

УДК 681.5

Студ. Е.А. Белецкий, Н.Н. Бирюкова

Науч. рук. доц. Д.А. Гринюк

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ);

ст. преп. И.Г. Сухорукова

(кафедра информационных систем и технологий, БГТУ)

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПАСТЕРИЗАЦИИ**

Пастеризация молока - важная отрасль пищевой промышленности. Молочные продукты необходимы человеку. В них содержатся белки, жиры, углеводы, аминокислоты, а также огромное количество витаминов и микроэлементов. Эти факторы порождают спрос на продукцию молочной промышленности. Для длительного хранения молока и молокопродуктов сырье поддается тепловой обработке, носящей название «пастеризация». Цель этой обработки - уничтожение вредных видов микроорганизмов и, как следствие, повышение срока хранения молока и устранение риска передачи инфекционных заболеваний

Существует два вида тепловой обработки молока: пастеризация и стерилизация. Пастеризация молока - это тепловая обработка молока с целью уничтожения вегетативных форм микрофлоры, в том числе патогенных. Режим пастеризации должен обеспечить также получение заданных свойств готового продукта. Эффект пастеризации зависит от температуры  $t$  и продолжительности тепловой обработки  $z$ , взаимосвязь которых установлена в виде следующего уравнения:

$$\ln z = 36,84 - 0,48 t$$

где 36,84 и 0,48 - постоянные величины.

В зависимости от этих факторов различают три режима пастеризации: длительная пастеризация - при температуре 60...63°C с выдержкой 30 мин; кратковременная - при 74...78 °C с выдержкой 20 с; моментальная - при температуре 85...87 °C или 95...98 °C без выдержки.

Процесс пастеризации молока проходит в трехсекционном пластинчатом теплообменнике. Эти теплообменники относятся к классу рекуперативных теплообменников и представляют собой аппараты, теплообменная поверхность которых образована набором тонких штампованных металлических пластин с гофрированной поверхностью.

Молоко нагревается в секции регенерации №1 теплообменного аппарата до температуры 45...85°C (в зависимости от режима). Полученный продукт подается на гомогенизатор, после которого пройдя через секцию регенерации №2 подается в секцию пастеризации, где нагревается до температуры 95°C, выдерживается при данной температуре, затем охлаждается до 18°C, либо подогревается до 32°C.

