даже не достигнуть заданного значения. Величина этого отставания зависит от скорости прогрева продукта. Быстрее прогревается его жидкая часть, в которой теплопередача происходит

путем конвекции, тогда как в твердой части, где теплопередача определяется в основном теплопроводностью, отставание более значительно.

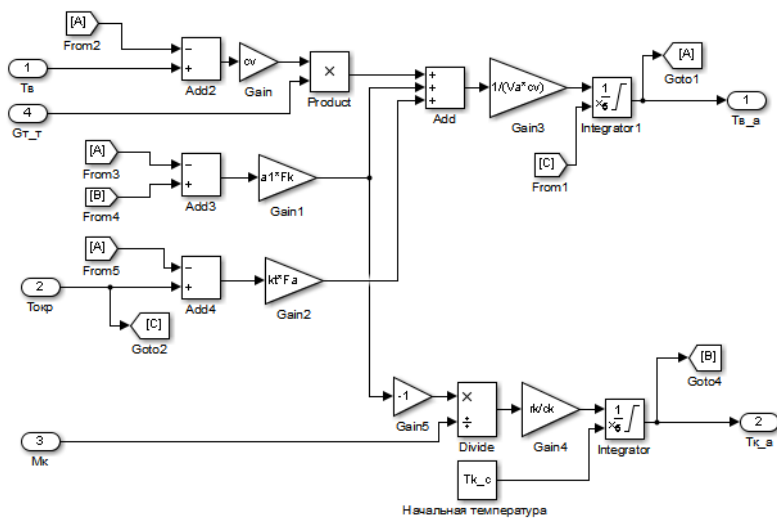


Рисунок 1 – Схема моделирования автоклава в Simulink

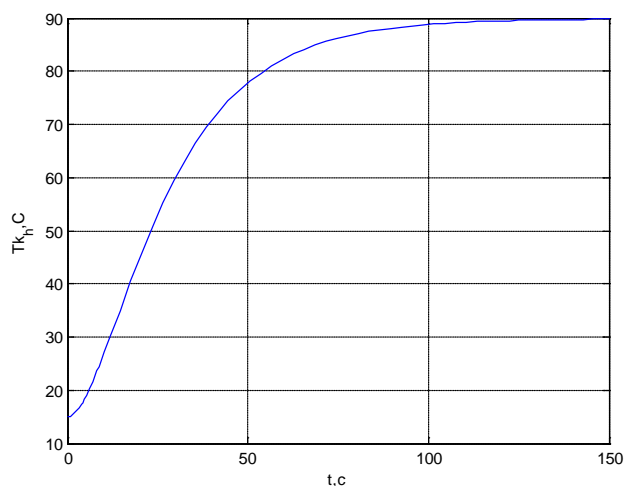


Рисунок 2 – График зависимости нагрева консервов от времени

В процессе стерилизации температура консервов постоянно изменяется, причем неравномерно по объему банки: в периферийной части нагрев происходит быстрее, в холодной точке (в центре банки) медленнее. График прогрева холодной критической точки тесно связан с графиком изменения температуры окружающей среды в стерилизаторе, поскольку температура в холодной точке является функцией температуры греющей среды.

Момент начала охлаждения продукта так же запаздывает относительно начала охлаждения аппарата. Давление в банке к моменту выгрузки из автоклава не должно превышать предельно допустимого, иначе возможна необратимая деформация жестяной банки или срыв крышки со стеклянной тары.

Давление в банке во время стерилизации складывается из парциальных давлений водяных паров, воздуха и газов, выделяющихся из продукта и заполняющих свободное пространство, а также давления, вызванного расширением продукта. Во всех случаях степень расширения продукта, паров и газов превышает степень расширения банки, поэтому во время стерилизации давление в банке становится выше давления в автоклаве. Разница в степени расширения и, соответственно, внутреннее давление тем больше, чем выше температура стерилизации. В результате может возникнуть деформация банок, а в худшем случае их повреждение (взрывание). Допустимая разница между давлением внутри банки и в автоклаве не должна превышать критической величины.

График на (рис. 3) показывает плавное охлаждение консервов на последнем этапе стерилизации.

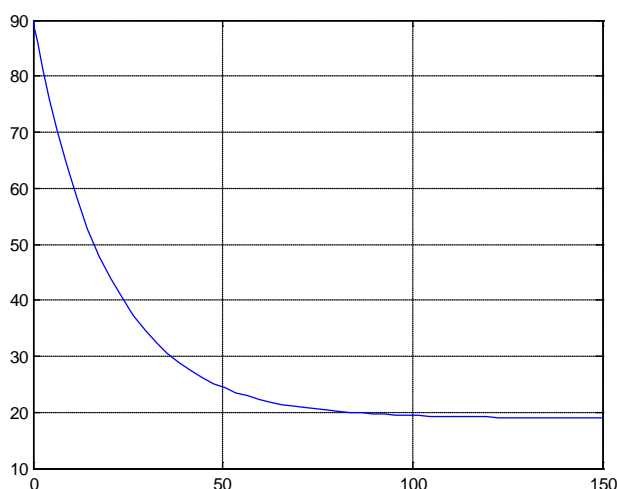


Рисунок 3 – График зависимости температура консервов на этапе охлаждения от времени

Кривые переходного процесса подтверждают правильность построения модели. Консервы не могут нагреться больше температуры воды в автоклаве. Время нагрева консервов в автоклаве с начальной температуры равна температуре окружающей среды до температуры, при которой происходит процесс стерилизации, составляет 1 минуту.

Плавность переходного процесса гарантирует качество готовой продукции и ее сохранность, в течение установленного ГОСТом срока. А также гибель вредоносных микроорганизмов.

Выводы.

1. Построена модель автоклава, позволяющая исследовать различные законы управления при построении современной системы автоматического управления автоклава периодического действия.

2. Составлена система дифференциальных уравнений, которая имеет неизвестные параметры – коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи.

3. Проведена реализация уравнений в пакете Simulink, получены графики переходных процессов нагрева и охлаждения консервов.

4. Анализ результатов моделирования подтверждает соответствие качественного поведения модели основным характеристикам исследуемого технологического процесса.

Перечень ссылок

1. Власов, А. В. Повышение эффективности стерилизации консервов паром в автоклавах / А. В. Власов : Автореф. дис. канд. техн. наук. – Мурманск: МГТУ, 2010 – 20 с.

2. Лазарев, Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB / Ю Лазарев. – Санкт-Петербург : Питер, 2005. – 230 с.

3. Чернышев, Н. Н. Математическое описание процесса теплообмена в противоточных теплообменных аппаратах / Н. Н. Чернышев, В. В. Турупалов, А. А. Прядко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер. обчислювальна техніка та автоматизація. - Випуск 21 (183). – Донецьк: ДонНТУ. – 2011, С. 55-60.

4. Зайцев, В. А. Система автоматического управления противоточным теплообменным аппаратом / В. А. Зайцев, Н. Н. Чернышев // XV Международная молодежная научная конференция «Севергеоэкотех-2014»: материалы конференции (26-28 марта 2014 г.). В 5 ч. Ч. 1. – Ухта: УГТУ, 2014. – С. 36-39.

5. Платонов, П. Н. Автоматика и автоматизация консервного производства / П. Н. Платонов, А. И. Павлов, А. М. Сычук. – Киев : Вицшашкола, 1981. - 264 с.