

Предложен способ построения системы управления для линейного объекта с запаздыванием по состоянию, у которого все параметры известны, а на входе и регулируемом выходе действуют возмущения, причём эти возмущения различны. Спроектированная система управления позволяет скомпенсировать влияние возмущения на регулируемые переменные с заданной точностью и сделать их не зависимыми от возмущений на входе системы, что продемонстрировано на примере.

Библиографический список

1. Поляк, Б.Т. Робастная устойчивость и управление / Б.Т. Поляк, П.С. Щербаков. – М.: Наука, 2002 г. – 500 с.
2. Колмановский, В.Б. Устойчивость и периодические режимы регулируемых систем с последействием / В.Б. Колмановский, В.Р. Носов. – М.: Наука, 1981. – 448 с.
3. Цыкунов, А.М. Алгоритм робастного управления с компенсацией ограниченных возмущений / А.М. Цыкунов // Автоматика и телемеханика. – 2007. – № 7. – С. 103-115.
4. Буков, В.Н. Вложение систем. Аналитический подход к анализу и синтезу матричных систем. – Калуга: Изд-во науч. литературы Н.Ф. Бочкаревой, 2006 г. – 720 с.
5. Петров, Б.Н. Принцип инвариантности и условия его применимости при расчете линейных и нелинейных систем / Б.Н. Петров // Тр. 1-го Междунар. Конгресса ИФАК по автоматическому управлению. – 1961. – С. 259-263.

УДК 681.513.6

СИНТЕЗ ПИД-РЕГУЛЯТОРА С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ НАГРЕВОМ НЕФТЕПРОДУКТА ПРИ ЕГО СЛИВЕ И ХРАНЕНИИ

И.Г. Резков

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, Москва, fagothmail@gmail.com*

Аннотация. Рассматривается программный блок для автоматической настройки ПИД-регулятора, регулирующей температуру мазута в процессе разогрева и слива нефтепродуктов. Приведены условия, при которых синтез коэффициентов ПИД-регулятора обеспечивает их положительные значения. Приведены основные результаты внедрения рассмотренного блока.

Ключевые слова: ПИД-регулятор, промышленный контроллер, разогрев нефтепродуктов, конечно-частотная идентификация

PID CONTROLLER WITH POSITIVE COEFFICIENTS SYNTHESIS FOR CONTROL SYSTEM OF PETROLEUM PRODUCT HEATING IN ITS BLEEDING AND STORAGE

I.G. Rezkov

*V.A. Trapeznikov Institute of Control Science of Russian Academy of Sciences
Moscow, Russia, fagothmail@gmail.com*

Abstract. A programme unit for automatic PID controller tuning that controls the oil residue temperature for petroleum product heating and bleeding is considered. The conditions, under which the PID controller synthesis ensure the positive values of its coefficients, are given. The main result of this unit adoption are presented.

Keywords: PID controller, industrial controller, petroleum product heating, finite frequency identification

Введение. Работа посвящена некоторым вопросам оптимизации процесса разгрузки из ёмкостей для хранения и транспортирования высоковязких и высо-

козастывающих продуктов (нефтепродукты, патоки, жиры и т.д.). Для сокращения времени разгрузки ёмкости и обеспечения полноты слива необходимо повысить текучесть продукта.

Существуют различные способы повышения текучести продукта, среди которых наиболее широко применяются растворение вязкого или застывшего продукта жидким маловязким растворителем и добавление депрессанта, снижающего температуру застывания продукта, а также ряд других.

В России, например, наибольшее распространение для слива вязкой нефти и нефтепродуктов из цистерн получил подогрев насыщенным водяным паром, подаваемым непосредственно в нефтепродукт. Однако этот способ не только мало эффективен и вреден для окружающей среды, но и снижает коммерческое качество самих нефтепродуктов.

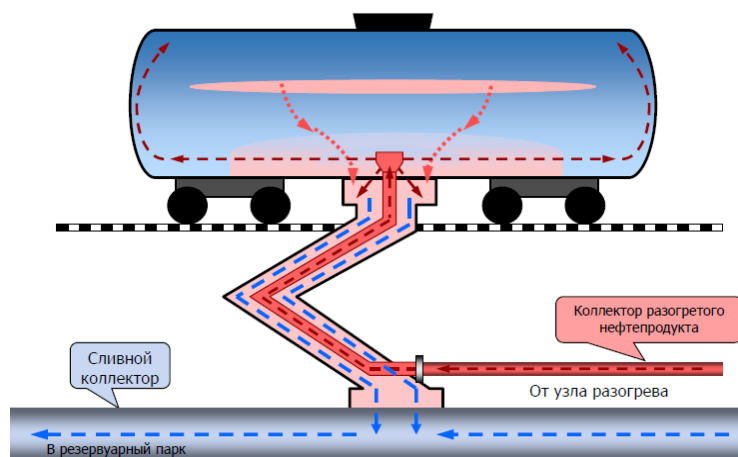


Рис. 1. Схема отбора мазута из цистерны

Известны технологии разогрева и слива продукта без смешения его с теплоносителем, основанные на разогреве продукта, отбираемого из ёмкости, во внешнем теплообменнике, где разогреваемый продукт не находится в непосредственном контакте с теплоносителем, и возврате разогретого продукта в ёмкость, где разогретый продукт должен передать тепло холодному, плохо текучему продукту в ёмкости.

