

УДК 519.6

DOI: 10.22213/2410-9304-2026-1-35-42

Разработка алгоритма автоматизированной системы настройки ПИД-регулятора сервоцилиндра на основе математической модели гидропривода

А. А. Колотов, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова;
ООО «НПО «Гидросистемы», Ижевск, Россия

В статье рассмотрен вопрос построения эффективной автоматизированной системы управления механизмом при помощи пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора (далее ПИД-регулятора). Вопросы корректного применения и управления ПИД-регулятором, в том числе задача формирования системы прогнозирования коэффициентов ПИД-регулятора, представлена на примере построения системы управления сервоцилиндром, то есть на примере управления работой гидравлической системы. Показано, что наиболее технически сложным, трудоемким и ответственным этапом построения автоматизированной системы управления механизмом является этап настройки управляющего воздействия с учетом динамически изменяющихся входных данных. Сформирована и представлена математическая модель работы сервоцилиндра, являющаяся базовым элементом адаптивной системы управления регулятором. Сформирован, представлен и реализован алгоритм управления и способы определения (подбора) коэффициентов. Представлены результаты апробации алгоритма прогнозирования коэффициентов ПИД-регулятора на примере управления сервоцилиндром.

Предложен автоматизированный метод настройки ПИД-регулятора на основе численных методов оптимизации с применением математической модели гидропривода. Показано, что сформированный подход позволяет подобрать оптимальные параметры регулирования.

Отдельно рассмотрен пример программной реализации ПИД-регулятора в среде для разработки алгоритмов на высокоуровневом интерпретируемом языке программирования общего назначения. Особый акцент направлен на разработку и практическую апробацию автоматизированного метода подбора коэффициентов ПИД-регулятора, построенного на базе математической модели гидропривода. Предложенный в статье подход основан на применении метода оптимизации Нелдера – Мида.

Проведенные численные и имитационные эксперименты продемонстрировали, что разработанный автоматизированный метод позволяет находить оптимальные или близкие к оптимальным наборы коэффициентов ПИД-регулятора за приемлемое время, существенно повышая качество управления, устойчивость работы и снижая зависимость результата от субъективного опыта настройщика. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании промышленных систем управления с гидравлическими приводами, а также в технике различного назначения, требующей постоянного контроля положения.

Ключевые слова: автоматизация, система управления, ПИД-регулятор, система прогнозирования, сервоцилиндр, гидравлическая система, кинематика.

Введение

Задачи обеспечения надежной и бесперебойной работы различных механизмов и систем, вне зависимости от сложности их исполнения, остаются актуальными по настоящее время. К распространенным устройствам, требующим регулирования, относятся гидравлические станции и управляющее гидравлическое оборудование, в том числе сервоцилиндры. А задача корректного определения

требуемого управляющего воздействия при динамическом нагружении сервоцилиндров и систем [1–3], вне зависимости от сложности их исполнения, остается актуальной по настоящее время. Для сложных механизмов и систем вопросы обеспечения надежной работы сопряжены с построением эффективного и корректного управления. Традиционно [4] решение данной задачи строится с использованием специализированных управляющих

алгоритмов и устройств, выбор которых определяется исходными требованиями к автоматизированной системе (точность, скорость реакции и т. д.).

Среди управляющих устройств наибольшее распространение получили регуляторы с отрицательной обратной связью [5]. К таким устройствам относятся пропорциональные, пропорционально-интегральные, пропорционально-дифференциальные и др. регуляторы. Наличие связей конкретного вида (пропорциональной (П), интегральной (И), дифференциальной (Д)) определяет как тип регулятора (П, ПИ, ПД, ПИД) [6], так и его свойства и назначение. Пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор (ПИД-регулятор) при условии корректного определения значений коэффициентов регулирования характеризуется высокими надежностью и эффективностью. Как правило, настройка ПИД-регулятора требует применения расчетного метода и экспериментального подбора коэффициентов, что предусматривает определение коэффициентов непосредственно в процессе настройки механизма. Необходимо отметить, что при некорректной настройке могут возникнуть нежелательные автоколебания объекта управления, что может привести к потере контроля над ним.

