

УДК 33

DOI: 10.34670/AR.2020.28.11.038

**Управление качеством переходного процесса
гидропривода с дроссельным регулированием и анализ
влияния различных регуляторов на качество**

Гонтарев Андрей Вадимович

Бакалавр,
кафедра Э10: «Гидромеханика, гидромашины и гидропневмоавтоматика»,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
105005, Российская Федерация, Москва, 2-я Бауманская ул., 5;
e-mail: avgontarevv@mail.ru

Жесткий Николай Алексеевич

Бакалавр,
кафедра Э8: «Плазменные энергетические установки»,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
105005, Российская Федерация, Москва, 2-я Бауманская ул., 5;
e-mail: nikolai.zhestkij@outlook.com

Аннотация

Объектом исследования является электрогидравлический привод с дроссельным регулированием. В работе рассматривается влияние различных типов корректирующих устройств, влияющих на динамические характеристики электрогидравлического привода с дроссельным регулированием, среди которых: обратная связь по переменным состояниям (регулятор состояния), введение дополнительной обратной связи по давлению и П-регулятор. Проведен сравнительный анализ различных типов корректирующих устройств и параметрическая оптимизация П-регулятора по критерию ИТАЕ. В ходе работы был проведен анализ трех типов регуляторов для электрогидравлических приводов, получены их динамические характеристики. Было установлено, что введение дополнительной обратной связи по давлению позволяет существенно уменьшить время переходного процесса и его колебательность, но при этом обладает наибольшей динамической ошибкой. Использование в качестве корректирующего устройства П-регулятора (без оптимизации) имеет значительные недостатки в виде большой динамической ошибки и самого большого времени переходного процесса. Оптимизация на основе интегрального критерия ИТАЕ способствует существенному уменьшению динамической ошибки - в 9,3 раза, но время переходного процесса при этом изменяется незначительно. Наилучшие показатели качества электрогидравлического привода обеспечиваются регулятором состояния. При включении в контур привода данного регулятора динамическая ошибка имеет небольшое значение, время переходного процесса по сравнению с другими типами корректирующих устройств оказалось минимальным.

Для цитирования в научных исследованиях

Гонтарев А.В., Жесткий Н.А. Управление качеством переходного процесса гидропривода с дроссельным регулированием и анализ влияния различных регуляторов на качество // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2020. Том 10. № 5А. С. 328-336. DOI: 10.34670/AR.2020.28.11.038

Ключевые слова

Гидропривод, оптимизация, обратная связь, дроссельное регулирование, математическая модель, следящий привод, динамические характеристики.

Введение

Использование параметрически оптимизированных дополнительных обратных связей, достаточно просто реализуемых с помощью специальных датчиков в конструкции, и изначального моделирования в специальных математических пакетах, ведет к заметному улучшению динамических характеристик привода, позволяя повысить его чувствительность и отклик, высокие требования к которым связаны со спецификой их работы.

Основная часть

Для составления математической модели рассмотрим динамику отдельных элементов гидропривода.

Уравнение движения поршня нагруженного гидроцилиндра [Попов, 1977, 369-370]:

$$p_H F_{ц} - (P_{тр})_{ц} - c_{св}(y - y_m) = m_{п} \frac{d^2 y}{dt^2},$$

где $p_H = p_1 - p_2$ - разность давлений в полостях гидроцилиндра под действием нагрузки.
Уравнение нагрузки на шток гидроцилиндра:

$$m \frac{d^2 y_m}{dt^2} + k_{тр} \frac{dy_m}{dt} + (c_{св} + c_H) y_m = c_{св} y.$$

В реальных системах гидроприводов зачастую присутствуют нелинейности, которые искажают характеристики элементов привода. Во избежание чрезмерного усложнения математической модели, рассмотрим только основные нелинейности, которые могут оказывать влияние на динамику процесса.

