

УДК 621.757(045)

DOI 10.22213/2410-9304-2018-1-67-71

Б. Салама, аспирант
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛЯТОРОМ ДАВЛЕНИЯ МАСЛА ДЛЯ ГИДРОПРЕССОВОЙ СБОРКИ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ

В статье рассматривается система автоматического управления регулятором давления масла на основе пропорционального регулятора, а также ее функциональная схема, составленная в соответствии с исходными данными об используемом технологическом оборудовании в исследуемом регуляторе давления и алгоритм управления данным регулятором. Приведены результаты тестовых испытаний регулятора давления с предлагаемым алгоритмом управления с целью определения оптимальных границ зоны нечувствительности (область, в которой изменения регулируемого давления не вызывают действия регулятора) исходя из стабильности работы системы с минимальной статической ошибкой. Предложенная система управления позволяет регулятору давления обеспечивать поддержание величины давления масла в требуемом диапазоне. Процесс автоматизированной гидропрессовой сборки гарантированно осуществляется в режиме жидкостного трения, реализуя достоинства технологии, а именно, сохранность сопрягаемых поверхностей и прочность соединения.

Ключевые слова: гидропрессовая сборка, регулятор давления масла, гидроаккумулятор, П-регулятор, зона нечувствительности, силовой мехатронный механизм, статическая ошибка.

Особенностью технологической схемы подвода масла с торца соединения является избыточный объем масла, образующийся во время запрессовки, что требует регулирования параметров процесса сборки. Одним из путей решения проблемы является использо-

вание регуляторов давления масла. В статье [1] были приведены кинематическая схема и конструкция такого регулятора. Для обеспечения заданных параметров технологического процесса сборки требуется разработка системы автоматического управления (рис. 1).

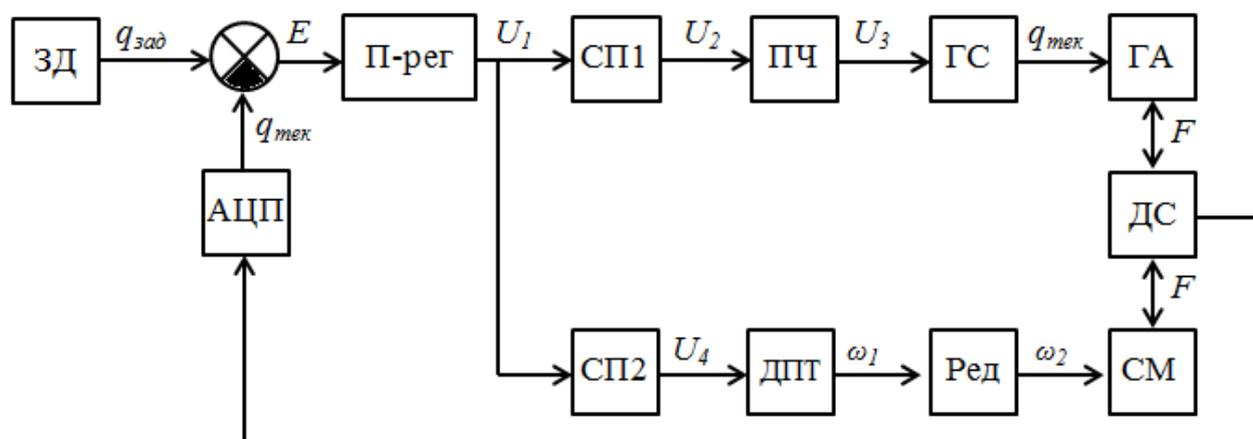


Рис. 1. Функциональная схема системы автоматического управления регулятором давления масла: ЗД – задание давления; П-рег – пропорциональный регулятор; СП1, СП2 – силовой преобразователь для преобразователя частоты и двигателя силового механизма соответственно; ПЧ – преобразователь частоты; ГС – гидростанция; ГА – гидроаккумулятор; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ДС – датчик силы; ДПТ – двигатель постоянного тока; Ред – двухступенчатый редуктор; СМ – силовой механизм; $q_{зад}$ – заданное давление; $q_{тек}$ – текущее давление; E – ошибка рассогласования; U_1 – управляющее воздействие П-регулятора; U_2 , U_4 – управляющее воздействие СП1, СП2 соответственно; U_3 – управляющее воздействие ПЧ; ω_1 – угловая скорость двигателя; ω_2 – угловая скорость редуктора; F – сила, создаваемая плунжером под давлением масла

Это позволит учесть влияние изменяющихся факторов, таких как длина запрессовки и натяг соединения [2].