Работы, посвященные вопросам настройки и управления регулирующими устройствами, не многочисленны. Так, в [7] рассмотрены вопросы применения прогнозирующих моделей для управления регулятором с отрицательной обратной связью. Показано, что данный алгоритм обеспечивает корректное предсказание поведения объекта управления при различных типах входного воздействия. Методика прогноза дальнейшего поведения регулятора на основе данных о предыдущих состояниях объекта управления представлена в работе [8].

ПИД-регулятор далеко не единственный метод. Согласно [9] одним из наиболее перспективных методов для управления регулирующими устройствами является применение алгоритма Sliding mode control. Данный алгоритм позволяет улучшить динамику переходного процесса за счет пе-

рерключения системы с одной непрерывной функции на другую, в зависимости от текущего положения, что обеспечивает управление устройством по заданной пользователем динамической траектории. Однако применение данного метода сопряжено с усложнением алгоритма и, как следствие, с невысокой производительностью. А также в работе [10] при организации управления методом Sliding mode control была получена более грубая интегральная ошибка отклонения от траектории, чем при помощи управления ПИД-регулятором. Следовательно, ПИД-регулятор – это перспективный метод управления механизмами, его настройка – логичный, пошаговый процесс, который начинается с введения задания для системы, задания функции, определяющей поведение компонента в системе и задания обратной связи.

Важно подчеркнуть, что задачи управления, направленные на обеспечение приспособления системы к изменяющимся условиям, требуют применения методов корректного прогнозирования коэффициентов регулирования, поскольку управление реализуется либо через настройку (подстройку) внутренних параметров регулятора, либо через оценку параметров объекта, которые могут изменяться в процессе работы или изначально неизвестны [11]. Примерами таких алгоритмов могут быть все вышеперечисленные методы под управлением нейронной сети, подстраивающей параметры регуляторов под конкретные условия. В работе [12] описан пример адаптивного ПИД-регулятора, способного осуществлять самостоятельный подбор коэффициентов.

Таким образом, данная работа направлена на формирование комплексного метода настройки ПИД-регулятора с применением автоматического подбора коэффициентов регулятора. Формирование и тестирование метода строится на задаче автоматизации управления работой сервоцилиндра, предназначенного для приведения в движение навесного оборудования.

Математическое моделирование движения сервоцилиндра

Сервоцилиндр представляет собой гидравлический цилиндр с установленным на

него управляющим оборудованием (рис. 1). К основным параметрам сервоцилиндра относятся: диаметр поршня (d_1), диаметр штока (d_2) и величина полного хода цилиндра (s). Параметры рассматриваемого устройства определены как $d_1 = 100$ мм, $d_2 = 50$ мм, $s = 300$ мм.

Физически сервоцилиндр приводится в движение за счет изменения объема рабочей жидкости. Время изменения объема жидкости в полостях цилиндра в процессе работы гидропривода зависит от технического состояния элементов системы (пропускная способность гидравлического распределителя, степень износа уплотнений и т. д.).

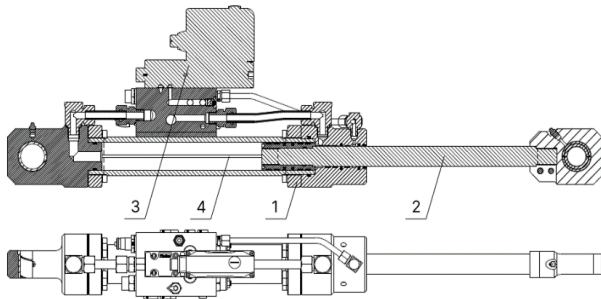


Рис. 1. Схема сервоцилиндра: 1 – корпус цилиндра; 2 – подвижные элементы; 3 – гидравлический распределитель (сервоклапан); 4 – датчик положения

Fig. 1. Figure 1 – Diagram of the servo cylinder: 1 – cylinder body; 2 – movable elements; 3 – hydraulic distributor (servo valve); 4 – position sensor

Таким образом, для обеспечения повторяемости и воспроизводимости процесса необходима динамическая корректировка функции управления движением сервоцилиндра. Данная задача в дальнейшем может быть решена путем математического моделирования динамики изменения рабочих параметров гидропривода для вычисления необходимых коэффициентов ПИД-регулятора, обеспечивающих точную работу механизма с последующей разработкой и программной реализацией алгоритма адаптивного регулирования движения сервоцилиндра.