Расход жидкости Q_3 определяется расходно-перепадной характеристикой золотника, которая в общем случае нелинейно зависит от перемещения золотника x_3 и перепада давлений p_H в полостях гидроцилиндра:

$$Q_3 = Q_3(x_3, p_H) = k_3 \cdot x_3 \cdot \sqrt{\frac{p_{п} - p_{сл} - p_H \cdot \text{sign}(x_3)}{2}},$$

где $k_3' = \mu_3 \cdot \pi \cdot d_3 \cdot k_{\Pi} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}}$ – удельная (отнесенная к единице перемещения золотника)

проводимость окон золотникового распределителя.

В данной работе для оптимизации параметров обратных связей использован критерий произведения времени t и абсолютной ошибки $|e(t)|$ – *ITAE* (Integral of Time multiplied by Absolute value of Error). Он нашел широкое применение на практике благодаря обеспечению компромисса между значением перерегулирования и временем переходного процесса. Математически он вычисляется следующим образом:

$$I = \int_0^T t \cdot |e(t)| dt.$$

Поскольку интегрирование до бесконечности практически невозможно, заключается в выборе значения T достаточно большого, чтобы $e(t)$ для $t > T$ было ничтожно малым.

Рассмотрим более внимательно дополнительные обратные связи, исследуемые в данной работе.

Первый тип (регулятор состояния) основан на формировании цепей обратных связей по координатам состояния, которые придают замкнутому по положению следящему приводу желаемое расположение корней характеристического уравнения его линейной модели (полюсов передаточной функции).

Введение дополнительной обратной связи по давлению позволяет повысить коэффициент демпфирования системы с большой инерционной нагрузкой. Значительные величины давления в полостях исполнительного гидродвигателя позволяют практически реализовать обратную связь по давлению без дополнительных ступеней усиления.

Использование П-регулятора связано со способом регулирования, основанном на законе пропорционального регулирования, при котором характеристики выходного сигнала пропорциональны характеристикам входного сигнала.

Моделирование проводилось в программном пакете MATLAB Simulink на основе классической модели линейной системы электрогидравлического привода [Попов, 1990, 13]. Были созданы следующие структурные схемы (см. рисунок 1, рисунок 2 и рисунок 3).

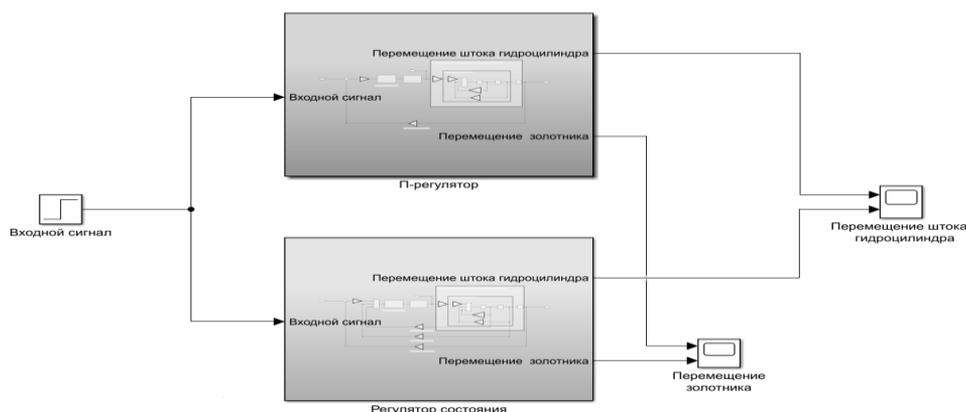


Рисунок 1 - Общий вид структурной схемы сравнения П-регулятора и регулятора состояния

