

## АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ ВЕСОВОГО ДОЗИРОВАНИЯ С КОМПЕНСАЦИЕЙ ТРАНСПОРТНОГО ЗАПАЗДЫВАНИЯ

**С.Ф.Жуков, А.И.Важинский**  
Донецкий национальный технический университет,  
ул. Артёма, 58, Донецк, 83000, Украина.  
e-mail: [sfg@quantum.com.ua](mailto:sfg@quantum.com.ua)

*Проведено исследование системы управления объектом с компенсацией транспортного запаздывания – комплекса весового дозирования материалов металлургического процесса. Выполнено математическое моделирование системы управления комплексом. Полученные теоретические результаты послужили основой при реализации подсистемы управления весового дозирования. Библ. 3, рис. 3.*

**Ключевые слова:** математическая модель, передаточная функция, весовое дозирование, масштабирование.

Наличие запаздывания в технологических объектах резко ухудшает динамику замкнутой системы. Обычно при отношении  $\tau_{\text{зап}} / T_{\text{об}} > 0,5$  типовые законы управления не могут обеспечить высокую точность и быстродействие процесса регулирования. Главной причиной здесь является резкое снижение критического коэффициента усиления системы при увеличении запаздывания в объекте управления. В связи с этим повысить качество управления можно либо путем уменьшения запаздывания в объекте, либо за счет применения регулятора более сложной структуры. В литературе неоднократно исследовались характеристики предиктивного регулятора (SMPC) [1,2]. В настоящей статье представлена методика применения SMPC и даны сопоставительные показатели средств регулирования на основе SMPC и ПИД – закона. Приведены также указания относительно настройки предиктивных регуляторов.

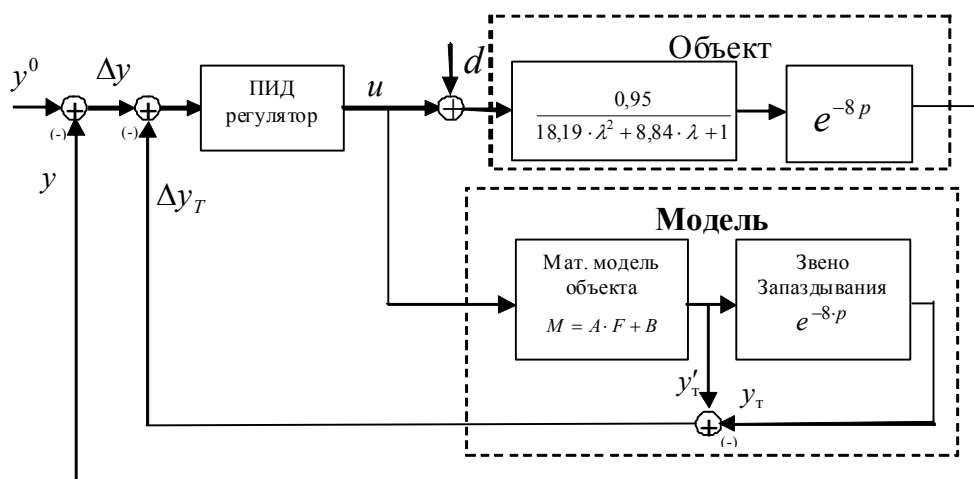


Рис. 1

Объект управления (тарельчатый питатель) является статическим с самовыравниванием, т.к. выходная координата при скачкообразном изменении входной координаты стремится к новому установившемуся значению (рис. 1).

Идея этих регуляторов основана на том, что искусственно создается одна вспомогательная величина, не содержащая запаздывания. С этой целью необходимо достаточно точно знать математическую модель объекта и той её части, которая не содержит запаздывания. Знание реакции системы без запаздывания позволяет регулятору «предвидеть» будущее поведение системы. Для примера взята математическая модель зависимости производительности питателя от его частоты вращения:  $P=A \cdot F+B$ , где  $P$  – производительность (кг/м);  $F$  – частота вращения питателя (Гц).

На рис. 2 показана модель системы управления объектом с запаздыванием и SMPC регулятором с моделью. Параметры регулятора на начальном этапе выбираем по методу CHR. Проведем сравнительный анализ регуляторов в среде имитационного моделирования Matlab Simulink, результаты показаны на рис. 3.

