

19. Lukashevich A.A. The solutions of contact problems for elastic systems with unilateral connections by step analysis: dis. ... d-ra tekhn. nauk. SPb., 2011. 283 p.

20. Lukashevich A.A., Rozin L.A. About the solutions of structural mechanics contact problems with unilateral connections

and friction by step analysis // Magazine of Civil Engineering. 2013. № 1 (36). P. 75-81.

21. Pykhalov A.A., Milov A.E. Contact problem of statistic and dynamic analysis of built-up turbomachine rotors. Irkutsk: IrGTU, 2007. 192 p.

УДК 62-822, 62-529

DOI: 10.18324/2077-5415-2016-4-57-64

## Экспериментальная установка для автоматизированного управления рабочим оборудованием фронтального погрузчика

В.А. Иванов<sup>a</sup>, В.А. Авдеев<sup>b</sup>, К.А. Харченко<sup>c</sup>, А.Н. Юрченко<sup>d</sup>

Тихоокеанский государственный университет, ул. Тихоокеанская 136, Хабаровск, Россия

<sup>a</sup>mol46@mail.ru, <sup>b</sup>vladimir.awd@yandex.ru, <sup>c</sup>kirya-92@mail.ru, <sup>d</sup>filip27@mail.ru

Статья поступила 16.09.2016, принята 24.10.2016

*В настоящее время множество промышленных предприятий используют гидравлические фронтальные погрузчики. Точность управления рабочими органами машин при копании грунта относительно невелика, так как визуальное наблюдение за положением рабочего органа, как правило, ограничено. В обычной системе управления не предусмотрены возможности совмещения операций, кроме того, затруднено регулирование скорости движения рабочего органа при копании грунта. Отмеченные недостатки можно значительно уменьшить с применением следящих приводов управления и систем автоматизации технологического процесса. Максимальная эффективность погрузчика при типичной технологии погрузки материала из штабеля в транспорт достигается при одновременной минимизации пути и увеличении скорости транспортирования, а также минимизации времени, затрачиваемого на набор грунта в ковш. Предлагаемая авторами проектно-исследовательская работа в области мехатроники и промышленной автоматизации посвящена техническому обоснованию автоматизированной системы управления. Результатом работы является экспериментальная установка для автоматизированного управления гидроцилиндром стрелы и гидроцилиндром ковша погрузчика, которая впоследствии может быть использована для управления реальными фронтальными погрузчиками. Электронная и механическая части проектируемого стенда базируются на компонентах пропорциональной гидравлики, а основой системы управления является программируемый логический контроллер SIMATIC S7-300. Разработана методика экспериментального проектирования автоматизированных электрогидравлических устройств для транспортно-технологических машин.*

**Ключевые слова:** фронтальный погрузчик; рабочие органы; автоматизация технологического процесса; программируемый логический контроллер.

## Experimental installation for automated control of work equipment of front loader

V.A. Ivanov<sup>a</sup>, V.A. Avdeev<sup>b</sup>, K.A. Kharchenko<sup>c</sup>, A.N. Yurchenko<sup>d</sup>

Pacific State University; 136 Tikhookeanskaya St., Khabarovsk, Russia

<sup>a</sup>mol46@mail.ru, <sup>b</sup>vladimir.awd@yandex.ru, <sup>c</sup>kirya-92@mail.ru, <sup>d</sup>filip27@mail.ru

Received 16.09.2016, accepted 24.10.2016

*Currently, many industrial companies use hydraulic front loaders. Precision control of working bodies of the machinery, when digging the soil, is relatively low since the visual observation of the position of the working body is usually difficult. Conventional control system does not involve the possibility of combining operations. Speed control is also difficult for working body movements when digging the soil. These shortcomings can be significantly reduced by using servo control actuators and automation systems of technological process. Maximum efficiency for a loader under typical loading technology «from pile to vehicle» is achieved with minimizing the path and increasing the transportation speed, as well as minimizing the time spent on scooping the soil. The article is dedicated to the development of automated control systems and is a design and research work in the field of mechatronics and industrial automation. The result is experimental installation for automatic control of a boom hydraulic cylinder and hydraulic cylinder of a loader bucket. It can then be used to control the real front loaders. Electronic and mechanical parts of the stand designed are based on proportional hydraulics components, and the basis of the control system is a programmable logic controller SIMATIC S7-300. The technique is developed for experimental design of automated electrohydraulic machines for transport and technological machinery.*