Математическая модель динамики изменения рабочих параметров гидропривода с учетом несжимаемости жидкой рабочей среды строится на основе следующих уравнений:

$$\begin{aligned} m\ddot{X} + c\dot{X} + F_{\text{тр}} &= F_{\text{гидро}}, \\ F_{\text{гидро}} &= p_1 A_1 - p_2 A_2, \\ A_1 \dot{X} &= K_{sv} \cdot u, \\ u(t) &= K_p e(t) + \\ &K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}, \\ e(t) &= X_{\text{зад}}(t) - X(t), \end{aligned} \quad (1)$$

где $m = 1$ кг – масса подвижных частей; $A_1 = 0.00785$ м² – площадь контактной поверхности поршня; $A_2 = 0.0019625$ м² – площадь контактной поверхности штока; $K_{sv} = 8,33 \times 10^{-5}$ м³/(с·В) – коэффициент сервоклапана; $c = 1000$ Н с/м – коэффициент вязкого демпфирования; $\mu = 0,1$ – коэффициент сухого трения; $F_{\text{тр}} = \mu \times N = 0,1 \cdot \text{sign}(V)$ – сила трения, N – осевая нагрузка; u – управляющий сигнал (степень открытия клапана); X – положение штока (заданное – $X_{\text{зад}}$ и действительное – X), e – рассогласование положений, $F_{\text{гидро}}$ – гидродинамическая сила, K_p – пропорциональный коэффициент регулятора, K_d – дифференциальный коэффициент регулятора, K_i – интегральный коэффициент.

Предложенная математическая модель, реализованная в среде для разработки алгоритмов на высокоуровневом интерпретируемом языке программирования общего назначения, сценарий позволяет наглядно оценить качество отработки системой линейно изменяющегося (скоростного) задания в виде графика (рис. 2).

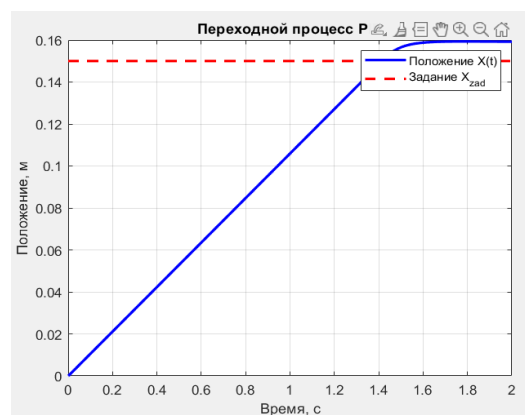


Рис. 2. График переходного процесса при коэффициентах ПИД-регулятора $K_p = 2000$, $K_i = 180$, $K_d = 50$.

Fig. 2. Graph of the transition process at coefficients The PID of the controller is $K_p = 2000$, $K_i = 180$, $K_d = 50$

Полученный график процесса показывает, что заданные коэффициенты слишком большие, ПИД-регулятор работает некорректно (особенно K_p), такие коэффициенты вызывают высокую чувствительность системы – быстрое движение, выраженное превышение цели. В случае настройки ПИД-регулятора экспериментальным методом в процессе отладки механизма заданные коэффициенты могли привести к аварии. Для исключения подобных ситуаций необходимо автоматизировать процесс настройки ПИД-регулятора, а еще лучше – обеспечить корректировку при эксплуатации.

С целью предотвращения проблемы некорректной оценки (подбора) коэффициентов ПИД-регулятора предложен алгоритм корректной системы прогнозирования коэффициентов, обеспечивающий автоматическую подстройку коэффициентов K_p , K_i , K_d на основе текущей математической модели объекта управления. В отличие от классического ручного подбора коэффициентов, предложенный алгоритм позволяет повторно запускать оптимизацию при любом изменении параметров гидропривода без участия оператора.

Автоматизация настройки ПИД-регулятора

Корректность работы ПИД-регулятора заключается в том, что регулятор поддерживает заданное значение регулируемой величины на определенном уровне при внешних и внутренних возмущениях системы.

Это достигается за счет формирования управляющего сигнала на базе обратной связи [13], который представляет собой сумму трех составляющих: пропорциональной, интегральной и дифференциальной.