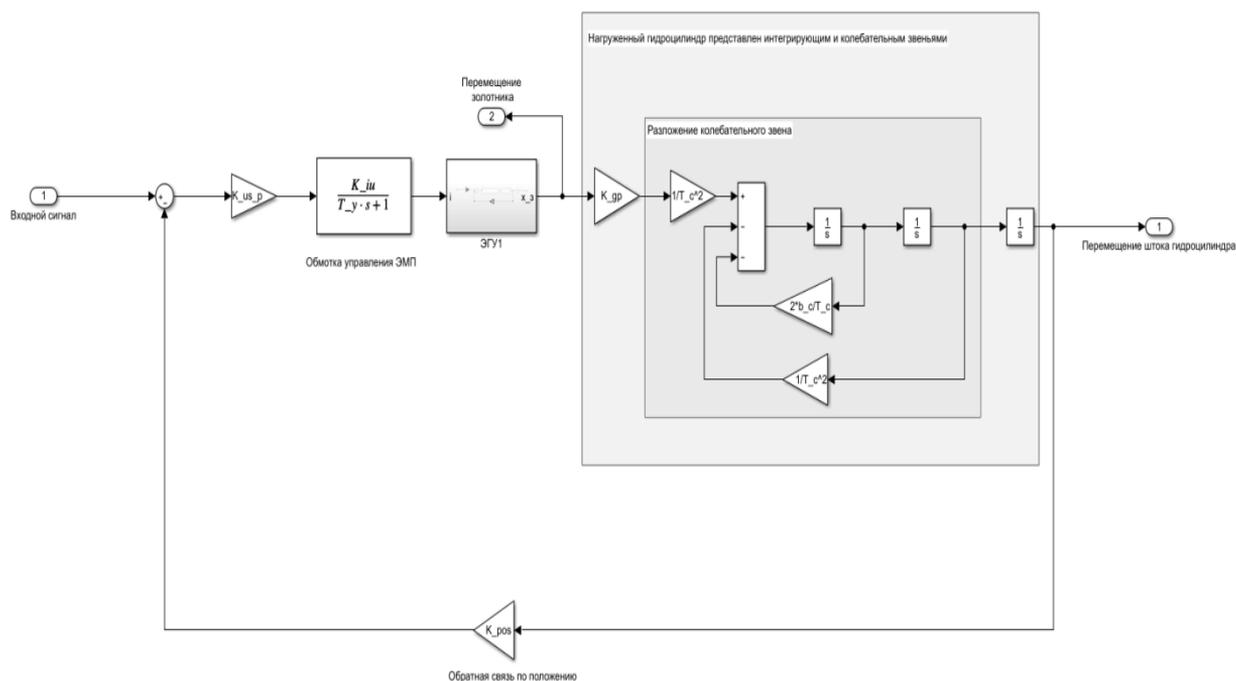


Рисунок 2 - Структурная схема линейной модели с обратной связью по положению штока ГЦ (П-регулятор)