**Key words:** front loader; working bodies; automation of technological process; programmable logic controller.

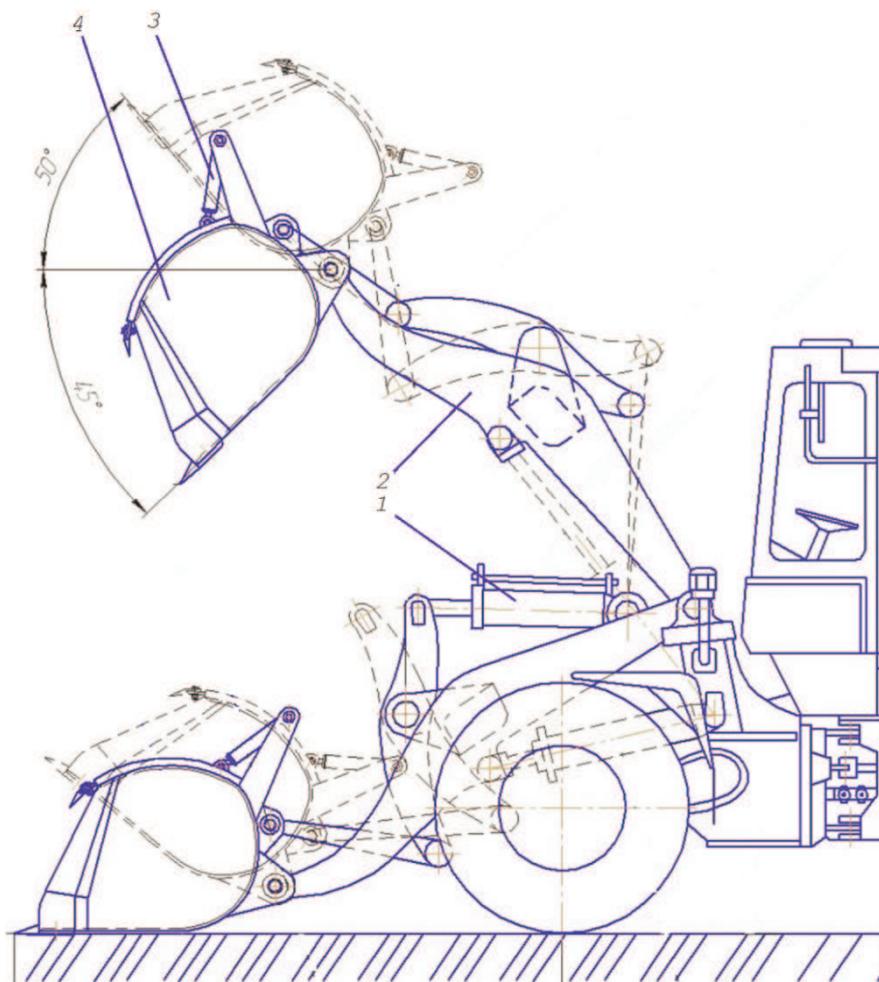
### Введение

В настоящее время множество промышленных предприятий используют гидравлические фронтальные

погрузчики [1–3], которые комплектуются различным навесным и рабочим оборудованием. Нами будет рассмотрена классическая компоновка машины, имеющая стрелу и ковш. Одноковшовый колесный погрузчик (рис. 1) представляет собой самоходную погрузочно-транспортную машину, оборудованную навесным рабочим оборудованием — шарнирно закрепленным ковшом 4 с гидроцилиндром ковша 3 на стреле 2, соединенной с гидроцилиндром стрелы 1. Стрела с рабочим оборудованием размещена между передними колесами и опирается на портал, установленный впереди кабины. Подъем и опускание стрелы осуществляются двумя гидроцилиндрами, шарнирно закрепленными на портале. Ковш поворачивается одним поршневым

цилиндром двустороннего действия, установленным шарнирно на том же портале. При выдвигании штоков поворачиваются против часовой стрелки рычаги, опирающиеся на стрелу, и в этом же направлении поворачивается ковш, связанный с рычагами тягами-толкателями.

Рабочий процесс фронтального погрузчика, оборудованного ковшом, включает следующие операции: а) перемещение погрузчика к месту набора материала; б) опускание стрелы и выравнивание ковша в горизонтальном положении; в) внедрение ковша в материал напорным усилием машины, подъем ковша со стрелой; г) транспортирование материала к месту разгрузки ковша.



**Рис. 1.** Кинематическая схема работы погрузчика: 1 — гидроцилиндр стрелы; 2 — стрела; 3 — гидроцилиндр ковша; 4 — ковш

Максимальная эффективность погрузчика при типичной технологии погрузки материала из штабеля в транспорт достигается при минимизации времени в пути (операция «а»), одновременном опускании стрелы и выравнивании ковша в горизонтальном положении (операция «б»), а также при увеличении скорости транспортирования и минимизации времени, затрачиваемого на набор грунта в ковш.

