

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛИНЕЙНОГО И НЕЛИНЕЙНОГО 2DOF РЕГУЛЯТОРОВ

Гринюк Д. А., Сухорукова И. Г., Олиферович Н. М., Оробей И. О.

Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, Белорусский государственный технологический университет
Минск, Республика Беларусь
E-mail: hryniukda@gmail.com

Исследованы различные варианты конструкции регуляторов с двумя степенями свободы (of the two-degree-of-freedom structure, 2DoF). Рассмотрены линейные и нелинейные варианты. В качестве основы настройки и последующего сравнения линейных и нелинейных вариантов 2DoF - регуляторов использованы два варианта интегральных критериев. Показано, что два варианта структур с двумя степенями свободы улучшают работу ПИД-регулятора, но не являются эквивалентными и не обеспечивают одновременной минимизации интегральных критериев возмущения и заданного значения. Среди использованных для комплексной настройки интегральных критериев модифицированный интегральный критерий приводит к более приемлемому для технологических объектов переходному процессу.

ВВЕДЕНИЕ

Качественная настройка промышленных регуляторов способствует повышению стабильности технологических параметров и уменьшает энергозатраты на единицу продукции. Это обусловлено уменьшением переходных процессов и критических отклонений. Практика обучения специалистов теории управления, а также большинство учебной литературы используют наблюдение за переходным процессом вследствие изменения сигнала задания для проверки качества регулирования. В то же время большинство систем стабилизации технологических параметров предназначены для подавления возмущений в процессе функционирования. Иногда возникают задачи, при которых система подвергается частым возмущениям как со стороны канала возмущения, так и ввиду частого изменения сигнала задания.

1. СТРУКТУРЫ 2DOF-РЕГУЛЯТОРОВ

Одним из вариантов решения проблемы является использование two-degree-of-freedom structure (2DoF) [1 – 3]. Существует классический вариант реализации структуры (рис. 1 [2], где SP – сигнал задания; Y_{OUT} – выход; K_P – коэффициент усиления; T_I – время интегрирования; T_D – время дифференцирования; W_A – передаточная функция исполнительного механизма; W_S – передаточная функция измерительного преобразователя; W_O – передаточная функция объекта; F – сигнал возмущения; s – оператор передаточной функции), но можно предложить и альтернативный вариант (рис. 2). Несмотря на введение дополнительных коэффициентов a и b , задачу поиска настроек регулятора можно легко разделить на два этапа: настройка основных коэффициентов K_P , T_I и T_D , а затем поиск дополнительных коэффициентов a и b .

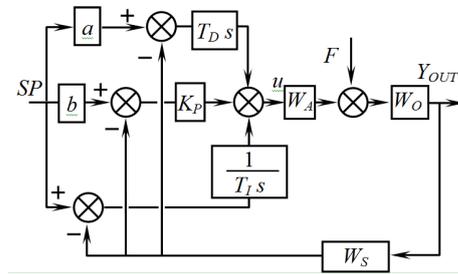


Рис. 1 – Классический вариант регулятора с двумя степенями свободы (КРДСС)

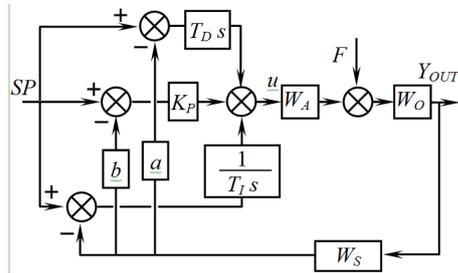


Рис. 2 – Альтернативный вариант регулятора с двумя степенями свободы (АРДСС)

В качестве критерия настройки, как отражено в работе [4], легко можно использовать интегральные критерии [5]. В работе были использованы два интегральных критерия настройки. Первый критерий является классическим, в то же время второй обеспечивает компромиссный вариант между быстродействием, перерегулированием и запасом по устойчивости [5].

$$\int_0^{tf} e(t)^2 dt \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$\int_0^{tf} t^2 |e(t)| dt \rightarrow \min. \quad (2)$$

Для исследования была выбрана система со следующими передаточными функциями:

$$W_A(s) = \frac{1}{5s + 1}; W_S(s) = \frac{1}{10s + 1}$$

$$W_A(s) = \frac{1}{(25s + 1)(15s + 1)} \exp(-\tau s)$$

Поскольку транспортное запаздывание времени τ существенно влияет на результат применения интегральных критериев [5], методика настройки была проверена для нескольких значений $\tau = [0; 3; 7,5; 15]$. Минимизация критериев производилась в Matlab. Кроме линейных структур использовался и ПИД-регулятор с нелинейной характеристикой [4,6] При этом нелинейное преобразование использовалось только для интегральной и пропорциональной составляющих регулятора

$$\mu(e) = \text{sign}(e) \ln(1 + |e|) - 1$$

II. РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ результатов показывает, что отличия между оптимальными настройками регуляторов по каналу задания и возмущения могут отличаться в несколько раз. Наибольшее отличие наблюдается во времени интегрирования. Следует отметить, что использование нелинейного преобразования ошибки придает ПИД-регулятору большую универсальность при стабилизации технологических параметров (рис. 3–9, где KID_{SP} – относительное значение интегрального критерия для настроек классического ПИД-регулятора, найденных при настройках по каналу задания; KID_D – относительное значение интегрального критерия для настроек классического ПИД-регулятора, найденных при настройках по каналу возмущения; LR – линейный вариант структуры; NR – нелинейный вариант структуры).