Оптимизация выполняется методом Нелдера – Мида:

$$J = \int_0^T |e(t)| dt + 2 \times \max(0, \max(X(t)) - X_{zad}). \quad (2)$$

Интеграл (2) вычисляется численно; например, временной интервал $T = 2$ с для вычисления требует 400 точек. Поиск оптимума инициализируется от исходной, определенной по результатам предварительного

ручного подбора коэффициентов, точки $[K_p, K_i, K_d] = [100, 10, 1]$. Применяемая процедура оптимизации включает до 100 итераций и реализована на основе библиотеки `scipy.optimize.minimize`. Для обеспечения корректности работы адаптивного алгоритма регулирования применяется ограничение значения коэффициентов – $K_p, K_i, K_d \leq 1000$. Ввод данного ограничения обоснован двумя причинами:

- численная устойчивость симуляции (при $K_p > 1000$ система становится жесткой, возникают периодические колебания $J \rightarrow \infty$);
- физическая реализуемость – чрезмерно большие коэффициенты приводят к потере управляемости оборудования.

Управляющий сигнал ограничен диапазоном $u \in [-10; +10]$ В:

$$u = \max(-10, \min(u, 10)). \quad (3)$$

Это соответствует существующему диапазону напряжения управления промышленным сервоклапаном (например, Bosch Rexroth). Превышение диапазона невозможно физически, поэтому ограничение гарантирует, что найденные коэффициенты будут работоспособны на реальном оборудовании.

ПИД-регулятор сравнивает текущую регулируемую величину с заданным значением (уставкой). На основе их разницы алгоритм вычисляет управляющий сигнал и отправляет его на исполнительный механизм. Тот, в свою очередь, приводит объект управления к желаемому значению процесса.

Блок-схема алгоритма автоматизированной настройки ПИД-регулятора представлена на рис. 3.

В рамках поставленной задачи предлагается решить автоматизацию настройки ПИД-регулятора путем существующего стандартного численного метода минимизации функции – из библиотеки для высокоуровневого интерпретируемого языка программирования общего назначения.

Это один из методов без градиента, подходящий для задачи, где минимизация выполняется методом Нелдера – Мида (Nelder-Mead simplex), реализованным в функции `minimize` библиотеки `scipy.optimize` (Python)

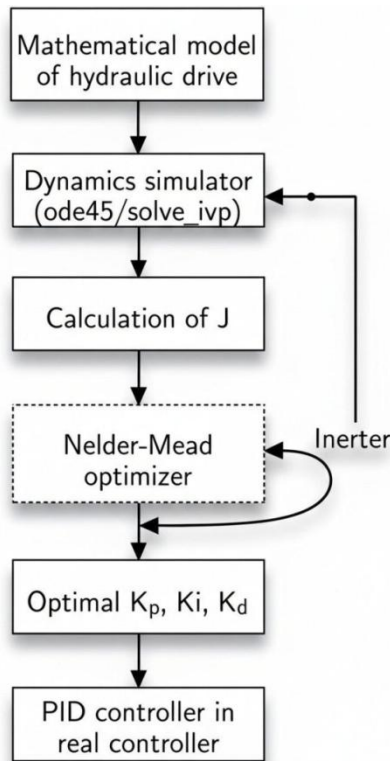


Рис. 3. Блок-схема алгоритма прогнозирования коэффициентов ПИД-регулятора

Fig. 3. Block diagram of the algorithm for predicting the coefficients of the PID controller

Алгоритм автоматизированной настройки:

1. Задаются параметры модели: $m, c, A_1, K_{sv}, X_{zad}, T = 2c$.

2. Задается вектор $p_0 = [K_p^0, K_i^0, K_d^0] = [100, 10, 1]$.

3. Выполняется симуляция системы (метод Рунге – Кутты 4–5-го порядка):

$$\dot{X} = V, \quad \dot{V} = \frac{c(V_{pid} - V) - F_{тр}}{m}, \quad \dot{I}_e = e, \quad (4)$$

где $V_{pid} = K_{sv}/A_1 \cdot u$, $u = K_p e + K_i I_e + K_d \dot{e}$.

– Вычисляется минимум:

$$J = \int_0^T |e(t)| dt + 2 \times \max(0, \max(X(t)) - X_{zad}). \quad (5)$$

– Обновляется вектор методом Нелдера – Мида.