Система автоматического управления основана на пропорциональном регуляторе (П-регулятор), обеспечивающем высокое быстродействие (малое время регулирования t_p) и устойчивость процесса регулирования. Однако наряду с очевидными досто-

инствами П-регулятор обладает некоторыми недостатками, одним из которых является наличие статической ошибки, что может снизить точность регулирования.

Алгоритм управления регулятором давления, учитывающий диапазон зоны нечувствительности системы, представлен на рис. 2.

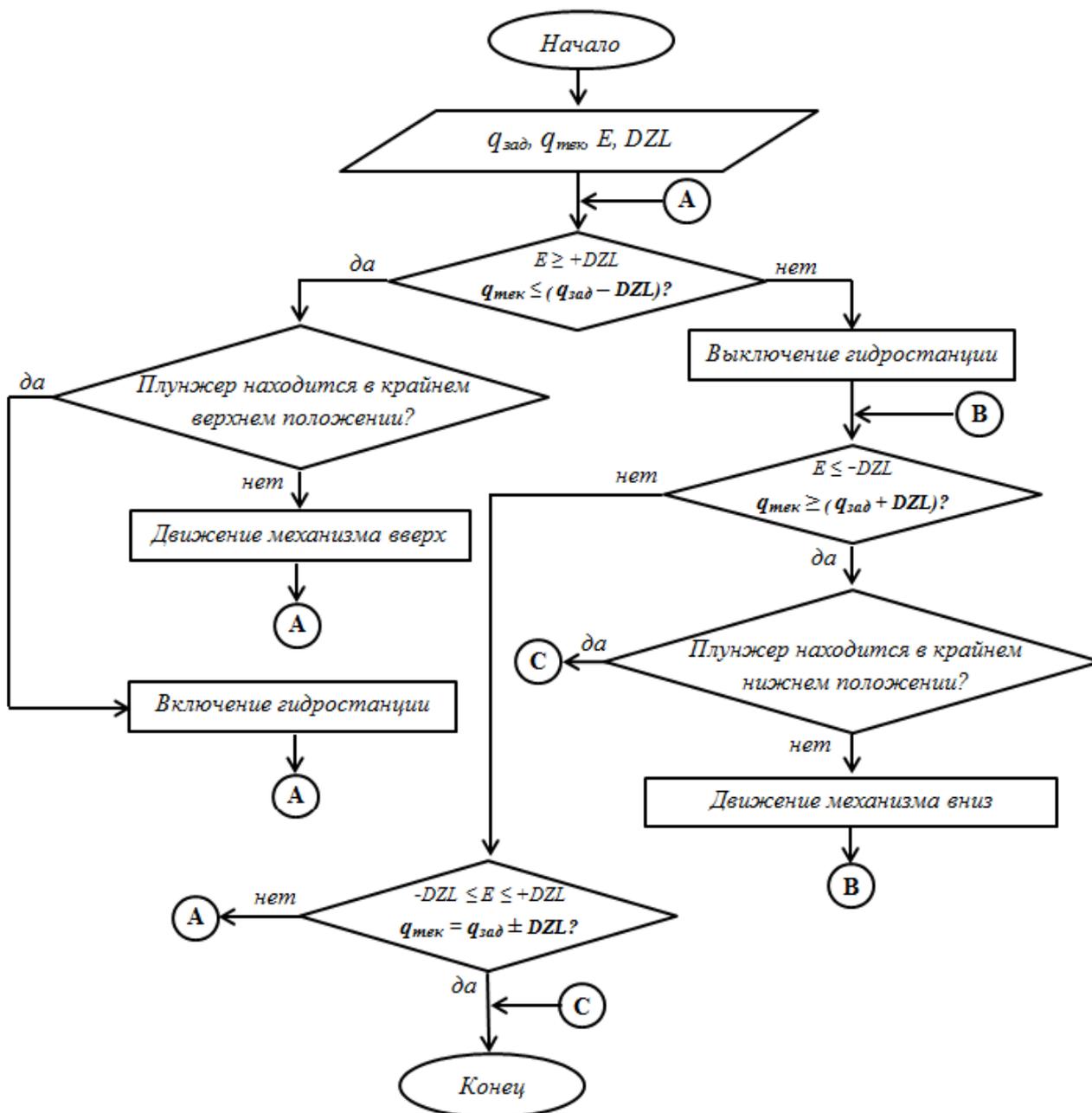


Рис. 2. Алгоритм управления регулятором давления масла: $q_{зад}$ – заданное давление; $q_{тек}$ – текущее давление; E – ошибка рассогласования; DZL – граница зоны нечувствительности