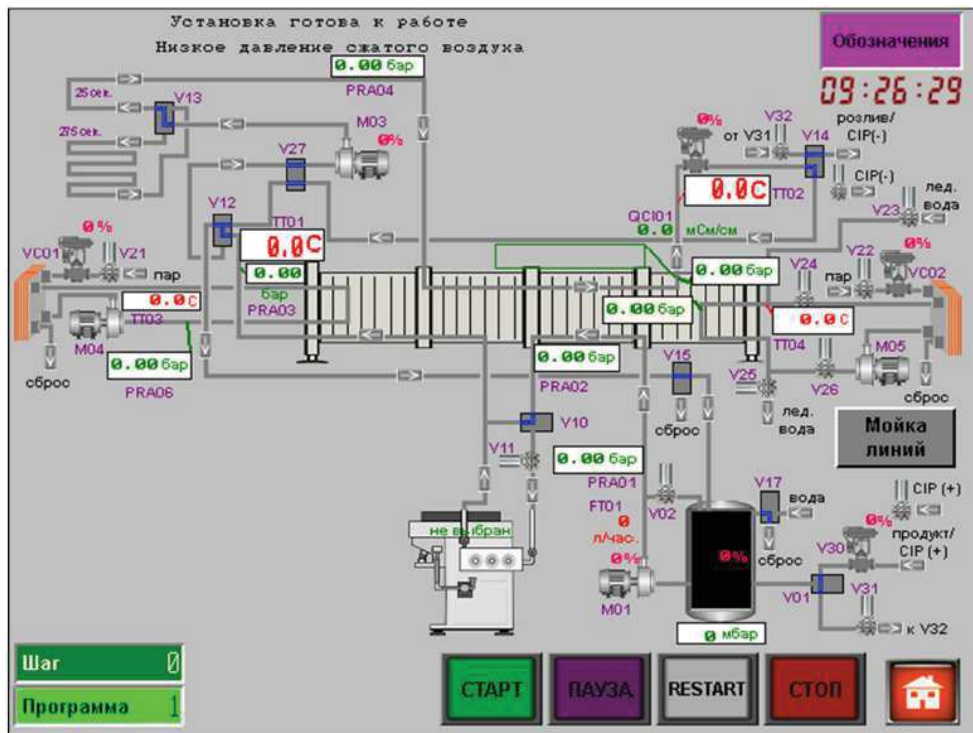


Рисунок 1 - Мнемосхема процесса пастеризации

Пластинчатый парожидкостный теплообменник предназначен для питания горячей водой зону пастеризации в условиях получения молочных продуктов, относится к теплообменникам, в которых один из теплоносителей меняет свое агрегатное состояние.

В теплообменниках, предназначенных для нагревания жидкости до заданной температуры за счет теплоты конденсации греющего пара, основной задачей регулирования является стабилизация температуры жидкости на выходе из теплообменника (Рисунок 2).

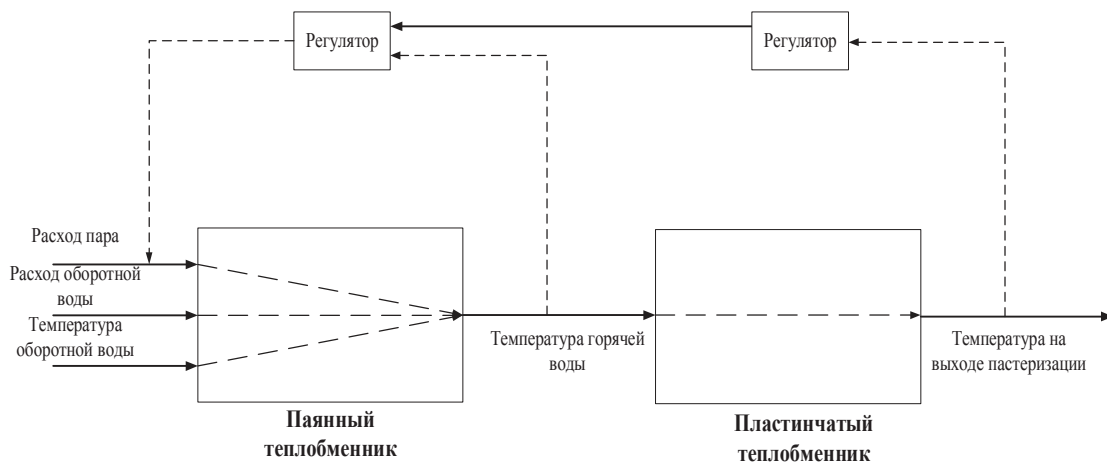


Рисунок 2 – Структурная схема

Определим факторы, влияющие на температуру жидкости. Для этого составим уравнение теплового баланса:

$$F_{жс} \cdot C_{жс} \cdot (t_{вых} - t_{ex}) = F_n \cdot r_n \cdot P_n - g_{ном}$$

где  $F_{жс}$  – расход жидкости на входе в теплообменник;  $C_{жс}$  – удельная теплоемкость жидкости;  $t_{вых}$  и  $t_{ex}$  – температуры жидкости на входе и выходе в теплообменник;  $F_n$  – расход греющего пара;  $r_n$  – удельная теплота конденсации;  $P_n$  – давление греющего пара;  $g_{ном}$  – тепловые потери, зависящие от температуры окружающей среды. По условиям работы теплообменника из всех переменных, входящих в уравнение основными возмущающими воздействиями является: расход жидкости  $F_{жс}$ ; температура жидкости на входе в теплообменник  $t_{ex}$ ; давление греющего пара  $P_n$ ; тепловые потери коэффициент теплопередачи  $K_T$  изменяющейся со временем из-за образования осадков в пластинах теплообменника.