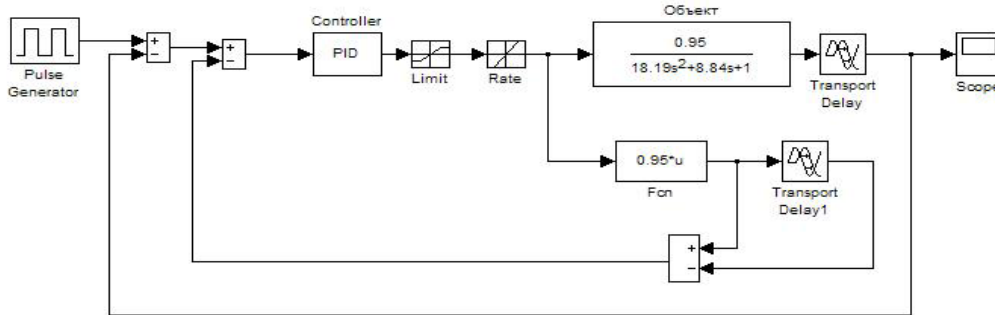


Рис. 2

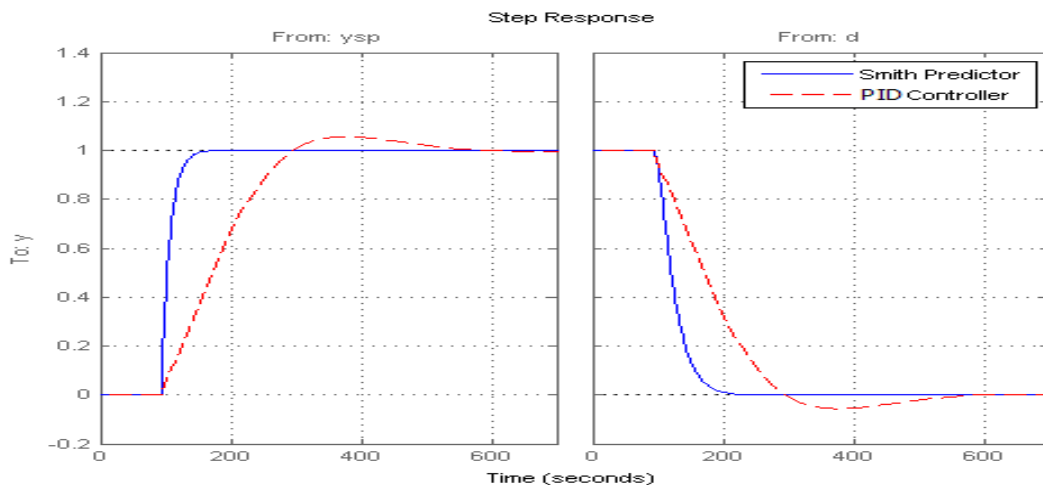


Рис. 3

Рассчитаем оптимальные значения параметров настройки, обеспечивающих заданный запас устойчивости системы регулирования и качество переходных процессов. Расчет параметров ведется по расширенным частотным характеристикам [3].

Передаточная функция ПИ-регулятора имеет вид  $W_{pec}(\lambda) = c_1 + c_0 / \lambda$ . Рассчитаем оптимальные настроечные параметры методом расширенных частотных характеристик для  $M=1,62$ . Для этого в выражение передаточной функции подставим  $\lambda=(j-m)\omega$

$$W_o((j-m)\omega) = \frac{0,0522 \cdot e^{-8\omega(j-m)}}{18,19 \cdot ((j-m)\omega)^2 + 8,84 \cdot (j-m)\omega + 1} \cdot \quad (1)$$

Расширенная амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)

$$A(m, \omega) = \frac{0,0522 \cdot e^{8 \cdot 1,62 \cdot \omega}}{\sqrt{(0,1792 - 0,35\omega)^2 + \omega^2} \cdot \sqrt{(0,3068 - 0,35\omega)^2 + \omega^2}} \quad (2)$$

Расширенная фазо-частотная характеристика (ФЧХ)

$$\varphi(m, \omega) = -8 \cdot \omega - \arctg\left(\frac{\omega}{0,1792 - 0,35\omega}\right) - \arctg\left(\frac{\omega}{0,3068 - 0,35\omega}\right) \cdot \quad (3)$$

Воспользуемся критерием Найквиста

$$W_o((j-m)\omega) \cdot W_{pec}((j-m)\omega) = -1, \quad A(m, \omega) \cdot e^{j\varphi(m, \omega)} \cdot (c_1 + c_0(j-m)^{-1}\omega^{-1}) = -1,$$

$$c_1 - \frac{c_0(j+m)}{(1+m^2)\omega} = -A^{-1}(m, \omega)e^{-j\varphi(m, \omega)}, \quad \left(-\frac{c_0 m}{(1+m^2)\omega} + c_1\right) + j\left(-\frac{c_0}{(1+m^2)\omega}\right) = -A^{-1}(m, \omega)[\cos \varphi(m, \omega) + j(m, \omega) \sin \varphi(m, \omega)],$$