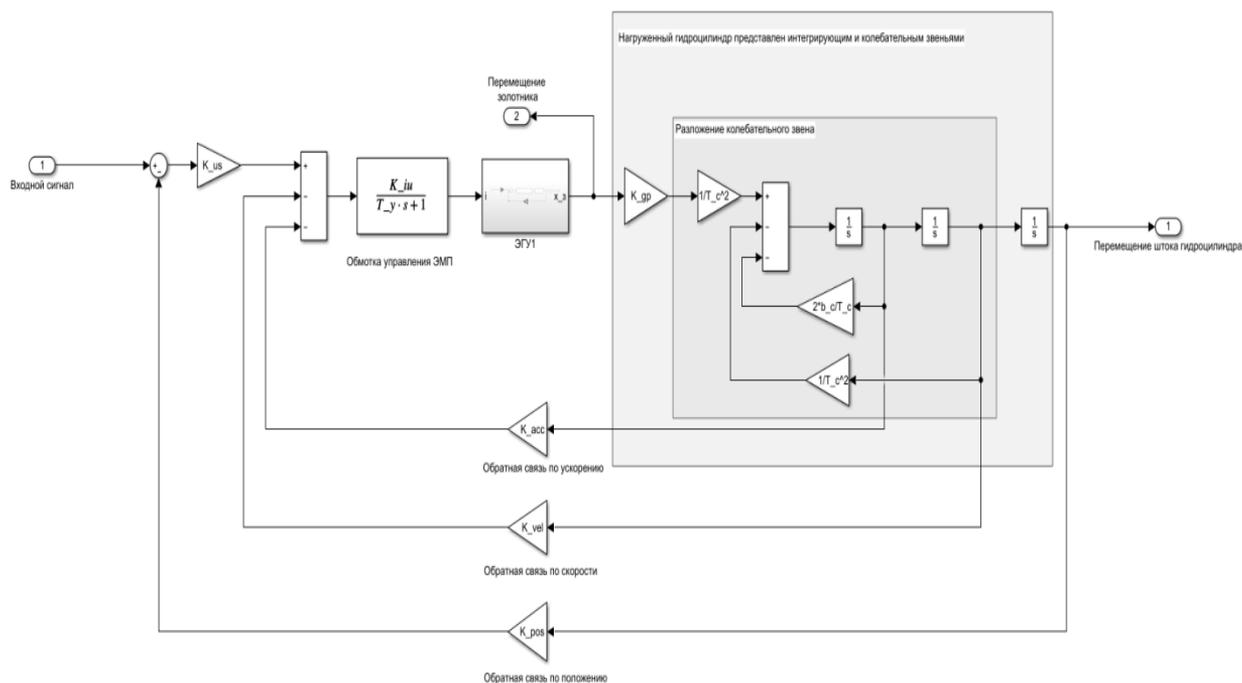


Рисунок 3 - Структурная схема линейной модели с обратными связями по ускорению, скорости и положению штока ГЦ (регулятор состояния)

Были получены следующие графики переходных процессов (см. рисунок 4):