– Процесс повторяется до сходимости (≤ 100 итераций).

4. Выдаются оптимальные коэффициенты и график переходного процесса.

В результате выполнения алгоритма после 100 итераций оптимизации были найдены коэффициенты ПИД-регулятора, обеспечивающие наилучший переходный процесс по выбранному критерию.

Результирующая зависимость функции регулирования ПИД-регулятора с оптимальными коэффициентами

($K_p = 849,8539, K_i = 0,025668, K_d = 00,00055233$) от времени представлена на рис. 4.

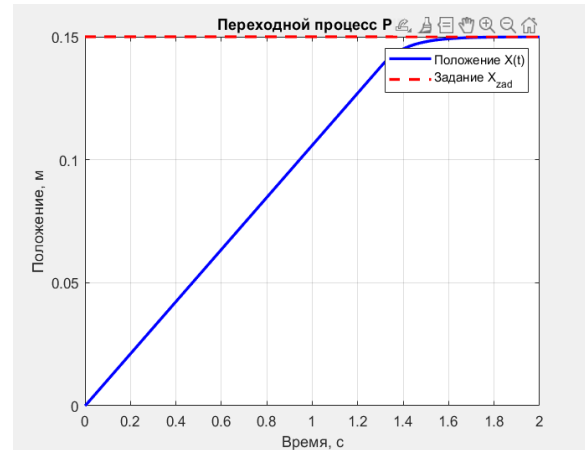


Рис. 4. График переходного процесса при коэффициентах ПИД-регулятора $K_p = 849,8539, K_i = 0,025668, K_d = 00,00055233$

Fig. 4. Graph of the transition process at coefficients The PID controller $K_p = 849,8539, K_i = 0,025668, K_d = 00,00055233$

Согласно [14, 15], оценить качество управления и устойчивость замкнутой системы с регулятором можно на основе графического, математического или иного описания, характеризующего систему и ее элементы. Таким образом, полученная временная зависимость функции управления ПИД-регулятора (рис. 4) является необходимой и достаточной для оценки качества управления: перерегулирование, время регулирования до заданной точности, время переходного процесса, конечная ошибка и устойчивость системы.

Заключение

Для повышения эффективности управления и минимизации человеческого фактора предложен автоматизированный метод настройки ПИД-регулятора на основе численных методов оптимизации с применением математической модели гидропривода. Предложенный метод является устойчивым по отношению к изменению внутренних или внешних параметров объекта, поскольку оптимизация может быть запущена повторно в

реальном времени при обнаружении изменения динамики. Также сформированный подход позволяет подобрать оптимальные параметры регулирования, обеспечить высокое качество переходных процессов, повысить надежность работы оборудования, ускорить процесс ввода в эксплуатацию и поддерживать устойчивую работу механизма.

Дальнейшее развитие системы автоматизированной настройки ПИД-регуляторов для широкого класса задач может быть связано с оценкой коэффициентов с применением генетических алгоритмов и нейронных сетей.

Библиографические ссылки

1. *Озерский А. И.* Проблемы и методы совершенствования систем гидравлических приводов, работающих в тяжелых эксплуатационных условиях // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2015. № 2 (183). С. 69–76, DOI 10.17213/0321-2653-2015-2-69-76.

2. Xu R., Tan X., Wang He., Zhu Zh., Lu X., Li Ch. Stability of hydropower units under full operating conditions considering nonlinear coupling of turbine characteristics // Renewable Energy. 2024. Т. 223. С. 120009.

3. *Курир В. И.* О моделировании гидрогенератора с турбиной в MATLAB/SIMULINK // Вестник Чувашского университета. 2019. № 3. С. 133–141.

4. Динамика деформируемых систем, несущих движущиеся нагрузки (обзор публикаций и диссертационных исследований) / С. И. Герасимов, В. И. Ерофеев, Д. А. Колесов, Е. Е. Лисенкова // Вестник научно-технического развития. 2021. № 160. С. 25–47. DOI: 10.18411/vntr2021-160-3.

5. Borase R.P., Maghade D. K., Sondkar S. Y., Pawar S. N. A review of PID control, tuning methods and applications. // International Journal of Dynamics and Control. 2021, vol. 9, pp. 818–827.

