

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВОЙСТВ БИПЛАСТИЧНОСТИ AIS ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ, АНАЛИЗА И СИНТЕЗА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

В настоящее время особо актуальны задачи, связанные с использованием алгоритмов и методов искусственного интеллекта. Нейронные сети, генетический алгоритм, биоинспирированные алгоритмы – все эти методы зарекомендовали себя эффективно для обработки данных, синтеза оптимального управления и других задач, связанных с системами управления. Широкие исследования ведутся и в области искусственных иммунных систем, на основе которых строятся информационные системы защиты, системы оптимального управления и пр. [1].

В соответствии с работами по биологии, нервная и иммунная системы различных организмов обладают свойством пластичности [2]. Это свойство представляет интерес для разработчиков методов оптимизации на основе искусственных иммунных систем (artificial immune system, AIS) и их развитие на класс сложных систем управления. Для решения задач, связанных с моделированием, анализом и синтезом сложных систем управления можно использовать свойства искусственных иммунных систем, как адаптивной вычислительной системы [3]. В настоящее время одним свойством искусственных иммунных систем является их двойная пластичность [4], которая отражает способность иммунной системы к адаптации на основе параметрических и структурных изменений. В связи с этим возникает необходимость моделирования, анализа и синтеза сложных систем управления с учётом алгоритма искусственных иммунных систем.

Само свойство параметрической пластиности интерпретируется как свойство системы изменять параметры функционирования для повышения её эффективности. Структурная пластиность соответствует свойству адаптации системы управления. Это обуславливает использование данных свойств для систем управления с переменным регулятором (рисунок 1).

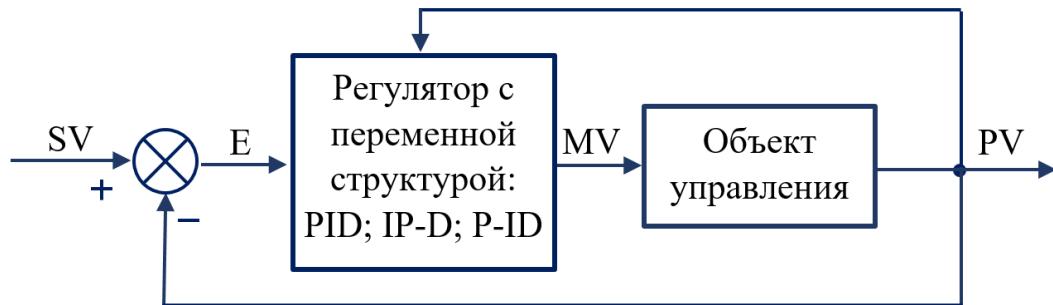


Рисунок 1 – Схема системы управления с переменным регулятором

На рисунке 1: PV – текущее значение выходного сигнала объекта управления; SV – заданный сигнал процесса; E – ошибка рассогласования между значениями выходного сигнала объекта управления и заданного сигнала; MV – управляющее воздействие для объекта управления.

Параметры регулятора с переменной структурой (рисунок 2) настраиваются на основе алгоритма AIS, с учётом свойств двойной пластиности и адаптируемости, что позволяет структурно менять параметры в процессе работы.

Закон PID управления, в котором управляющее воздействие формируется на основе ошибки рассогласования:

$$MV(t) = K_p \cdot K_s \cdot \left\{ E(t) + \frac{1}{T_i} \int_{t=0}^{t_1} E(t) dt + T_d \frac{dE(t)}{dt} \right\}, \quad (1)$$

где K_p – пропорциональный коэффициент усиления; K_s – коэффициент усиления, определяющий допустимый диапазон изменения для устойчивости

замкнутой системы управления; T_i – постоянная интегрирования; T_d – постоянная дифференцирования.