Описание системы регулирования и настройщика

Для нагрева мазута используется способ, при котором продукт в смеси с предварительно нагретым в стартовой ёмкости аналогичным продуктом отбирают из донной части ёмкости, пропускают эту смесь через внешний теплообменник, где её нагревают до заданной температуры, и возвращают нагретый продукт в ту же ёмкость по двум трубопроводам на вход в канал отбора холодного продукта из донной части (рис. 1).

Для регулирования температуры мазута на выходе из теплообменника используется ПИД-регулятор, управляющий заслонкой теплообменника. Передаточная функция регулятора имеет вид

$$W_{PID}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{T_M s + 1} \right) = \frac{r(s)}{g(s)}, \quad (1)$$

где K_p , T_i , T_d , T_M – коэффициенты регулятора; s – комплексная переменная Лапласа; $r(s)$ и $g(s)$ – полиномы регулятора.

Проблема состоит в выборе коэффициентов ПИД-регулятора так, чтобы система регулирования обладала устойчивостью и приемлемым быстродействием.

Сложность задачи, в частности, состоит в том, что объект регулирования обладает нелинейностями, и стандартные алгоритмы и основанные на них программы [2] в данном случае не срабатывают.

Алгоритм синтеза регулятора. Для решения задачи разработан программный блок-настройщик ПИД-регулятора для контроллера *Siemens*, осуществляющий идентификацию объекта управления в замкнутом контуре регулирования и вычисляющий рекомендуемые коэффициенты ПИД-регулятора в стандартной форме (1) (программный блок *CONT_C*) для данного конкретного процесса.

Алгоритм настройки использует идентификационный подход в адаптивном управлении; при этом для определения модели объекта используется метод конечно-частотной идентификации [1], а для синтеза параметров ПИД-регулятора – метод внутренней модели [3]. При идентификации на замкнутую систему подаётся испытательный сигнал, состоящий из суммы двух синусоид.

Идентификация модели объекта проводится в рамках передаточной функции второго порядка, имеющей вид:

$$W_o(s) = \frac{K(T_k s + 1)}{T_1^2 s^2 + T_1 \xi s + 1} = \frac{k(s)}{d(s)},$$

где K , T_k , T_1 , ξ – известные коэффициенты; $k(s)$ и $d(s)$ – полиномы регулятора.

Синтез коэффициентов регулятора ведётся по методу внутренней модели, суть которого состоит в том, чтобы поведение замкнутой системы описывалось желаемой передаточной функцией:

$$W_\lambda(s) = \frac{T_k s + 1}{\lambda^2 s^2 + \lambda \xi_\lambda s + 1},$$

где коэффициенты λ , ξ_λ заданы.

В соответствии с методом внутренней модели, полиномы $r(s)$ и $g(s)$ регулятора находятся из соотношения:

$$\frac{k(s)r(s)}{k(s)r(s) + d(s)g(s)} = \frac{T_k s + 1}{\lambda^2 s^2 + \lambda \xi_\lambda s + 1}. \quad (2)$$

Здесь в левой части сформирована передаточная функция замкнутой системы, а в правой части – желаемая передаточная функция.