При работе регулятора в автоматическом режиме задается значение давления, которое необходимо поддерживать. Зона нечувствительности установлена для подавления колебаний системы, вызванных прерывистой подачей масла в систему. Заданное давление сравнивается с текущим давлением для вычисления ошибки $E = q_{\text{зад}} - q_{\text{тек}}$, на основе которой вычисляется управляющее воздействие, учитывающее зону нечувствительности следующим образом:

- При $q_{\text{тек}} \leq (q_{\text{зад}} - DZL)$ система управления компенсирует рассогласование по давлению поступательным движением силового механизма вверх, пока плунжер не находится в крайнем верхнем положении, после чего включается гидростанция. Данный способ регулирования давления снижает энергозатраты на включение гидростанции при малых отклонениях от заданного давления и позволяет исключить скачкообразное повышение давления масла. Повышение давления продолжается пока условие $E \geq +DZL$ истинно.

- При $q_{\text{тек}} \geq (q_{\text{зад}} + DZL)$ система управления снижает давление поступательным движением силового механизма вниз. Понижение давления продолжается пока условие $E \leq -DZL$ истинно и плунжер не дошел до крайнего нижнего положения.

- При $q_{\text{тек}} = q_{\text{зад}} \pm DZL$ ошибка E находится в зоне нечувствительности ($-DZL \leq E \leq +DZL$) и система управления выключает гидростанцию и питание двигателя силового механизма.

Для оценки работы системы автоматического управления с предлагаемым алгоритмом управления проводились тестовые испытания с разными границами зоны нечувствительности (DZL принимает значения 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10 МПа) и при технологических параметрах, приведенных в табл. 1.

Таблица 1. Технологические параметры экспериментов

Параметр	Значение	Единица измерения
Заданное давление $q_{\text{зад}}$	100	МПа
Температура масла T_m	20	°С
Вязкость масла (И-20)	25–35	мм ² /с

Величина давления масла задавалась исходя из условий обеспечения режима жидкостного трения и невозникновения пластических деформаций в образцах при гидропрессовой сборке.

Коэффициент усиления П-регулятора вычислялся методом Циглера – Никольса и составляет $K_{\text{П}} = 7$.

Результаты экспериментального исследования работы САУ-регулятором давления с разными границами зоны нечувствительности представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты экспериментальных исследований САУ

DZL, МПа	0	1	2	3	4	5	10
Статическая ошибка, %	10	6	5	7	9	11	21

Из табл. 2 следует, что при $DZL = 2$ МПа зафиксирована минимальная статическая ошибка, но при этом наблюдалась неустойчивость работы регулятора, так как постоянно работала гидростанция для компенсации утечек, что приводило к перерегулированию и, соответственно, к постоянной работе силового механизма для устранения вызванного отклонения. При $DZL = 3$ МПа регулятор работал стабильно с малой статической ошибкой, о чем свидетельствует график давления, приведенный на рис. 3. Регулятор продолжал работать стабильно при значениях $DZL = 4, 5$ и 10 МПа, но с большей статической ошибкой (ошибка находилась в зоне с расширенным диапазоном нечувствительности).