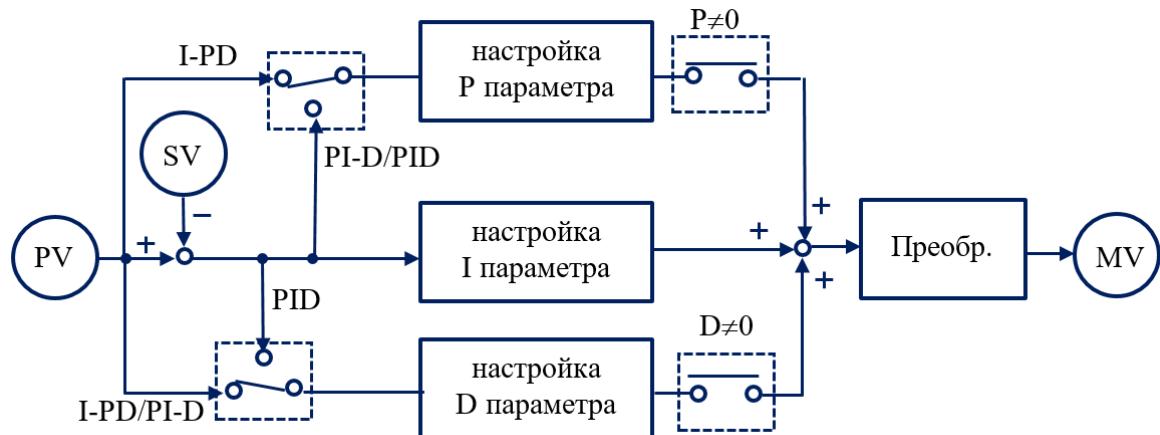


Рисунок 2 – Схема переменного регулятора

Закон I-PD управления (рисунок 3), в котором управляющее воздействие формируется на основе ошибки рассогласования, E , и изменения выходного сигнала PV :

$$MV(t) = K_p \cdot K_s \cdot \left\{ -PV(t) + \frac{1}{T_i} \int_{t=0}^{t_1} E(t) dt - T_d \frac{dPV(t)}{dt} \right\}. \quad (2)$$

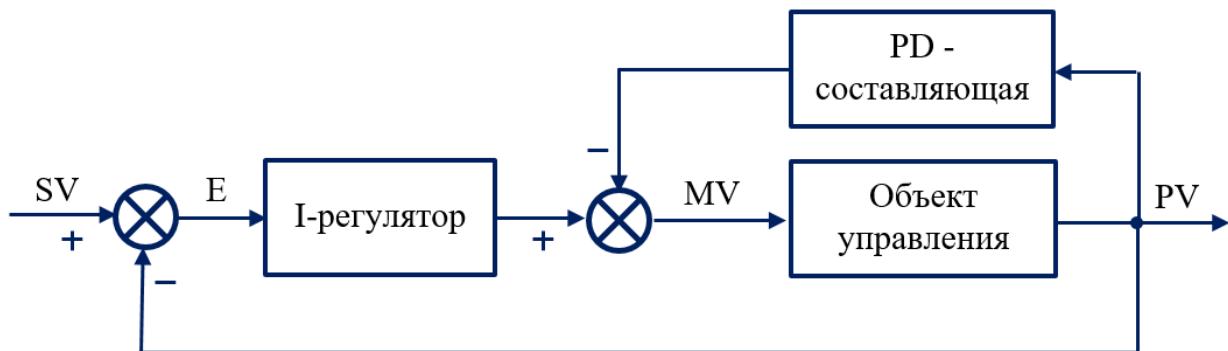


Рисунок 3 – Схема системы управления с I-PD регулятором

Закон PI-D управления (рисунок 4), в котором управляющее воздействие формируется на основе ошибки рассогласования, E , и изменения выходного сигнала PV :

$$MV(t) = K_p \cdot K_s \cdot \left\{ E(t) + \frac{1}{T_i} \int_{t=0}^{t_1} E(t) dt - T_d \frac{dPV(t)}{dt} \right\}. \quad (3)$$