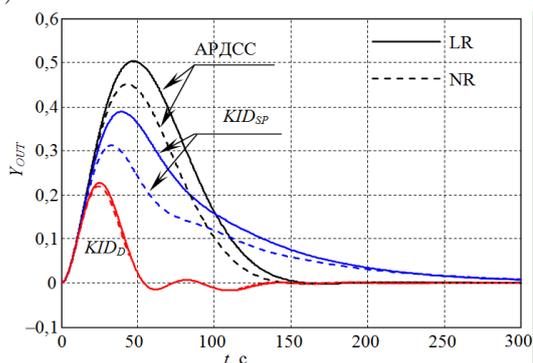


Рис. 3 – Переходной процесс по возмущению для за-паздывания $\tau = 0$. Настройка по критерию (2).

Данные показывают, что дополнительные коэффициенты настроек позволяют уменьшить значение интегральных критериев, однако не всегда существенно. Наибольший эффект достигается для объектов без запаздывания или при небольшом его значении. Улучшения наблюдаются также, и по перерегулированию, и по времени переходного процесса. Использование кри-

терия (1), как обычно [5], приводит к высокой колебательности и длительности затухания.

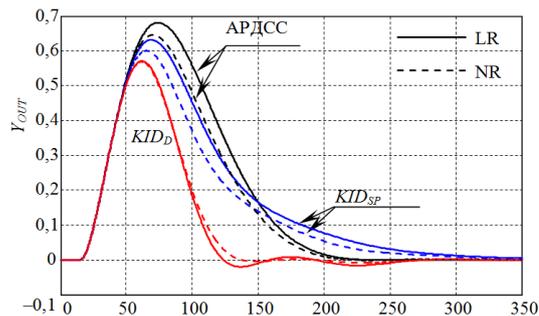


Рис. 4 – Переходной процесс по возмущению для за-паздывания $\tau = 0$. Настройка по критерию (2).

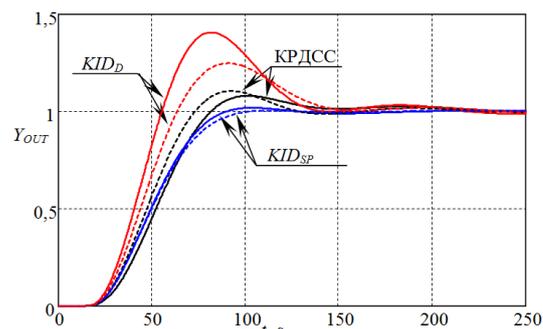


Рис. 5 – Переходной процесс по возмущению для за-паздывания $\tau = 0$. Настройка по критерию (2).

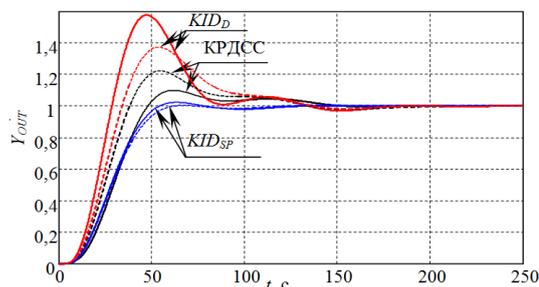


Рис. 6 – Переходной процесс по возмущению для за-паздывания $\tau = 0$. Настройка по критерию (2).

1. Åström, K. J., Hägglund, T. Advanced PID control. ISA-The Instrumentation, Systems, and Automation Society; Research Triangle Park, Durham, – 2006. – 461 p.
2. Денисенко, В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 608 с.
3. Multi-objective optimization based tuning tool for industrial 2DoF PID controllers [C. Gamboa et al.] // IFAC-PapersOnLine, July 2017. Vol. 50, Issue 1, P.7511–7516.
4. (8) Non-linear PID controller and methods of its setting. [Hryniuk D. et al.] // 2017 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream), 2017, pp.1–4. DOI: 10.1109/eStream.2017.7950327.
5. Модификация интегральных критериев для повышения запаса по устойчивости [Гринюк Д.А. и др.] // Труды БГТУ. 2012. № 6: Физ.-мат. науки и информатика. С. 118–121.
6. Численное исследование алгоритмов уменьшения интегрального насыщения [Гринюк Д.А. и др.] // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. 2005. Вып. XIII. С. 140–143.