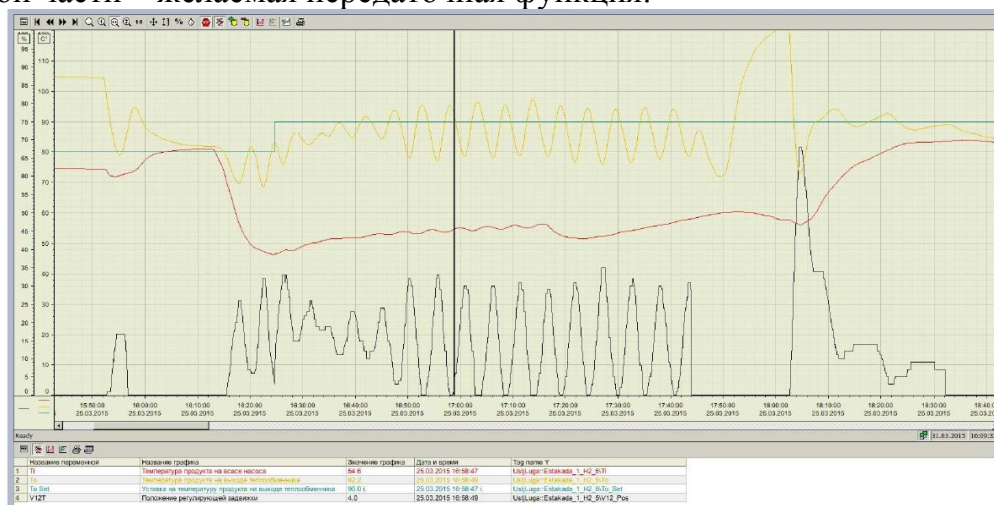


Рис. 2. Процессы регулирования температурой нефтепродукта до настройки системы

Расписав выражение (2) и приняв $r(s) = d(s)$, получим следующие расчётные соотношения для коэффициентов регулятора:

$$T_i = K(\xi_\lambda \lambda - T_k); T_M = \frac{K\lambda^2}{T_i};$$

$$K_p = \frac{T_1 \xi}{T_i + T_M}; T_d = \frac{T_1^2}{K_p T_i} - T_M.$$

Анализ данных выражений показывает, что при определённых соотношениях между коэффициентами модели объекта в них могут получиться отрицательные коэффициенты, что в ряде случаев является не приемлемым, например, для стандартного блока ПИД-регулирования фирмы *Siemens*.

Анализируя неравенство $T_i > 0$, получаем ограничение на желаемый коэффициент демпфирования ξ_λ : $\xi_\lambda > T_k / \lambda$.

Анализируя неравенство $T_d > 0$, получаем ограничение

$$c > \sqrt{\frac{KT_1 \xi (\xi_\lambda \lambda - T_k)}{T_1^2 (K(\xi_\lambda \lambda - T_k)^2 + \lambda^2)}},$$

где коэффициент c задаёт быстроедействие замкнутой системы: $\lambda = 2T_1/c$.

В случае, если при расчётах получилось $T_i > 0$ и $T_d < 0$, то увеличением коэффициента c можно получить $T_i > 0$ и $T_d = 0$, что означает получение ПИ-регулятора. При этом само по себе условие $T_d = 0$ можно рассматривать как самостоятельное ограничение, и тогда, не меняя коэффициент c , из выражения $T_d = 0$ получим расчётную формулу для коэффициента T_i в структуре ПИ-регулятора:

$$T_i = T_1^2 / (K_p T_M).$$

Результаты внедрения.

На рис. 2 показан типичный процесс регулирования до настройки системы, на рис. 3 – процессы регулирования после подключения рекомендованных коэффициентов регулятора. Таким образом, во многих случаях удалось улучшить процессы регулирования, избавиться от автоколебаний в системе, повысить точность регулирования.

Библиографический список

1. Александров, А.Г. Частотное адаптивное управление устойчивым объектом при неизвестном ограниченном возмущении / А.Г. Александров // Автоматика и телемеханика. – 2000. – № 4. – С. 106-116.
2. Pfeiffer, B.-M. Towards 'plug and control': self-tuning temperature controller for PLC / B.-M. Pfeiffer // International Journal of Adaptive Control and Signal Processing. – 2000. – Vol. 14. – №. – P. 519-532.
3. Visioli, A. Improving the load disturbance rejection performance of IMC-tuned PID Controllers / A. Visioli // 15th Triennial World Congress, Barcelona, Spain. – IFAC. – 2002. – P. 27-34.

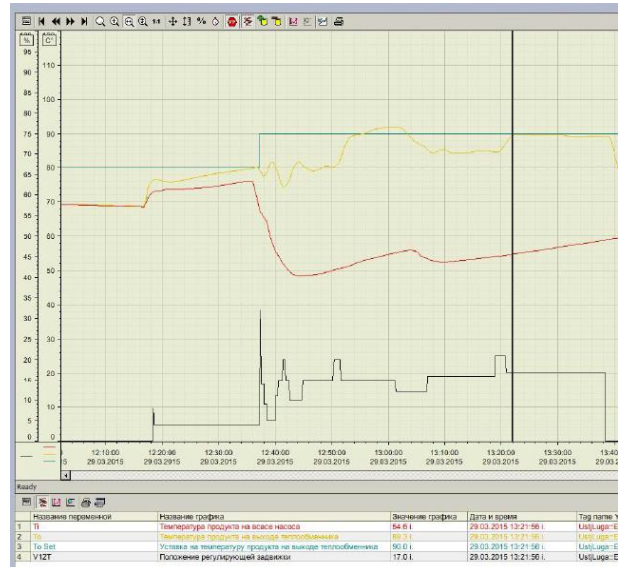


Рис. 3. Процессы регулирования в системе после настройки регулятора