Дальнейшее совершенствование конструкции этих машин идет по пути совершенствования автоматических систем контроля рабочих параметров оборудования, гидравлики, трансмиссии, системы «двигатель –

главные насосы». Например, функцию «возврат к положению копания» включают в программное обеспечение систем управления многие ведущие производители погрузчиков [16–20].

Данная работа посвящена разработке автоматизированной системы управления и представляет собой проектно-исследовательскую работу в области мехатроники и промышленной автоматизации.

**Постановка задачи.** В Тихоокеанском государственном университете создана лаборатория автоматизации с оригинальными стендами для обучения и опыт-

ного экспериментирования [4–7]. Предметом изучения являются экспериментальные устройства, в которых используются современные средства автоматизации, пневматики, гидравлики, робототехники, мехатроники. Лабораторные стенды имеют рациональное конструктивное решение и оснащены модулями питания, контроллерами, панелями для сенсорного управления, модулями ввода-вывода, компьютерами, объединены в единый лабораторно-экспериментальный комплекс и могут использоваться самостоятельно для учебных целей. Разработка экспериментальных устройств и оборудования с приводами и сенсорами на базе стендов, которые используются как управляющие системы, является вторым исследовательским направлением их применения [8–10].

Задача исследования заключается в создании модели автоматического управления функциями опускания стрелы и поднятия ковша фронтального погрузчика с целью повышения производительности и эффективности использования машин такого типа. Разрабатываемая модель автоматического управления функциями опускания стрелы и поднятия ковша в горизонтальном положении позволит минимизировать время подготовительных операций при возврате фронтального погрузчика к забою.

Решение задачи состоит в создании модели автоматического управления гидроцилиндрами опускания стрелы и поднятия ковша фронтального погрузчика на базе лабораторного стенда с универсальными гидравлическими и электронными комплектами, а также

программируемым логическим контроллером ПЛК SIMATIC S7 EduTrainer Compact.

**Экспериментальная установка.** Гидравлический стенд предназначен для практического изучения элементной базы и основных систем управления производственными процессами с помощью гидравлических средств автоматизации [4; 5]. Главной особенностью стенда является возможность самостоятельно собирать различные схемы для изучения характеристик основных гидравлических устройств и приводов в целом, экспериментировать с ними, проверять работоспособность разрабатываемых гидравлических систем, приобретать навыки монтажа, наладки и технической эксплуатации гидроприводов.

Стенд состоит из стола, одной или двух вертикальных плит для монтажа гидравлических устройств, панели для установки электрических блоков питания и управления, насосной установки и расходомера. Для сборки электрических и гидравлических схем стенд укомплектован элементами по электрогидроавтоматике. Основой для автоматизированных систем является программируемый логический контроллер (ПЛК), который выполняет задачи управляющего устройства [11; 12].

SIMATIC S7-300 — ПЛК фирмы Siemens, разработанный для промышленного применения. SIMATIC S7 EduTrainer Compact поставляется с версией процессоров S7-300, S7-313C с интегрированными цифровым и аналоговым модулями ввода-вывода сигналов. Подключение ПЛК к ПК осуществляется через адаптер с кабелем USB [11–13].

