

УДК 621.866-82

Повышение безопасности самоподъемного технологического оборудования на основе анализа несинхронности работы гидропривода

Крупенин Федор Романович,
аспирант

theoharicot@yandex.ru
SPIN-код: 4257-0412

Куракина Елена Владимировна,
заведующая кафедрой, д-р техн. наук, доцент

elvL86@mail.ru
SPIN-код: 1437-4573

Кафедра наземных транспортно-технологических машин,
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Рассмотрена эффективность системы синхронизации гидропривода самоподъемного оборудования с последовательным подключением делителей потока. Представлены результаты экспериментов, количественно подтвердившие зависимость синхронности работы от качества делителя потока. Показана несинхронная работа гидравлической системы синхронизации с элементом, невыполняющим свои функции. Сделан вывод, что для улучшения безопасности необходима внешняя система контроля и управления гидроприводом. Предложено применять автоматизированную систему контроля за положением штоков цилиндров для предотвращения перекосов платформы и снижения затрат человеческих ресурсов при работе с самоподъемным оборудованием.

Ключевые слова: гидропривод, гидроцилиндр, синхронизация, делитель потока, самоподъемные системы, подъемное оборудование

Improving the safety of self-climbing technological equipment based on the analysis of the hydraulic drive's non-synchronous operation

Krupenin Fedor Romanovich,
Graduate Student

theoharicot@yandex.ru
SPIN-code: 4257-0412

Kurakina Elena Vladimirovna,
Head of the Department,
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

elvL86@mail.ru
SPIN-code: 1437-4573

Department of Land Transport and Technological Machines,
St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU), St. Petersburg, Russia

Abstract. The article discusses the effectiveness of a synchronization system for self-climbing equipment with a series of flow dividers. The results of experiments are presented, which quantitatively confirm the dependence of synchronization on the quality of the flow

divider. The article demonstrates the unreliability of a hydraulic synchronization system with an element that fails to perform its functions. It is concluded that an external control and management system for the hydraulic drive is necessary to improve safety. The article suggests using an automated system for monitoring the position of the cylinder rods to prevent platform distortion and reduce human resources required for self-lifting equipment.

Keywords: hydraulic fluid power, hydraulic cylinder, synchronization, flow dividing valve, self-climbing systems, lifting equipment

Введение. Самоподъемные опалубочные комплексы являются одним из современных видов оборудования для высотного строительства, позволяющего повысить темпы возведения здания. Основой таких комплексов является гидропривод, обеспечивающий подъем и точное позиционирование всей самоподъемной системы [1]. Важным требованием к такой системе является синхронность перемещения штоков всех гидроцилиндров [2].

Наиболее распространенным техническим решением для синхронизации движения штоков является использование дроссельных делителей потока [3]. В связи с тем, что в системе одновременно могут работать более двух цилиндров, гидравлическая система выполняется по принципу последовательного подключения делителей, при котором поток из первого делителя разделяется на два последующих делителя с меньшим диапазоном работы. Использование данного типа делителей отличается простотой и низкой стоимостью, однако синхронная работа гидропривода в большой степени зависит от качества и характеристик отдельных гидравлических элементов, а также их состояния и условий эксплуатации [4].

Целью данной работы является экспериментальное исследование синхронной работы описываемой системы синхронизации на примере стенда, имитирующего принцип работы самоподъемной платформы, и обоснование необходимости внедрения внешней системы контроля и управления для повышения безопасности и автоматизации процесса подъема

Материалы и методы. Экспериментальное исследование проводилось на специально разработанном стенде, представляющем собой металлическую платформу, установленную на четырех гидроцилиндрах двухстороннего действия. Гидравлическая схема синхронизации выполнена по принципу последовательного подключения дроссельных делителей потока. Рабочая жидкость от насоса поступает к первому делителю потока, выходные каналы которого соединяются с входными каналами двух малых делителей потока, к которым подсоединены поршневые полости четырех гидроцилиндров (рис. 1).

В качестве независимой переменной выступает тип главного делителя потока. Для первого эксперимента использовался делитель потока производителя «А», для второго — типа «Б».

Прочие параметры системы остаются неизменными. В ходе эксперимента варьировались:

- 1) частота питающего тока и, как следствие, расход жидкости, подаваемой в систему;

2) распределение нагрузки по поверхности подъемной платформы для создания разности давлений в линиях гидросистемы.

Измерение положения штоков всех четырех гидроцилиндров осуществляется с помощью тросовых датчиков линейных перемещений, закрепленных на корпусе гидроцилиндров. Тросы датчиков закрепляются к проушине на штоке. Выходы датчиков подключаются к программируемой панели, позволяющей записывать результаты измерений и преобразовывать их в табличные значения.

