

Разработка системы управления температурой нефтепродукта в процессе перекачки на дальние расстояния

Е.Е. Вертьянов, М.П. Гридневский

Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

Обоснование. В холодное время года при транспортировке нефтепродукта по трубопроводу на дальние расстояния следует контролировать его температуру и не допускать увеличения вязкости вследствие чрезмерного охлаждения. Для этой цели часто используются путевые подогреватели (ПП), расположенные на трассе трубопровода.

Цель — разработка системы управления температурой нефти, инвариантной к возмущающему воздействию в виде изменения температуры окружающей среды.

Методы. Недостатком подхода к поддержанию температуры нефтепродукта с помощью ПП в заданных технологических ограничениях является поддержание температуры в рабочем поле подогревателя на расчетном значении с учетом среднесуточной температуры окружающей среды для данного времени года. Такой подход не учитывает резких скачков температуры окружающей среды, в результате чего температура нефтепродукта может опуститься до критических значений. В работе для компенсации возмущающего воздействия предлагается реализовать компенсационный элемент, синтезированный на основе теории периодических структур [1–2].

Результаты. В ПП приходит остывшая на предыдущем участке до температуры $T_{нач}$ нефть (рис. 1). За время прохождения через подогреватель (с $t_{нач}$ до $t_{вых}$) нефтепродукт нагревается до температуры $T_{вых}$. Затем нефть транспортируется до следующего ПП на открытом воздухе и остывает до температуры $T_{кон}$. Изменение температуры окружающей среды T_{cp} является возмущающим воздействием для данной системы.

Математическая модель процесса нагрева нефтепродукта внутри ПП, описывающая изменение его температурного поля, может быть представлена в виде:

$$b \frac{\partial \theta(x,t)}{\partial t} + bV \frac{\partial \theta(x,t)}{\partial x} + \theta(x,t) = \theta_{II}(x,t) \quad (1)$$

$$0 < x < l, t > 0,$$

где b — коэффициент, определяемый теплофизическими и геометрическими параметрами нефтепродукта; l — длина участка нагреваемого трубопровода, V — скорость движения нефти, $\theta_{II}(x, t)$ — температурное поле внутри ПП [3].

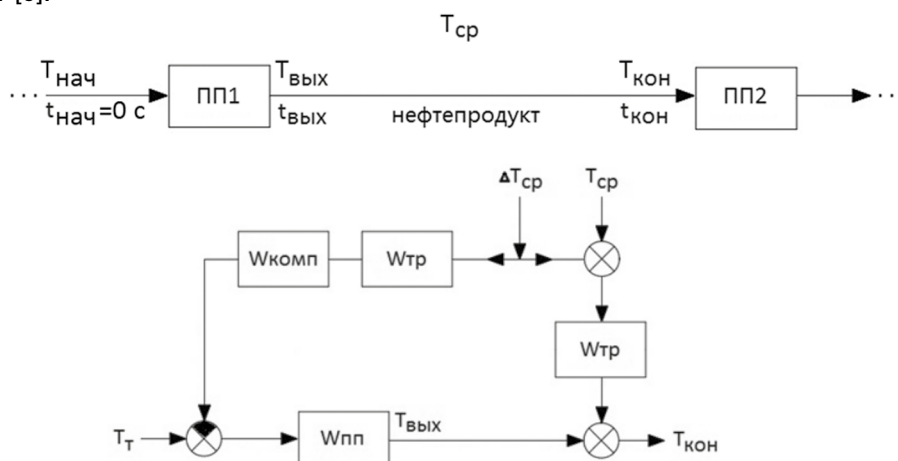


Рис. 1. Технологическая схема нагрева нефтепродукта в путевых подогревателях и структурная схема САУ:

$W_{пп}$ — передаточная функция процесса нагрева нефти внутри ПП1; $W_{тр}$ — передаточная функция процесса остывания нефти между ПП1 и ПП2; $W_{комп}$ — передаточная функция компенсационного элемента; $T_{т}$ — температура в топке; $\Delta T_{ср}$ — помеха в виде постоянно меняющейся температуры окружающей среды

При конвективном характере теплообмена модель (1) необходимо дополнить начальными и граничными (2)–(3).

$$\theta_n(x, 0) = \theta_0(x), \quad 0 \leq x \leq l, \tag{2}$$

$$\theta(0, t) = \theta^0(t), \quad t > 0. \tag{3}$$

Структурное представление объекта управления с распределенными параметрами (1)–(3) представлено на рис. 2 [3]. Данная структура описывает как процесс непрерывного нагрева нефтепродукта в ПП, так и процесс его остывания во время перекачки между соседними ПП. В первом случае в качестве входных воздействий можно рассматривать равномерную температуру в топке, во втором — температуру окружающей среды. На рис. 2 показаны полученные в результате моделирования в среде Matlab переходные характеристики нагрева и охлаждения нефтепродукта.

Для построения компенсирующего устройства в работе применялся метод периодических структур [1, 2].

В рамках работы был осуществлен выбор количества ячеек периодических структур и коэффициента усиления С. На рис. 3 показаны переходные характеристики, полученные в результате моделирования работы периодических структур с разным количеством ячеек при С = 0,7. По рис. 3 можно сделать вывод, что компенсационный элемент с двумя ячейками периодической структуры обладает хорошей точностью и минимальным перерегулированием.

Выводы. В рамках работы предложена структура системы управления по возмущению, осуществлено моделирование ее отдельных частей: $W_{пп}$, $W_{тр}$, выбрана и промоделирована структура компенсатора $W_{комп}$. На следующем этапе работы планируется осуществить полное моделирование САУ.