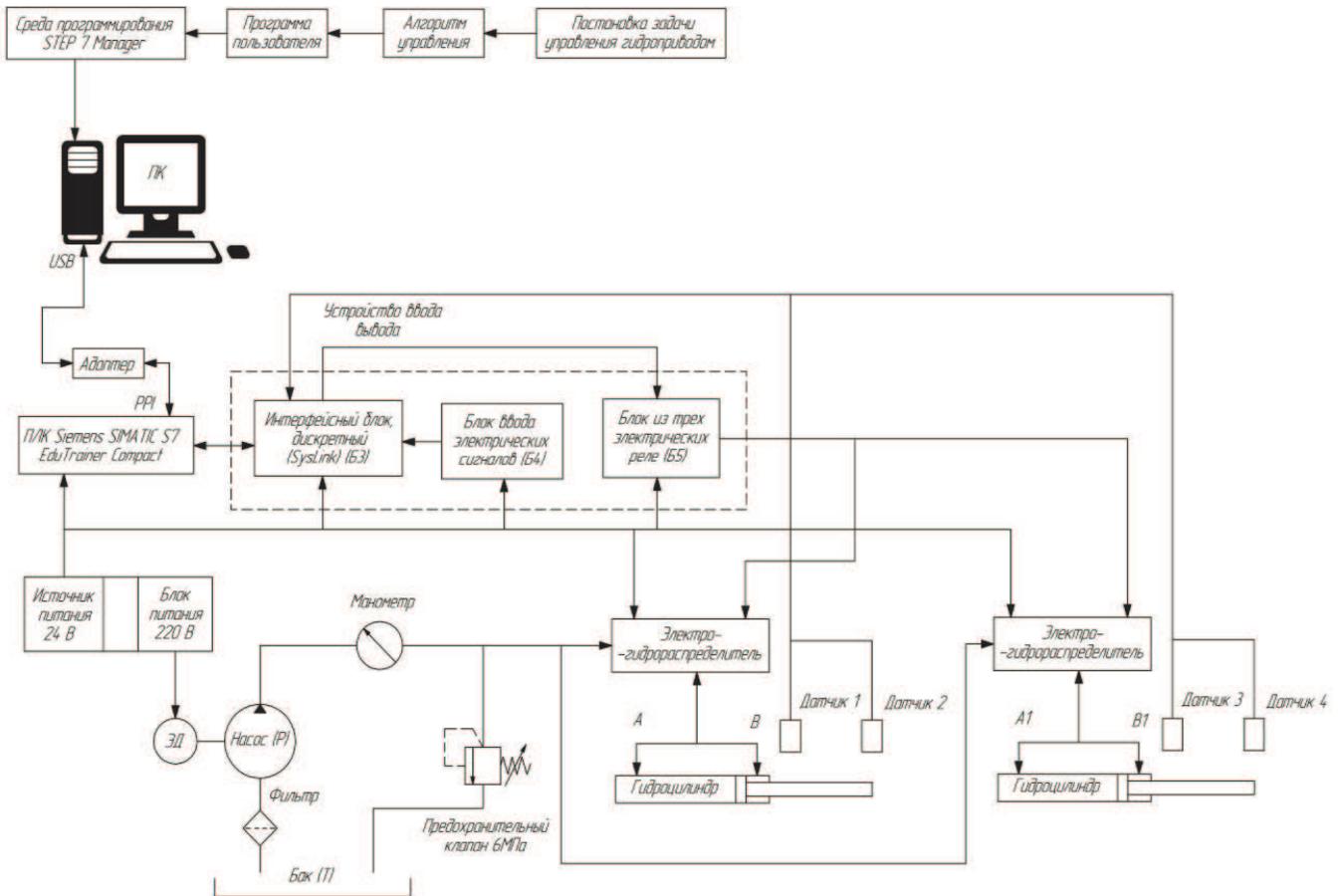


Рис. 2. Структурная схема экспериментального устройства

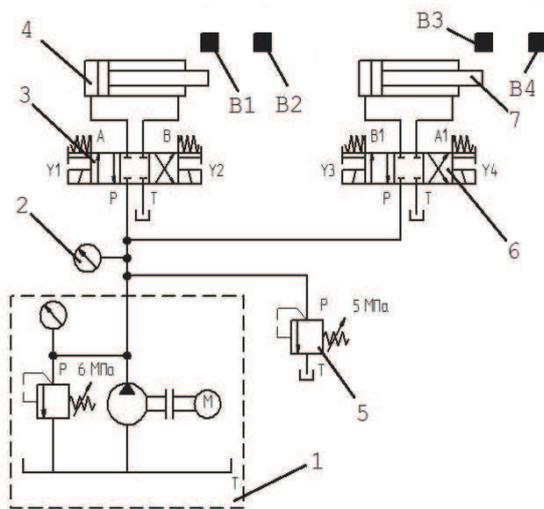


STEP 7 Manager — это программное обеспечение для SIMATIC S7 EduTrainer Compact, которое является основным инструментом для решения задач автоматизации. STEP 7 Manager — это приложение Microsoft Windows XP/7/10, которое содержит все функции, тре-

бования STEP 7 Manager предоставляет языки программирования, соответствующие DIN EN 6.1131-3 [14; 15].

Структурная схема экспериментального устройства для управления работой гидроцилиндров в ручном или автоматическом режиме представлена на рис. 2.

На базе гидравлического стенда, с использованием стандартного оборудования, проходит сборка гидравлической схемы (рис. 3), состоящей из двух исполнительных гидравлических цилиндров двустороннего действия (4, 7), двух пропорциональных распределителей с электроуправлением с перекрытием каналов в средней позиции (3, 6), двух электрических концевых выключателей (B1, B2), двух оптических датчиков положения (B3, B4), распределительной 4-линейной панели, коллектора с пятью присоединениями и манометром (2), насосной станции (1), редукционного предохранительного клапана (5).