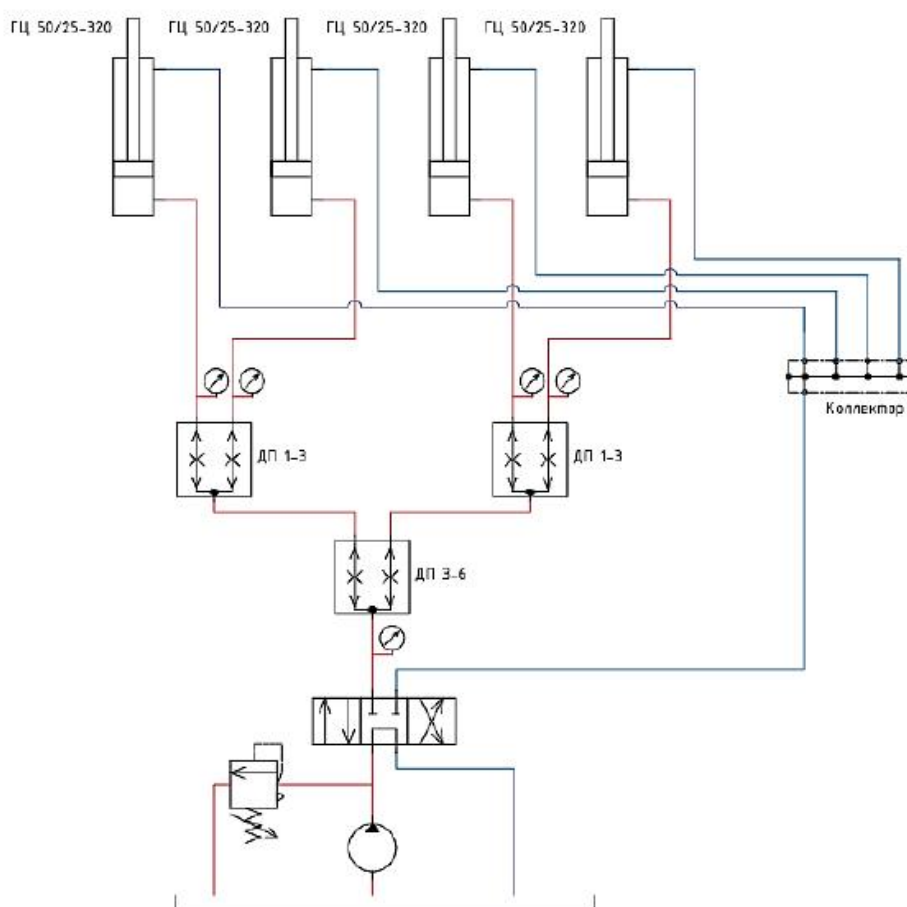


Рис. 1. Гидравлическая схема станка

Результаты. В качестве оценки синхронности работы используется показатель несинхронности K_n , который выражается в следующем виде:

$$K_n = \frac{L_{\max,i} - L_{\min,i}}{L_{i,cp}} \times 100\%,$$

где $L_{\max,i}$; $L_{\min,i}$ — максимальное и минимальное из значений перемещений штоков среди всех цилиндров за определенное время измерения, мм; $L_{i,cp}$ — среднеарифметическое из значений перемещений всех штоков за определенное время измерения, мм.

Данный показатель демонстрирует рассогласование в работе гидроцилиндров. Экспериментальные исследования были проведены при частоте питающего тока 50 Гц для обеспечения максимального расхода в гидросистеме и наглядности результатов при нагружении только одной стороны платформы. Показатель несинхронности K_n рассчитывался для значений перемещений штоков в тот момент, когда один из штоков достигает контрольной отметки в 300 мм.

Результаты эксперимента №1 с делителем потока производителя «А» продемонстрировали значительную несинхронность (рис. 2). Шток гидроцилиндра №3 первым достиг отметки 300 мм за 23,2 с от начала подъема. Результаты по перемещениям штоков остальных цилиндров и показателю несинхронности представлены в таблице.