Возмущающие воздействия  $F_{жс}$ ,  $t_{ex}$  и  $P_n$  можно отнести к контролируемым, а из регулирующих воздействий можно выбрать расходы греющего пара  $F_n$  и конденсата  $F_k$ .

К регулируемым параметрам (выходным координатам) можно отнести температуру жидкости на выходе теплообменника.

Из уравнения выразим температуру жидкости на выходе теплообменника

$$t_{вых} = \frac{F_n \cdot r_n \cdot P_n}{F_{жс} \cdot C_{жс}} - \frac{g_{ном}}{F_{жс} \cdot C_{жс}} + t_{ex}$$

Из выражения следует, что температура жидкости на выходе теплообменника  $t_{вых}$  связана линейной зависимостью с  $t_{ex}$ , расходом греющего пара  $F_n$ , удельной теплотой конденсации  $r_n$  и тепловыми потерями  $g_{ном}$  и обратно пропорциональна расходу жидкости  $F_{жс}$ .

Уравнение динамики теплообменника:

$$T_2^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + T_1 \frac{dy}{dt} + y = k \cdot x - k \left( T_3 \frac{dx_1}{dt} + x_1 \right) + (1 - k) \left( T_3 \frac{dz}{dt} + z \right)$$

где

$$T_2^2 = \frac{W_{cm} \cdot C_{cm} \cdot W_e}{\alpha \cdot A \cdot F^0}; \quad T_1 = \frac{W_{cm} \cdot C_{cm}}{\alpha \cdot A} + \frac{W_{cm} \cdot C_{cm}}{F^0 \cdot c_e} + \frac{W_e}{F^0};$$

$$T_3 = \frac{W_{cm} \cdot C_{cm}}{\alpha \cdot A}; \quad k = \frac{T_{вых}^0 - T_{ex}^0}{T_{вых}^0}$$

Рассматриваемый теплообменник является устойчивым объектом 2-го порядка. Уравнение подтверждает, что увеличение расхода пара  $x$  и температуры жидкости на входе  $z$  приведет к повышению ее темпе-

ратуры на выходе  $y$ , а возрастание расхода жидкости  $x_1$  – к понижению величины  $y$ . Передаточная функция теплообменника по каналу «расход пара – температура оборотной воды на выходе из теплообменника» имеет следующий вид:

$$W_x(p) = \frac{0.8}{46 \cdot p^2 + 20.6 \cdot p + 1}$$

По каналу «температура оборотной воды на входе в теплообменник – температура оборотной воды на выходе из теплообменника»

$$W_z(p) = \frac{0.92 \cdot p + 0.2}{46 \cdot p^2 + 20.6 \cdot p + 1}$$

По каналу «расход оборотной – температура оборотной воды на выходе из теплообменника»

$$W_z(p) = \frac{0.94}{131.6 \cdot p^2 + 101.7 \cdot p + 1}$$

Полученные передаточные функции могут быть положены в основу синтеза схемы управления. К тому же на объект влияют параметрические возмущения (т.е. такие возмущения, которые вызывают изменение параметров объекта управления). Это происходит в основном под действием течения времени (как следствие - появление солей, коррозия внутренних частей оборудования НОУ, и т.д.). Для минимизации влияния параметрических возмущений на процесс пастеризации молока современные средства автоматизации используют искусственные нейронные сети, системы гарантирующего управления, усложненные алгоритмы регулирования и др. Если получится реализовать такие САР, то может произойти качественный скачок в производстве пастеризованного молока. Ведь, например, та же кислотность - это показатель свежести молока и один из основных показателей его качества.

Для синтеза САР процесса пастеризации молока важное значение играет корректная идентификация объекта управления. Также крайне важна идентификация неконтролируемых возмущений, которые действуют на объект. Часто эти возмущения имеют сильную случайную составляющую. При правильной идентификации возможен синтез САР, которые компенсируют возмущения за счет введения корректирующих связей или других методов. Однако при перенасыщении разработки громоздким математическим аппаратом часто возникает проблема технической реализации, описанных математических функций. Далеко не все контроллеры и промышленные компьютеры позволяют реализовывать сложные математические функции, необходимые для нейтрализации воздействия неконтролируемых возмущений.