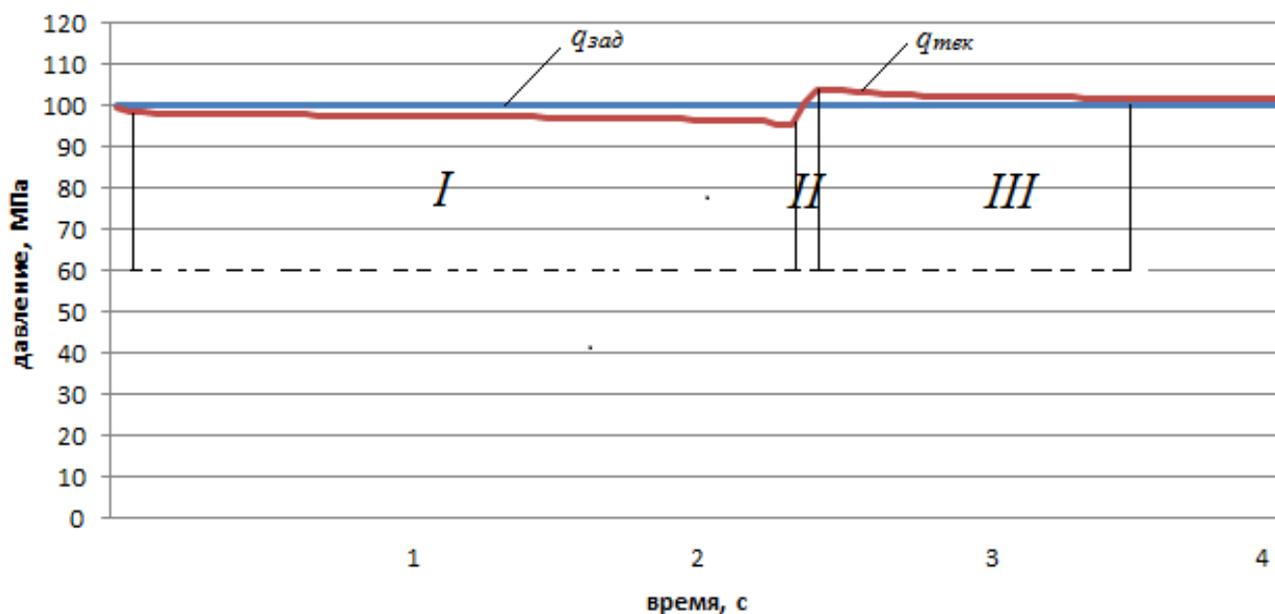


Рис. 3. График зависимости давления от времени

Из графика (рис. 3) следует, что регулятор с данной системой управления поддерживает давление масла в заданных пределах 100 ± 3 МПа. Падение давления на первом (I) участке обусловлено утечками масла в системе. Градиент роста давления на втором участке (II) связан с быстроедействием исполнительного силового механизма. Падение давления на третьем участке (III) аналогично по характеру первому участку, что свидетельствует о стабильности работы регулятора.

Полученные результаты тестовых экспериментов удовлетворяют требованиям гидропрессовой сборки. Система автоматического управления с П-регулятором обеспечивает поддержание давления в заданном диапазоне ± 3 МПа. Статическая ошибка не превышает 7 %, что обеспечивает режим жидкостного трения и невозникновение пластических деформаций в образцах при автоматизированной гидропрессовой сборке. В случае повышения требований к качеству регулирования рекомендуется использование пропорциональных интегрально-дифференциальных либо нечетких регуляторов.

Библиографические ссылки

1. Автоматизированный регулятор избыточного объема масла для гидропрессовой сборки / И. В. Абрамов, А. И. Абрамов, С. Башар, А. В. Романов // Интеллектуальные системы в производстве. 2017. Т. 15. № 2. С. 10–13. ISSN 1813-7911.
2. Абрамов А. И., Абрамов И. В., Романов А. В. Научно-технические аспекты автоматизации гидропрессовой сборки соединения с натягом // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2013. № 1. С. 16–18.

References

1. Abramov I. V., Abramov A. I., Bashar S., Romanov A. V. (2017). *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve* [Intelligent systems in production], vol. 15, no. 2, pp. 10-13 (in Russ.).
2. Abramov A. I., Abramov I. V., Romanov A. V. (2013). *Sborka v mashinostroenii, priborostroenii* [Assembly in mechanical engineering, instrument making], no. 1, pp. 16-18 (in Russ.).

* * *

Bashar Salama, PhD student, Kalashnikov ISTU

Automatic Control System of an Oil Pressure Regulator for Hydraulic Press Assembly of Interference Fits

In this paper a proportional regulator based automatic control system of an oil pressure regulator is presented. The functional diagram, compiled according to the initial data about the technological equipment used in the studied pressure regulator and the regulator control flow chart is also presented. The results of experimental tests of the pressure regulator using the proposed control algorithm performed to determine the optimum boundaries of the dead zone (the region in which changes in the controlled pressure do not cause any regulating action) based on the stability of the system with a minimum static error are given. The proposed control system allows the pressure regulator to maintain the value of the oil pressure in the required range. The process of automated hydraulic press assembly is guaranteed to be carried out in the mode of liquid friction, realizing the advantages of this technology, namely, the preservation of the mating surfaces and the strength of the connection.

Keywords: hydraulic press assembly, oil pressure regulator, hydraulic accumulator, P-regulator, dead zone, power mechatronic mechanism, static error.

Получено: 20.02.18