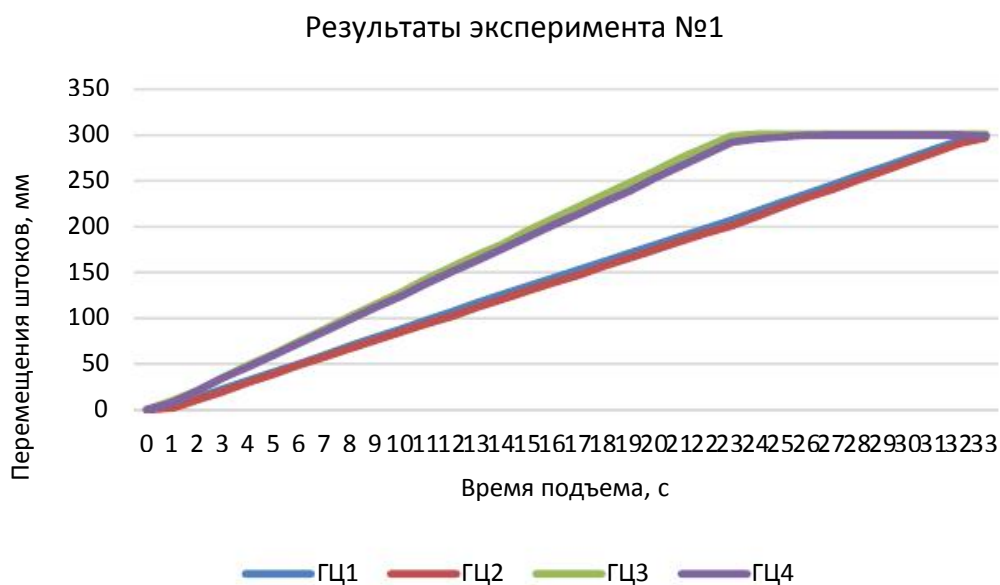


Рис. 2. Результаты эксперимента №1

Полученное значение $K_n = 38,6$ свидетельствует о неудовлетворительной работе системы синхронизации. Максимальное отставание наиболее запаздывающего штока от лидирующего составило 97 мм, что визуально наблюдалось как существенный перекося платформы.

Результаты эксперимента №2 с делителем потока производителя «Б» показали принципиально иной результат (рис. 3). Шток цилиндра №3 также первым достиг отметки 300 мм, но время, за которое она была достигнута, составило 27,3 с, что указывает на разницу в характеристиках делителей потока различных производителей. Сводные данные по эксперименту №2 также приведены в таблице.

Полученное значение показателя несинхронности $K_n = 1,34$ подтверждает высокую степень синхронности движения штоков. Максимальная ошибка по перемещению в контрольный момент времени составила 4 мм, что не привело к значительному перекося подъемной платформы стенда.

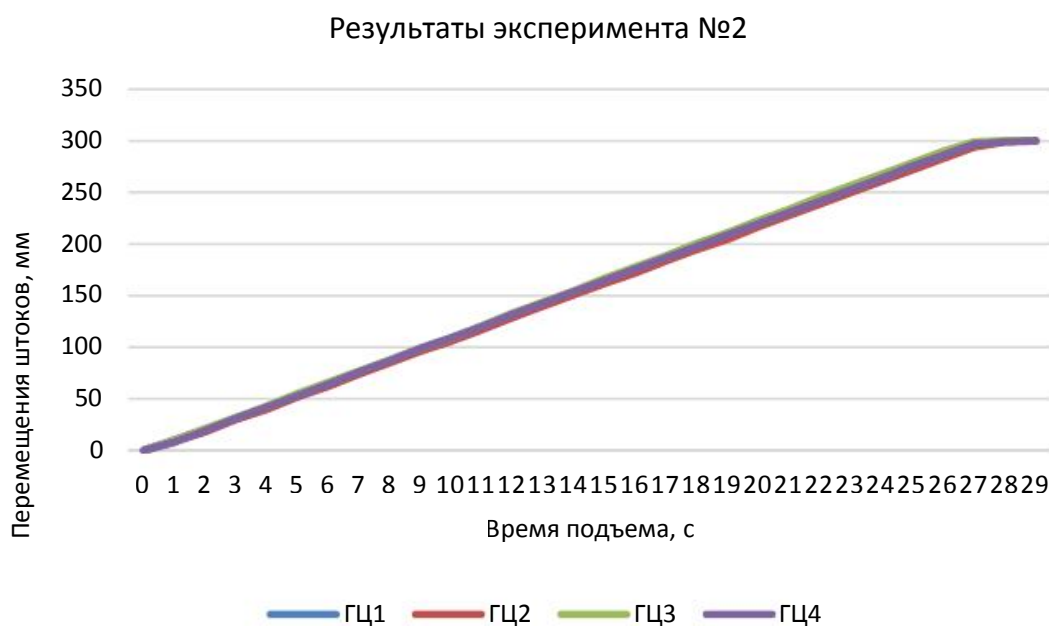


Рис. 3. Результаты эксперимента № 2

Результаты экспериментов

Номер эксперимента	Время подъема, с	Положение штоков, мм				$L_{\max}$, мм	$L_{\min}$, мм	$L_{\text{ср}}$, мм	K_w , %
		ГЦ1	ГЦ2	ГЦ3	ГЦ4				
1	23,2	209	203	300	293	300	203	251,25	38,6
2	27,3	297	296	300	298	300	296	297,75	1,34

Обсуждение. Полученные результаты наглядно демонстрируют, что синхронная работа гидропривода самоподъемной системы зависит от делителей потока, входящих в состав гидравлической схемы. Делитель производителя «А» не обеспечил заявленных характеристик в условиях меняющихся факторов нагрузки и расхода, что привело к значительной несинхронности.