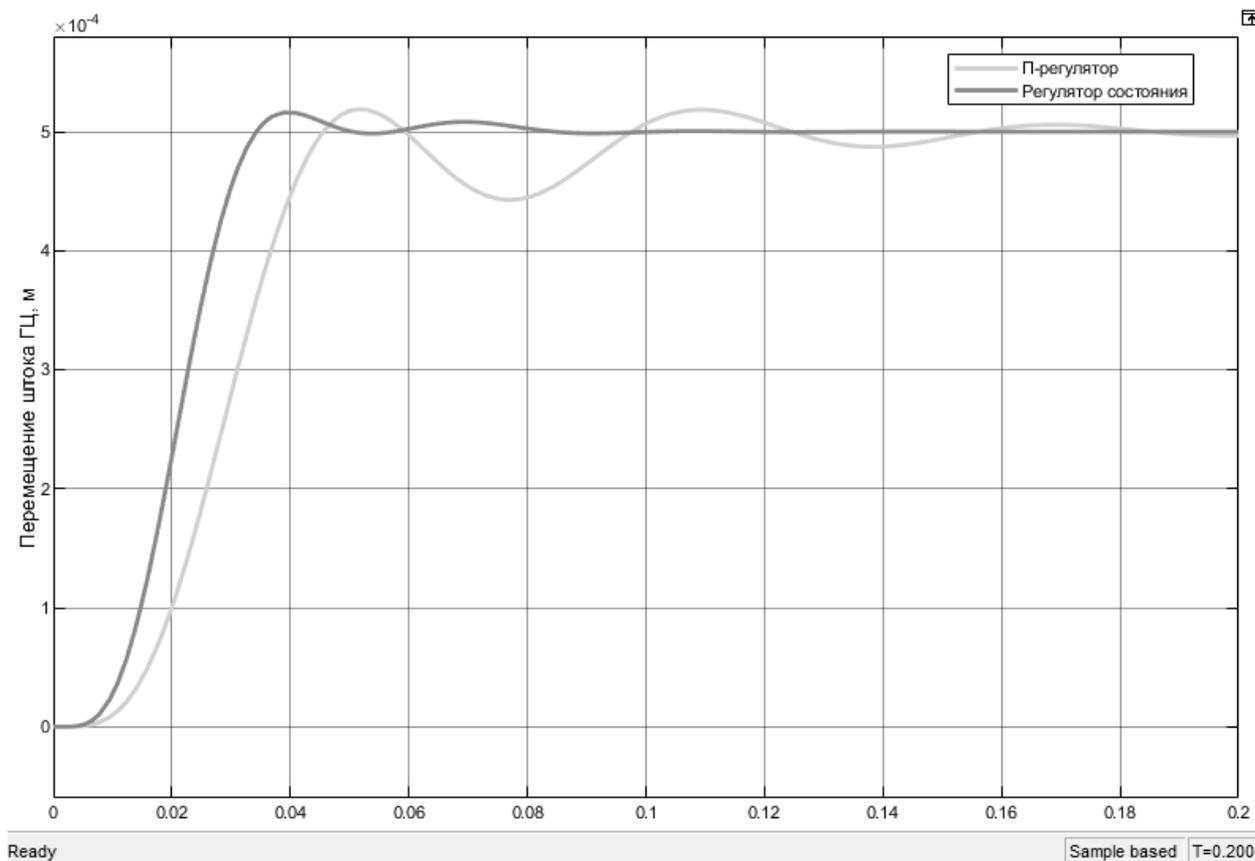


Рисунок 4 - Переходный процесс системы с П-регулятором (желтый) и с регулятором состояния (синий)

Критерии, оценивающие качество переходных процессов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Оценка качества полученных переходных процессов

	Динамическая ошибка	Время переходного процесса
Вид регулятора	$\sigma, \%$	$t_{п.п.}, c$
П-регулятор	3,81	0,145
Регулятор состояния	3,28	0,0445

Далее, учитывая в математической модели, что расходно-перепадная характеристика золотника является естественно нелинейной [3, с. 18], исследуем влияние различных типов корректирующих устройств на переходный процесс системы (см. рисунок 5).

Численные значения результатов математического моделирования приводов с различными типами корректирующих устройств представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Оценка качества переходных процессов для различных типов корректирующих устройств

	Динамическая ошибка	Время переходного процесса	Коэффициент регулирования (усиления)
Вид регулятора	$\sigma, \%$	$t_{п.п.}, c$	K_{yc}
Регулятор состояния	1,01	0,0396	3,0071
П-регулятор	5,2	0,144	1,39

	Динамическая ошибка	Время переходного процесса	Коэффициент регулирования (усиления)
Оптимизированный П-регулятор	0,559	0,0986	1,1738
Обратная связь по перепаду давления	6,0	0,071	1,58