$$\left(-\frac{c_0 m}{(1+m^2)\omega} + c_1\right) + j\left(-\frac{c_0}{(1+m^2)\omega}\right) = -A^{-1}(m, \omega) \cdot \cos \varphi(m, \omega) + jA^{-1}(m, \omega) \cdot \sin \varphi(m, \omega),$$

$$-\frac{c_0 m}{(1+m^2)\omega} + c_1 = -A^{-1}(m, \omega) \cos \varphi(m, \omega), \quad -\frac{c_0}{(1+m^2)\omega} = A^{-1}(m, \omega) \sin \varphi(m, \omega), \quad (4)$$

$$\text{Следовательно, } c_0 = -A^{-1}(m, \omega)(1+m^2)\omega \sin \varphi(m, \omega), \quad c_1 = -A^{-1}(m, \omega) \cos \varphi(m, \omega) + c_0 m(1+m^2)^{-1}\omega^{-1}. \quad (5)$$

Результаты исследований показывают, что алгоритм дает лучшие результаты, чем ПИ, если проводить из-

мерения согласно показателю эффективности ISE (интеграл квадратичной ошибки), а при больших значениях запаздывания  $\tau_d$  характеристики SMPC лучше, чем ПИ и ПИД - регулирования. С учетом сложности настройки регулятора, работающего по ПИД закону, и способностью SMPC сохранять высокие показатели при наличии ошибок моделирования, SMPC можно считать предпочтительным регулятором для различных параметров объектов с запаздыванием. Полученные результаты говорят о том, что в некоторых случаях, особенно когда речь идет об уменьшении воздействия внешних возмущений, регулятор Смита способен конкурировать с ПИД алгоритмом. Это относится к объектам, у которых относительная постоянная времени  $T = T_0/\tau$  удовлетворяет условиям  $0 < T < 1$ .

Таким образом, в результате проведенных исследований получена математическая модель системы управления дозированием сыпучих материалов, исключая влияние транспортного запаздывания, на основе которой разработана система управления электротехническим комплексом.

1. Жуков С.Ф., Вазинский А.И. Автоматизация процессов управления и диагностирования электротехнических комплексов металлургического производства // Техн. електродинаміка. Тем. випуск «Проблеми сучасної електротехніки». – 2010. – Ч. 1. – С. 181–184.
2. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы. – С.-Пб.: Питер, 2005. – 336 с.
3. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – С.-Пб.:Профессия, 2003. – 752 с.

УДК 621.355.1

#### АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ КОМПЛЕКСОМ ВАГОВОГО ДОЗУВАННЯ З КОМПЕНСАЦІЄЮ ТРАНСПОРТНОГО ЗАПІЗНЮВАННЯ

С.Ф.Жуков, А.І.Важинський

Донецький національний технічний університет,  
вул. Артема, 58, Донецьк, 83000, Україна.

E-mail: [sfg@quantum.com.ua](mailto:sfg@quantum.com.ua)

*Проведено дослідження системи управління об'єктом з компенсацією транспортного запізнювання - комплексу вагового дозування матеріалів металургійного процесу. Виконано математичне моделювання системи управління комплексом. Отримані теоретичні результати послужили основою при реалізації підсистеми управління вагового дозування. Бібл. 3, рис. 3.*

**Ключові слова:** математична модель, передатна функція, вагове дозування, метод масштабування.

#### ALGORITHM FOR MANAGEMENT OF THE COMPLEX WEIGHT BATCHING WITH COMPENSATION OF TRANSPORT DELAY

S.F.Zhukov, A.I.Vazhinskyi

Donetsk National Technical University,  
Artema str., 58, Donetsk, 83000, Ukraine.

E-mail: [sfg@quantum.com.ua](mailto:sfg@quantum.com.ua)

*A study of control object - complex weight dosage that provides training materials smelting process. The study performed mathematical modeling of complex systems, the analysis of the obtained models. These theoretical results formed the basis for the implementation of complex subsystems weight. References 3, figures 3.*

**Key words:** mathematical model, the transfer function, weight dosing, the scaling.

1. Zhukov S.F., Vazhinskii A.I. Automation of management and diagnosis of electrical steel production complexes // Tekhnichna Elektrodynamika. Tematychnyi vypusk "Problemy suchasnoi elektrotekhniki". – 2010. – Part 1. – Pp. 181-184. (Rus)
2. Miroshnik I.V. Theory of automatic control. Linear systems. – Sankt-Peterburg: Piter, 2005. – 336 p. (Rus)
3. Besekerskii V.A., Popov E.P. Theory of systems of automatic control. – Sankt-Peterburg: Professiia, 2003. – 752 p. (Rus)

Надійшла 30.01.2014