В то же время, даже использование более качественного делителя потока не снимает всех рисков, поскольку в процессе эксплуатации возможно влияние следующих факторов:

Износ плунжеров и корпуса делителя, ведущий к увеличению внутренних утечек и росту несинхронности [5];

Засорения, изменяющие гидравлические сопротивления каналов;

Ошибки при монтаже или обслуживании гидросистемы, например, попадание загрязнений в соединения гидравлических элементов.

Любая из данных причин может вывести гидравлическую систему синхронизации из строя. В условиях строительной площадки это создает угрозу возникновения аварийной ситуации: заклинивание конструкций платформы при движении, разрушение или значительные деформации конструкций, раз-

рушения объекта строительства вследствие перераспределения нагрузок на опорные точки, разрушение перемещаемого груза.

Предлагаемое решение данной проблемы — внедрение в конструкцию самоподъемного оборудования внешней системы контроля и управления на основе программируемого логического контроллера и датчиков положения, позволяющей осуществлять контроль за величиной перемещения штоков всех гидроцилиндров, сравнивать значения между собой и при наличии критической ошибки по перемещению осуществлять управление цилиндрами включая или отключая их. Данное решение не только предотвратит аварийные ситуации, но и позволит вести автоматический подъем без постоянного контроля оператора, а значит снижать затраты человеческих ресурсов при работе с такого рода оборудованием и минимизировать влияние человеческого фактора.

Заключение. Поставленная цель исследования по оценке работы гидравлической системы синхронизации с последовательно установленными делителями потоков и обоснование необходимости внешней системы управления были достигнуты в полном объеме. Полученные результаты наглядно демонстрируют значимость данной проблемы. Экспериментально доказано, что проблема синхронности носит системный характер, зависящий от качества отдельных компонентов гидравлической схемы и эксплуатационных условий.

Результаты проведенного исследования служат технико-экономическим обоснованием для внедрения системы контроля и управления в самоподъемное оборудование для высотного строительства. Внедрение данной системы позволит:

- повысить уровень безопасности при использовании такого рода грузоподъемного оборудования, используя систему непрерывного мониторинга за выполнением операции подъема;
- снизить эксплуатационные риски;
- создать базу для создания полностью автоматизированных самоподъемных комплексов, не требующих постоянного визуального контроля со стороны работников строительного объекта.

Для дальнейших научных исследований данная работа открывает следующие направления:

- разработка алгоритмов управления гидроприводом, способных не только фиксировать ошибку по перемещению или скорости движения штоков, но и используя получаемые данные, компенсировать ее;
- прогнозирование ресурса критически важных компонентов гидравлических систем.

Список источников

- [1] Сысоев А.В. *Совершенствование технологии монолитного домостроения на основе методов и средств автоматизации опалубочных работ*. Дис. ... канд. техн. наук. Нижний Новгород, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2006, 167 с.

-
- [2] Крупенин Ф.Р., Куракина Е.В. Анализ конструкций и параметров самоподъемных платформ и перспективы развития. *Вестник СибАДИ*, 2024, т. 21, № 3, с. 376–387. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-3-376-387>
 - [3] Рыбак А.Т., Ивановская А.В., Батура П.П., Пелипенко А.Ю. Синхронизация в многодвигательных гидромеханических системах. *Advanced Engineering Research*, 2021, т. 21, № 4, с. 337–345. <https://doi.org/10.23947/2687-1653-2021-21-4-337-345>
 - [4] Антоненко В.И., Сидоренко В.С. Непрямое дроссельное регулирование в многодвигательных гидромеханических системах. *Вестник Донского государственного технического университета*, 2010, т. 10, № 1 (44), с. 70–75.
 - [5] Потахов Д.А., Ватулин Я.С. Численный расчет утечек рабочей жидкости через радиальный зазор сопряженных элементов гидроцилиндра вывешивания грузоподъемного крана. *Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета*, 2019, т. 16, № 1 (65), с. 18–30.