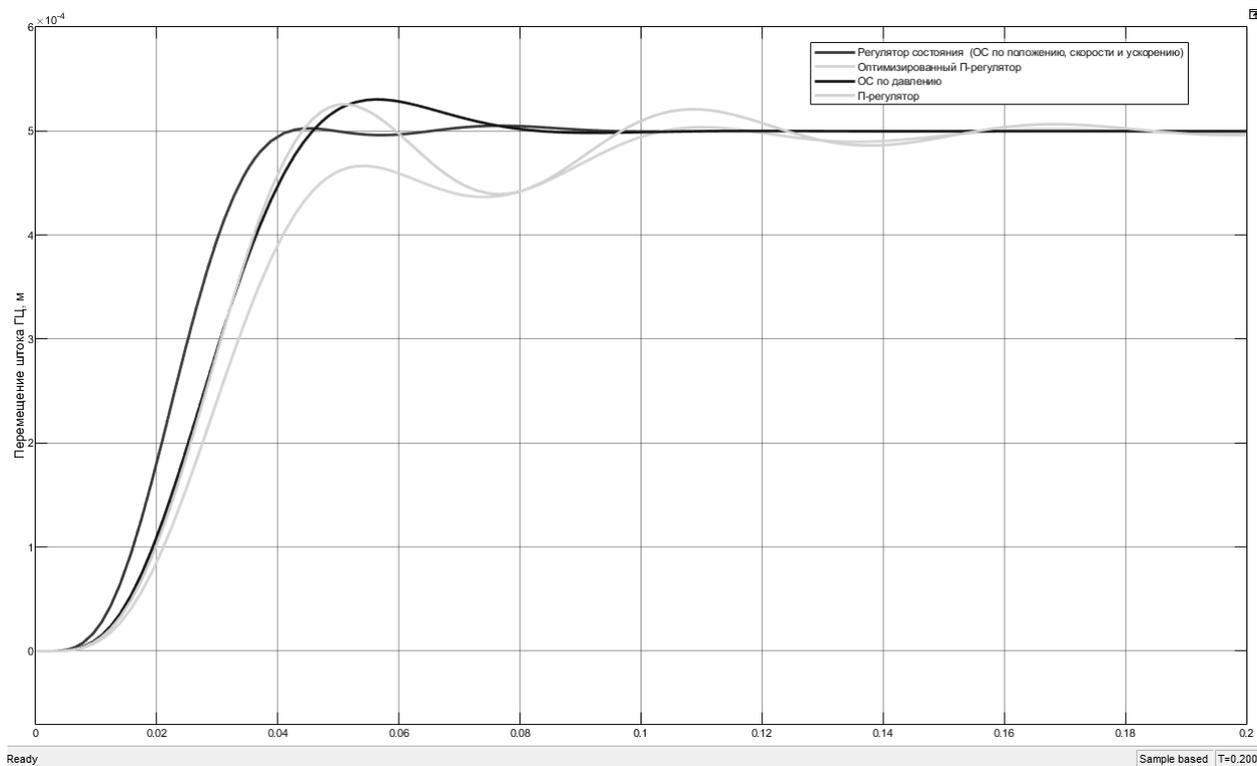


Рисунок - 5 Переходные процессы систем с различными видами корректирующих устройств

Используя критерий ИТАЕ, структурная схема которого показана на рисунках 6 и 7, были получены оптимальные значения коэффициентов обратной связи по скорости (6,6711), по ускорению (0,07552) и по перепаду давления ($2 \cdot 10^{-8}$).