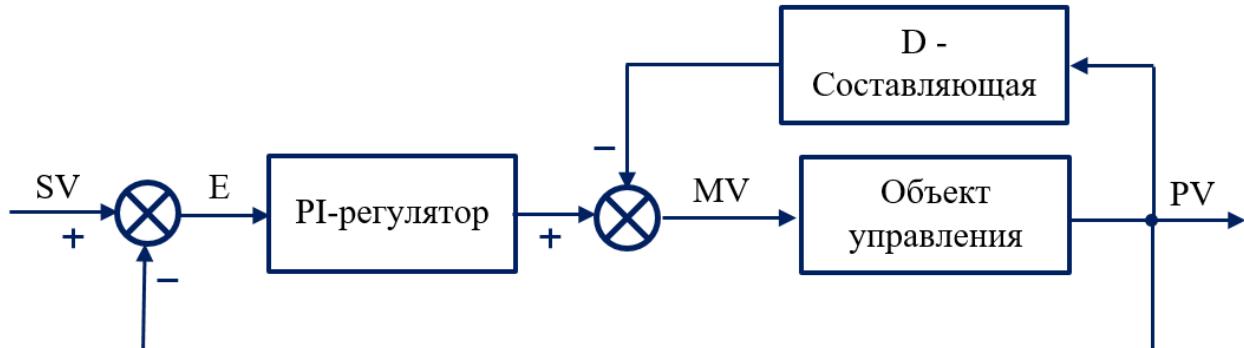


Рисунок 4 – Схема системы управления с PI-D регулятором

В случае (1), передаточные функции идеального типового регулятора и замкнутой системы управления имеют стандартный вид:

$$C_{PID}(s) = K_p \cdot K_s \cdot \left\{ 1 + \frac{1}{T_i} \cdot \frac{1}{s} + T_d \cdot s \right\},$$

$$T_{PID}(s) = \frac{C_{PID}(s) \cdot G(s)}{1 + G(s) \cdot C_{PID}(s)}. \quad (4)$$

Для регуляторов (2) и (3), передаточная функция формируется в соответствии со схемами (рисунок 3 и 4) и законами управления (2, 3):

$$T_{I-PD}(s) = \frac{C_I(s) \cdot G(s)}{1 + G(s) \cdot (C_I(s) + C_{PD}(s))}, \quad (5)$$

$$T_{PI-D}(s) = \frac{C_{PI}(s) \cdot G(s)}{1 + G(s) \cdot (C_{PI}(s) + C_D(s))}. \quad (6)$$

Алгоритм AIS используется для получения значений параметров регуляторов (4-6). Для этого решается тривиальная оптимизационная задача с поиском минимума квадратичного критерия качества [5]:

$$ISE = \int_{t=0}^{t_1} E^2(t)dt = \int_{t=0}^{t_1} (SV(t) - PV(t))^2(t)dt, \rightarrow \min. \quad (7)$$

Среди стандартных шагов популяционного цикла интеллектуального алгоритма AIS имеет место шаг, связанный со свойством бипластиности - адаптация: инициализация, аффинность, адаптация, селекция, клонирование, мутация, выбор лучшего клона. В соответствии со свойством пластиности и адаптируемости данный алгоритм обеспечивает изменение структуры регулятора, позволяющего минимизировать критерий качества (7).

Данное исследование было профинансирано Комитетом Науки Министерства Образования и Науки Республики Казахстан (грант № AP08855743).

Литература:

1. Dasgupta D. Artificial immune systems and their applications. - Springer, 2014. - 306 p.
2. Люпина Ю.В., Орлова А.Ш., Горностаев Н.Г., Карпова Я.Д. Пластиность нервной и иммунной систем у различных организмов: роль протеасом // Журнал общей биологии. – 2014. – том 75. – № 1. – С. 3-24.
3. Кушнир Н.В., Кушнир А.В., Анацкая Е.В., Катышева П.А., Устинов К.Г. Искусственные иммунные системы: обзор и современное состояние // Научные труды КубГТУ. – №12. – 2015. – 10 с.
4. Woodland D. Plasticity in Adaptive Immunity // Viral immunology. – 2016. – Vol. 26. – №5. – P. 301.
5. Ширяева, О.И. Реализация SMART-технологии построения оптимальных систем на основе модифицированных алгоритмов // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2020. – № 1(3). – С.41-49.