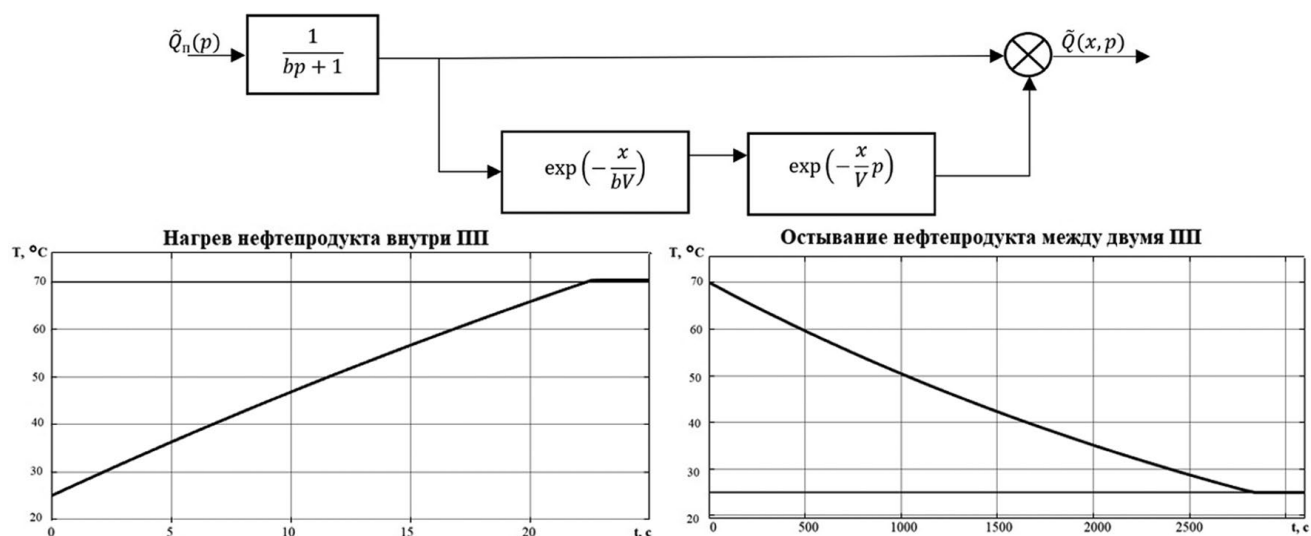


Рис. 2. Математическая модель объекта управления и результаты моделирования

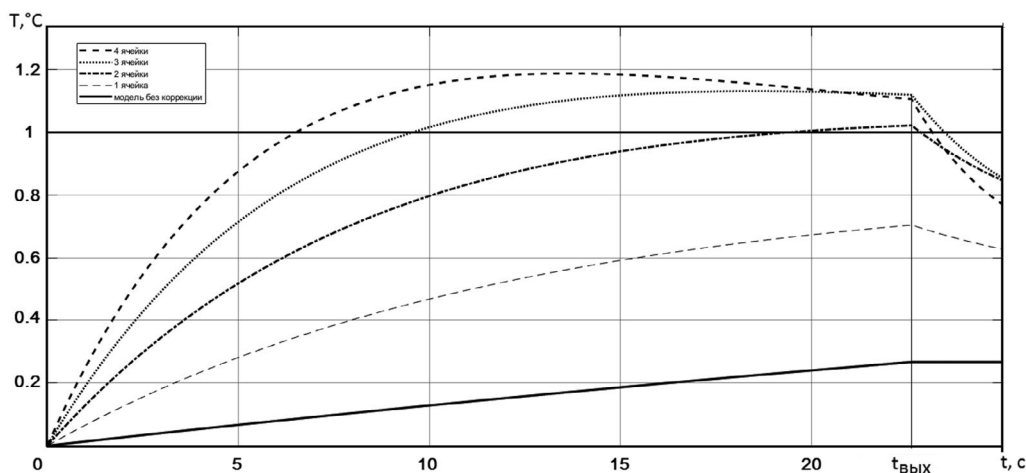


Рис. 3. Результат моделирования компенсационного элемента

Ключевые слова: система управления по возмущению; система компенсации; периодическая структура.

Список литературы

1. Бочкарева И.С., Тычинина Ю.А., Тычинин А.В. Синтез системы управления по возмущению объектом с распределенными параметрами // Вестник СамГТУ. Серия Технические науки. 2023. Т. 31, № 1. С. 6–20.
2. Тычинин А.В., Тычинина Ю.А., Рагазин Д.А. Структурно-параметрический синтез системы управления ненаблюдаемым выходом объекта с распределенными параметрами // Вестник СамГТУ. Серия Технические науки. 2021. Т. 26, № 1. С. 58–72.
3. Рапопорт Э.Я. Структурное моделирование объектов и систем управления с распределенными параметрами. Москва: Высшая школа, 2003. 299 с.

Сведения об авторах:

Евгений Евгеньевич Вертьянов — студент, группа 2-22ИАИТ-101М, Институт автоматки и информационных технологий, Самарский государственный технический университет, Самара, Россия. E-mail: Ev9enEvgen1ch@yandex.ru

Максим Петрович Гридневский — студент, группа 2-22ИАИТ-101М, Институт автоматки и информационных технологий; Самарский государственный технический университет, Самара, Россия. E-mail: mausmax@yandex.ru

Сведения о научном руководителе:

Юлия Александровна Тычинина — кандидат технических наук, доцент; Самарский государственный технический университет, Самара, Россия. E-mail: ytychinina@list.ru