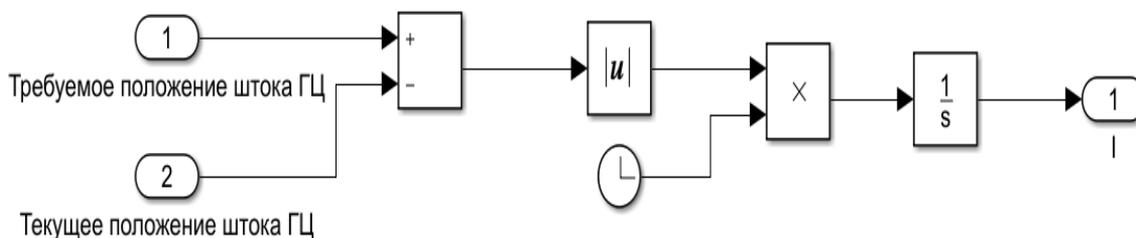


Рисунок 6 - Структурная схема вычисления ИТАЕ

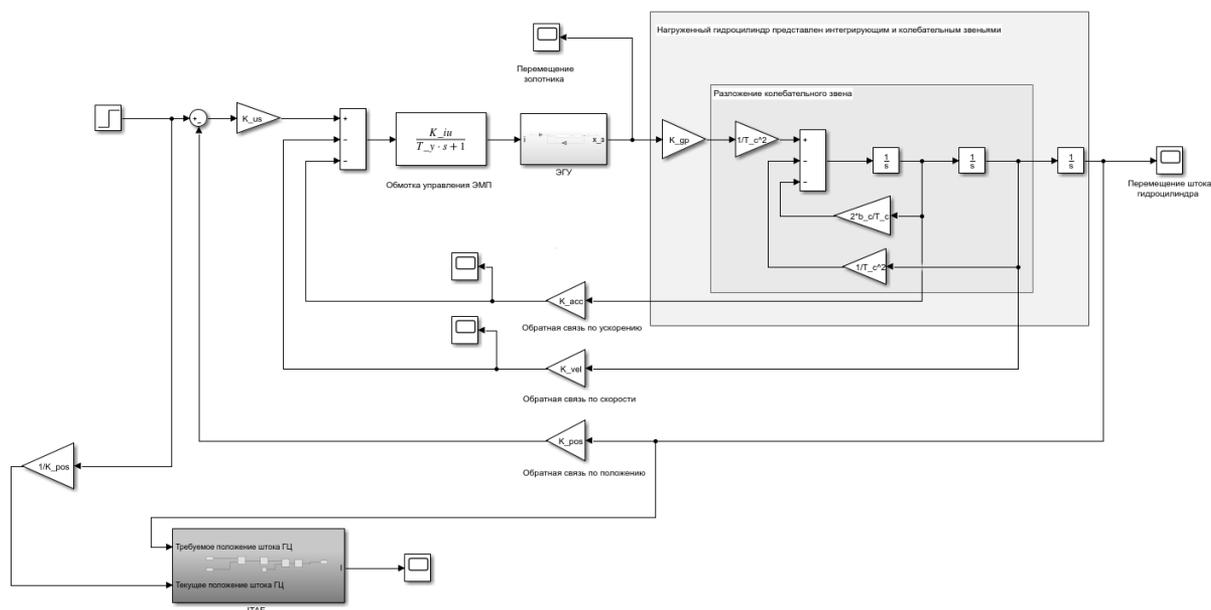


Рисунок 7 - Структурная схема гидропривода с вычислением ИТАЕ

Одним из важнейших экономических параметров, определяющих рыночную стратегию позиционирования продукции, является отношение «цена/качество». При этом, нижняя граница цены реализации продукции обусловлена его себестоимостью и может быть определена на основе функционально-стоимостного анализа, рассмотренного автором в статье. Для оценки параметра «качество» в данной статье рассматривается подход на основе «управления качеством».

Эволюция развития подхода от управления качеством продукции — до всеобщего управления качеством деятельности организации предполагает создание и обеспечение результативного функционирования системы качества, включающей необходимые организационную структуру, процедуры, процессы и ресурсы.

Общие требования к созданию системы менеджмента качества (СМК) описаны в стандарте, а рекомендации по ее развитию (для достижения устойчивого успеха деятельности) — в стандарте. В соответствии с СМК может быть определена как совокупность взаимосвязанных или взаимодействующих элементов организации для разработки политик и целей, а также процессов для достижения целей в области качества. Формализованная СМК создает основу для планирования, выполнения, мониторинга и улучшения деятельности по менеджменту качества.

Заключение

Предложенные автором модель процесса «Управление качеством» и структура Паспорта аудита, содержащая требования и рекомендации стандартов по СМК, позволят определить и поддерживать необходимые компетенции участников процесса (аудита качества) и других заинтересованных сторон. Применение системы «Business Studio» позволит осуществлять регулярную деятельность по анализу и предупреждению несоответствий, поддержанию и развитию требуемых компетенции аудиторов качества, а также осуществлять регулярный мониторинг и оценку результативности выполнения мероприятий по устранению несоответствий и улучшению СМК.

Библиография

1. Попов, Д.Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем: учебник для машиностроительных вузов / Д.Н. Попов. – М. : Машиностроение, 1977.
2. Попов, Д.Н. Расчет и проектирование следящего электрогидравлического привода с дроссельным регулированием: Учеб. пособие по курсу «Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем». – М.: Изд-во МГТУ, 1990.
3. Фомичев В.М. Проектирование гидравлических усилителей следящих приводов: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2009.
4. Могилко Д.Ю. «Функционально-стоимостной анализ бизнес-процессов». — «Менеджмент качества», Издательский дом «Гребенников». — № 2, 2019, с.90–102.
5. ИСО 9004-1-94: «Управление качеством и элементы системы качества. Часть 1. Руководящие указания».
6. ГОСТ Р ИСО 9001–2015: «Системы менеджмента качества. Требования».
7. ГОСТ Р ИСО 9004–2019: «Менеджмент качества. Качество организации. Руководство по достижению устойчивого успеха организации».
8. ГОСТ Р ИСО 9000–2015: «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь».