6. *Сабитов М. А., Сенкевич Л. Б.* Разработка структуры нейросетевой системы автоматизированной настройки параметров ПИД-регулятора // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2018. № 10. С. 17–19.

7. *Попадьин А. Н.* Автоматизированная настройка ПИД-регулятора для управления следящим приводом с использованием программного пакета matlab simulink // Морской вестник. 2019. № 3 (71). С. 93–96.

8. *Труханов К. А.* Математическая модель следящего пневмопривода // Справочник. Инженерный журнал. 2022. № S7. С. 1–20.

9. K. David Young, Vadim I. Utkin, Umit Ozguner. A Control Engineer's Guide to Sliding Mode Control. IEEE Transactions on control systems technology, Vol. 7, NO. 3, pp. 328-342 (1999).

10. Faizdrakhmanov D. G., Kolotov A. A., Karavaev Yu. L., Chernova A. A. Automating the Process of Mobile Robot Controllers Adjustment // Информационные технологии в науке, промышленности и образовании : сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции (Ижевск, 2025 г.). С. 311–317.

11. Исследование эффективности применения нейросетевого оптимизатора параметров ПИД-регулятора при решении задач управления нагревательными объектами в металлургии / Ю. И. Еременко, Д. А. Полеценко, А. И. Глущенко, С. В. Солодов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2014. Т. 57, № 7. С. 61–65.

12. *Горбатов В. А., Горбатов А. В., Горбатова М. В.* Теория автоматов : учебник для студентов вузов. М. : АСТ Издательство, 2008. 559 с.

13. *Ким Д. П.* Теория автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы : учебник и практикум. Сер. 76 Высшее образование. 3-е изд., испр. и доп. М., 2020.

14. *Дорф Р., Бишоп Р.* Современные системы управления / пер. с англ. М. : Лаборатория базовых знаний, 2002. 1056 с.

15. *Гаевский С. А., Ким Д. П.* Настройка и оптимизация ПИД-регуляторов в системах автоматического управления // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22, № 7. С. 112–125.

References

1. Ozerskij A.I. [Problems and methods for improving hydraulic drive systems operating under severe operating conditions]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Tekhnicheskie nauki.* 2015. No. 2. Pp. 69-76 (in Russ.). DOI 10.17213/0321-2653-2015-2-69-76.

2. Xu R., Tan X., Wang He., Zhu Zh., Lu X., Li Ch. Stability of hydropower units under full operating conditions considering nonlinear coupling of turbine characteristics // Renewable Energy. 2024. Т. 223. С. 120009.

3. Kurir V.I. [Modeling a Hydroelectric Generator with a Turbine in MATLAB/SIMULINK].

Vestnik CHuvashskogo universiteta. 2019. No. 3. Pp. 133-141 (in Russ.).

4. Gerasimov S.I., Erofeev V.I., Kolesov D.A., Lisenkova E.E. [Dynamics of deformable systems bearing moving loads (review of publications and dissertations)]. *Vestnik nauchno-tekhnicheskogo razvitiya*. 2021. No. 160. Pp. 25-47 (in Russ.). DOI: 10.18411/vntr2021-160-3.

5. Borase R.P., Maghade D. K., Sondkar S. Y., Pawar S. N. A review of PID control, tuning methods and applications. // *International Journal of Dynamics and Control*. 2021, vol. 9, pp. 818–827.

6. Sabitov M.A., Senkevich L.B. [Development of the structure of a neural network system for automated tuning of PID controller parameters]. *Avtomatizatsiya, telemekhanizatsiya i svyaz' v neftyanoy promyshlennosti*. 2018. No. 10. Pp. 17-19 (in Russ.).

7. Popad'in A.N. [Automated tuning of a PID controller for controlling a servo drive using the Matlab Simulink software package]. *Morskoj vestnik*. 2019. No. 3. Pp. 93-96 (in Russ.).

8. Truhanov K.A. [Mathematical model of a pneumatic follower drive]. *Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal*. 2022. No. S7. Pp. 1-20 (in Russ.).

9. K. David Young, Vadim I. Utkin, Umit Ozguner. A Control Engineer's Guide to Sliding Mode Control. *IEEE Transactions on control systems technology*, Vol. 7, NO. 3, pp. 328-342 (1999).

