

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ ПАСТЕРИЗАЦИИ МОЛОКА В ЛИНИИ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ МОЛОКА**

В процессе первичной обработки молока производят его очистку, пастеризацию и охлаждение. При пастеризации молока необходимо обеспечить заданную температуру пастеризации, что требует эффективной системы автоматического регулирования (САР). В случае использования контроллера в качестве регулятора требуется настроить программный регулятор на оптимальный режим работы. Это в свою очередь требует моделирования работы САР для определения параметров настройки программного регулятора.

В состав САР температуры пастеризации молока входит (рисунок 1) объект управления ОУ – пастеризационная установка с теплообменником, датчик температуры пастеризации  $D$ , с которого сигнал измеренной температуры  $\Theta_{и}$  поступает в контроллер, который является одновременно и сравнивающим устройством и регулятором  $P$ , рассчитав сигнал ошибки  $e$  между измеренным и заданным значением температуры  $\Theta_{з}$  контроллер обеспечивает формирование сигнала напряжения  $U_1$ , прикладываемого к клапану непрерывного действия  $K$ . Клапан обеспечивает изменение подачи пара  $Q_n$ , тем самым изменяя температуру горячей воды для пастеризации (управляющее воздействие). Управляемым параметром является температура пастеризации молока  $\Theta_{л}$ . Возмущающим воздействием является наружная температура  $\Theta_{н}$ . Кроме того, в процессе работы установки на пластинах пастеризатора может осажаться белок и это также искажает свойства объекта управления.

Как показывают исследования [1, с. 149], пастеризатор как объект управления по каналу «расход пара – температура молока» описывается передаточной функцией:

$$W(S) = \frac{k_o}{T_o S + 1} e^{-\tau_o S}, \quad (1)$$

где  $k_o$  – коэффициент передачи (равен 3620);

$T_o$  – постоянная времени (равна 369 с);

$S$  – оператор Лапласа;

$\tau_o$  – время запаздывания, с (равно 30 с).

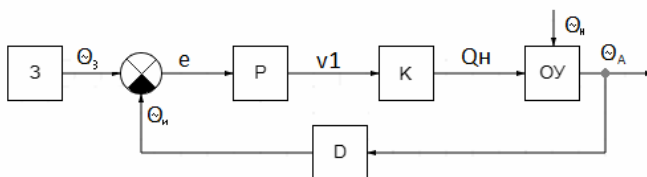


Рисунок 1 – Функциональная схема САР: З – задатчик, Р – регулятор (контроллер), К – клапан, ОУ – объект управления, D – датчик

Чтобы описать математически другие звенья системы автоматического регулирования, воспользуемся методикой [2, с. 50]. Тогда структурная алгоритмическая схема системы автоматического регулирования может быть представлена схемой рисунка 2.

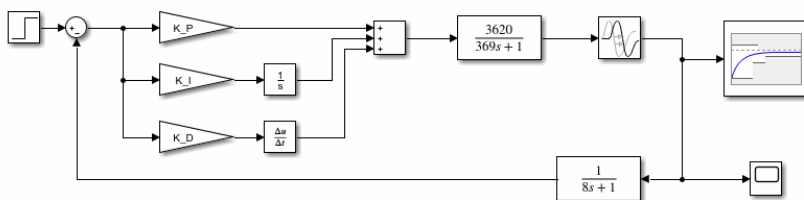


Рисунок 2 – Структурная алгоритмическая схема системы автоматического регулирования температуры пастеризации молока

Моделирование проведем в прикладном пакете MATLAB. Необходимо заметить, что закон регулирования на схеме рисунка 3 представлен тремя составляющими: пропорциональной, интегральной и дифференциальной, объект управления представлен двумя звеньями (апериодическим звеном и звеном транспортного запаздывания). Передаточная функция клапана учтена в составе передаточной функции объекта управления.

Для оптимизации системы регулирования воспользуемся блоком Signal Constraint. Воспользуемся методом градиентного спуска. В качестве критерия оптимизации выбраны показатели качества, определяемые по графику переходного процесса: отсутствие статической ошибки, перерегулирование – не более 20 %, время регулирования не более 150 с. В результате подбора параметров закли-

вание произошло в точке со следующими значениями коэффициентов:  $K_P = 0,0025$ ;  $K_I = 6 \cdot 10^{-6}$ ;  $K_D = 0,046$ . График переходного процесса оптимизированной системы автоматического регулирования приведен на рисунке 3 и характеризуется следующими показателями: статическая ошибка отсутствует, перерегулирование – 10%, время регулирования 130 с.

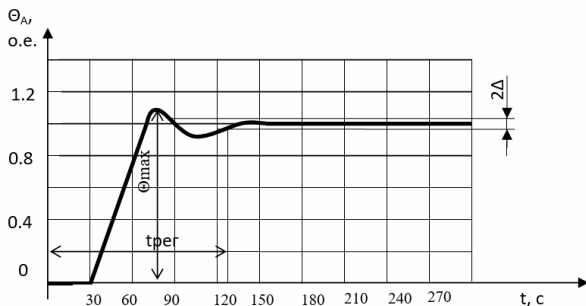


Рисунок 6 – Переходной процесс оптимизированной САР

Таким образом, при установке в программном регуляторе найденных коэффициентов настройки будет обеспечено приемлимое качество регулирования.

#### Список использованной литературы

1. Якубовская, Е.С. Автоматизация технологических процессов и оборудования в АПК. Лабораторный практикум : учебное пособие / Е.С. Якубовская. – Минск : БГАТУ, 2024. – 308 с.
2. Автоматика : учебно-методическое пособие / сост. Е. Е. Мякинник. – Минск : БГАТУ, 2023. – 360 с.

**УДК 631.171**

**Якубовская Е.С., Дмитриева К.С.**

*Белорусский государственный аграрный технический университет,  
г. Минск*

### **ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА СУШКИ ЗЕРНОВЫХ В ШАХТНОЙ ЗЕРНОСУШИЛКЕ**

Сушка зерновых является эффективным способом для обеспечения его хранения, но в то же время является энергоемким про-