Quality management of the transition process of a hydraulic drive with throttle control and analysis of the influence of various regulators on quality

Andrei V. Gontarev

Bachelor's degree,
Department E10: “Hydro-Mechanics, hydraulic machines and hydropneumautomatics”,
Bauman Moscow State Technical University,
105005, 1, 5, Vtoraya Baumanskaya str., Moscow, Russian Federation;
e-mail: avgontarevv@mail.ru

Nikolai A. Zhestkii

Bachelor's degree,
Department E8: “Plasma power plants”,
Bauman Moscow State Technical University,
105005, 1, 5, Vtoraya Baumanskaya str., Moscow, Russian Federation;
e-mail: nikolai.zhestkij@outlook.com

Abstract

The object of research is an electrohydraulic drive with throttle control. The paper considers the influence of various types of corrective devices that affect the dynamic characteristics of an electrohydraulic drive with throttle control, including: feedback on state variables (state controller), the introduction of additional feedback on pressure and P-regulator. A comparative analysis of various types of corrective devices and parametric optimization of the P-regulator according to THE itae criterion is carried out. In the course of the work, three types of regulators for electrohydraulic drives were analyzed and their dynamic characteristics were obtained. It was found that the introduction of additional pressure feedback can significantly reduce the transition time and its oscillation, but at the same time has the greatest dynamic error. Using a P-controller as a corrective device (without optimization) has significant disadvantages in the form of a large dynamic error and

the longest transition time. Optimization based on the itae integral criterion significantly reduces the dynamic error by 9.3 times, but the transition time does not change significantly. The best quality indicators of the electrohydraulic drive are provided by the state controller. When this controller is included in the drive loop, the dynamic error is of small value, and the transition time is minimal compared to other types of correction devices.

For citation

Gontarev A.V., Zhestkii N.A. (2020) Upravlenie kachestvom perekhodnogo protsessa gidroprivoda s drossel'nym regulirovaniem i analiz vliyaniya razlichnykh regulyatorov na kachestvo [Quality management of the transition process of a hydraulic drive with throttle control and analysis of the influence of various regulators on quality]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 10 (5A), pp. 328-336. DOI: 10.34670/AR.2020.28.11.038

Keywords

Hydraulic drive, optimization, feedback, throttle control, mathematical model, tracking drive, dynamic characteristics.

References

1. Popov, D. N. Dynamics and regulation of hydro-and pneumatic systems: textbook for engineering universities / D. N. Popov. - M.: mechanical engineering, 1977.
2. Popov, D. N. Calculation and design of a tracking electrohydraulic drive with throttle regulation: Textbook for the course "Dynamics and regulation of hydro-and pneumatic systems". - Moscow: MSTU Publishing house, 1990.
3. Fomichev V. M. Design of hydraulic amplifiers of tracking drives: Textbook. - M.: Publishing house of the Bauman Moscow state technical University, 2009.
4. Mogilko D. Yu. "Functional and cost analysis of business processes". — "Quality management", publishing house "Grebennikov". — No. 2, 2019, pp. 90-102.
5. ISO 9004-1-94: "quality Management and quality system elements. Part 1. Guidelines".
6. GOST R ISO 9001-2015: "quality management Systems. Requirements».
7. GOST R ISO 9004-2019: "quality Management. Quality of the organization. A guide to achieving the organization's sustainable success."
8. GOST R ISO 9000-2015: "quality management Systems. Basic provisions and dictionary".