10. Faizdrakhmanov D. G., Kolotov A. A., Karavaev Yu. L., Chernova A. A. Automating the Process of Mobile Robot Controllers Adjustment. *Informacionnye tekhnologii v nauke, promyshlen-*

nosti i obrazovanii : sbornik trudov Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii [Information technology in science, industry and education: Proceedings of the All-Russian scientific and technical conference]. Pp. 311-317.

11. Eremenko YU.I., Poleshchenko D.A., Glushchenko A.I., Solodov S.V. [A study of the efficiency of using a neural network optimizer for PID controller parameters in solving problems of controlling heating objects in metallurgy]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Chernaya metallurgiya*. 2014. Vol. 57, no. 7. Pp. 61-65 (in Russ.).

12. Gorbatov V.A., Gorbatov A.V., Gorbatova M.V. *Teoriya avtomatov : uchebnyk dlya studentov vtuzov* [Automata Theory: A Textbook for University Students]. Moscow : AST Izdatel'stvo, 2008. 559 p. (in Russ.).

13. Kim D.P. *Teoriya avtomaticheskogo upravleniya. Mnogomernye, nelinejnye, optimal'nye i adaptivnye sistemy : uchebnyk i praktikum* [Automatic Control Theory. Multidimensional, Nonlinear, Optimal, and Adaptive Systems: Textbook and Workshop]. Moscow, 2020 (in Russ.).

14. Dorf R., Bishop R. *Sovremennye sistemy upravleniya* [Modern control systems]. Moscow : Laboratoriya bazovyh znaniy, 2002. 1056 p. (in Russ.).

15. Gaevskij S.A., Kim D.P. [Tuning and optimization of PID controllers in automatic control systems]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2018. Vol. 22, no. 7. Pp. 112-125 (in Russ.).

* * *

Development of an Algorithm for an Automated Tuning System for the Pid Controller of a Servo Cylinder Based on a Mathematical Model of a Hydraulic Drive

A. A. Kolotov, PhD student, Leading Design Engineer Kalashnikov Izhevsk State Technical University, "Gidrosistemy" Scientific and Production Association, LLC (NPO Gidrosistemy),

The article discusses the issues of building effective automated control systems for mechanisms using a proportional-integral-differential regulator (hereinafter referred to as a PID controller) and adaptive controllers. The issues of correct application and control of the PID controller, including the task of forming a system for predicting the coefficients of the PID controller, are presented using the example of building a servo cylinder control system, that is, using the example of controlling the operation of a hydraulic system. It is shown that the most technically difficult, time-consuming and responsible stage of building an automated mechanism control system is the stage of adjusting the control action, taking into account dynamically changing input data. A control algorithm and methods for determining (selecting) coefficients are considered.

An example of a software implementation of a PID controller is presented. An automated method for setting up a PID controller based on numerical optimization methods using a mathematical model of a hydraulic drive is proposed. It is shown that the formed approach makes it possible to select optimal control parameters.

An example of a software implementation of a PID controller in an environment for developing algorithms in a high-level interpreted general-purpose programming language is considered separately. Special emphasis is placed on the development and practical testing of an automated method for selecting the coefficients of a PID controller based on a mathematical model of a hydraulic drive. The approach proposed in the article is based on the application of the optimization method (minimum search) – the Nelder-Mead simplex method.

Numerical and simulation experiments have demonstrated that the developed automated method makes it possible to find optimal or close to optimal sets of PID controller coefficients in an acceptable time, significantly improving the quality of control, stability of operation and reducing the dependence of the result on the subjective experience of the adjuster. The results obtained can be used in the design of industrial control systems with hydraulic drives, as well as in various applications.

Keywords: automation, control system, PID controller, forecasting system, servo cylinder, hydraulic system, kinematics.

Получено: 17.02.26

Образец цитирования

Колотов А. А. Разработка алгоритма автоматизированной системы настройки ПИД-регулятора сервоцилиндра на основе математической модели гидропривода // Интеллектуальные системы в производстве. 2026. Т. 24, № 1. С. 35–42. DOI: 10.22213/2410-9304-2026-1-35-42.

For Citation

Kolotov A.A. [Development of an Algorithm for an Automated Tuning System for the Pid Controller of a Servo Cylinder Based on a Mathematical Model of a Hydraulic Drive]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2026, vol. 24, no. 1, pp. 35-42 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2026-1-35-42.