**Рис. 3.** Принципиальная гидравлическая схема: 1 — насосная станция; 2 — коллектор с манометром; 3, 6 — гидрораспределители; 4 — гидроцилиндр стрелы; 5 — клапан; 7 — гидроцилиндр ковша

При включении насосной станции (1), гидравлическое масло поступает через коллектор (2) к распределителям 5, 6. Гидрораспределители находятся в закрытом положении. Кнопки S1 и S2 на панели управления стенда имитируют работу джойстика управления машины. При неактивной кнопке S3 и нажатии S1 или S2 выполняется управление гидроцилиндром ковша (7), при нажатии кнопки S3 происходит изменение функций кнопок S1, S2, и через них осуществляется управление гидроцилиндром стрелы (4). При активации кнопок управления S1 или S2 подается электрический сигнал на электромагнитную катушку (соленоид) Y1, Y2, Y3, Y4 гидрораспределителя (3), происходит перемещение золотника и открытие каналов подачи гидравлического масла, в зависимости от выбранной операции, в

буемые для разработки проекта. При необходимости STEP 7 Manager запускает дополнительный инструментарий, например, для конфигурирования станций, инициализации модулей, написания и тестирования программ. Для структурного (блочного) программиро-

поршневую или штоковую полость гидравлического цилиндра (4, 7). Таким образом, происходит имитация работы оборудования фронтального погрузчика в режиме ручного управления. Для реализации функции автоматического управления гидравлическими цилиндрами опускания стрелы и поднятия ковша в горизонтальное положение требуется написание программного обеспечения и программирование ПЛК.

Для реализации модели управления движением гидравлических цилиндров собирается электрическая схема с использованием стандартного оборудования и ПЛК SIMATIC S7 EduTrainer Compact. Электрическая схема лабораторной установки (рис. 4) включает в себя:

- блок 1, панель входных/выходных сигналов INPUT/OUTPUT;
- блоки питания;
- кнопки управления S1, S2, S3, S4;
- реле управления K2, K3, K4, K5, K6;
- электромагнитные катушки Y1, Y2, Y3, Y4;
- индуктивные датчики положения штока гидроцилиндра B3, B4;
- электромеханические датчики положения штока гидроцилиндра B1, B2.

Лабораторная установка имеет следующие режимы работы:

1. Выдвижение штока гидравлического цилиндра ковша (7) (загрузка) происходит при нажатии кнопки S2. Далее сигнал через панель 1 идет на реле управления K2 и соленоид Y3. Операция выполняется до момента полного выдвижения штока гидроцилиндра.

2. Втягивание штока гидравлического цилиндра ковша (7) (выгрузка) происходит при нажатии кнопки S1. Далее сигнал через блок 1 идет на реле управления K3 и соленоид Y4. Операция выполняется до момента достижения штоком гидроцилиндра индуктивного датчика конечного положения B3.

3. Выдвижение штока гидравлического цилиндра стрелы (4) (подъем стрелы) происходит при переключении режима управления нажатием кнопки S3 и после этого нажатием кнопки S2. Далее сигнал через блок 1 идет на реле управления K6 и соленоид Y1. Операция выполняется до момента достижения штоком гидроцилиндра механического датчика конечного положения B2.

4. Втягивание штока гидравлического цилиндра стрелы (4) (опускание стрелы) происходит при переключении режима управления нажатием кнопки S3 и после этого нажатием кнопки S1. Далее сигнал через блок 1 идет на реле управления K5 и соленоид Y2. Операция выполняется до момента полного втягивания штока гидравлического цилиндра.

5. Режим работы автоматики включается при соблюдении условия одновременного нахождения гидравлических цилиндров во время выполнения операции

выгрузки в конечных положениях и активации функции режима автоматики путем нажатия кнопки *S4*. При нахождении штока гидравлического цилиндра ковша (7) (выгрузка) в крайнем положении происходит срабатывание индуктивного датчика *B3*. При нахождении штока гидравлического цилиндра стрелы (4) (подъем стрелы) в крайнем положении происходит срабатывание механического датчика *B2*. После выполнения необходимого условия начинается последовательная автоматическая работа гидравлических цилиндров. Первым выдвигается гидравлический цилиндр ковша (7),

движение происходит до точки возврата ковша в горизонтальное положение для забора материала. Точка горизонта ковша устанавливается индуктивным датчиком *B4*. При достижении штоком гидроцилиндра индуктивного датчика *B4* операция выдвигения прекращается. Далее выполняется операция опускания стрелы в горизонтальное положение для забора материала. Шток гидравлического цилиндра стрелы (4) движется до достижения точки срабатывания механического датчика *B1*.

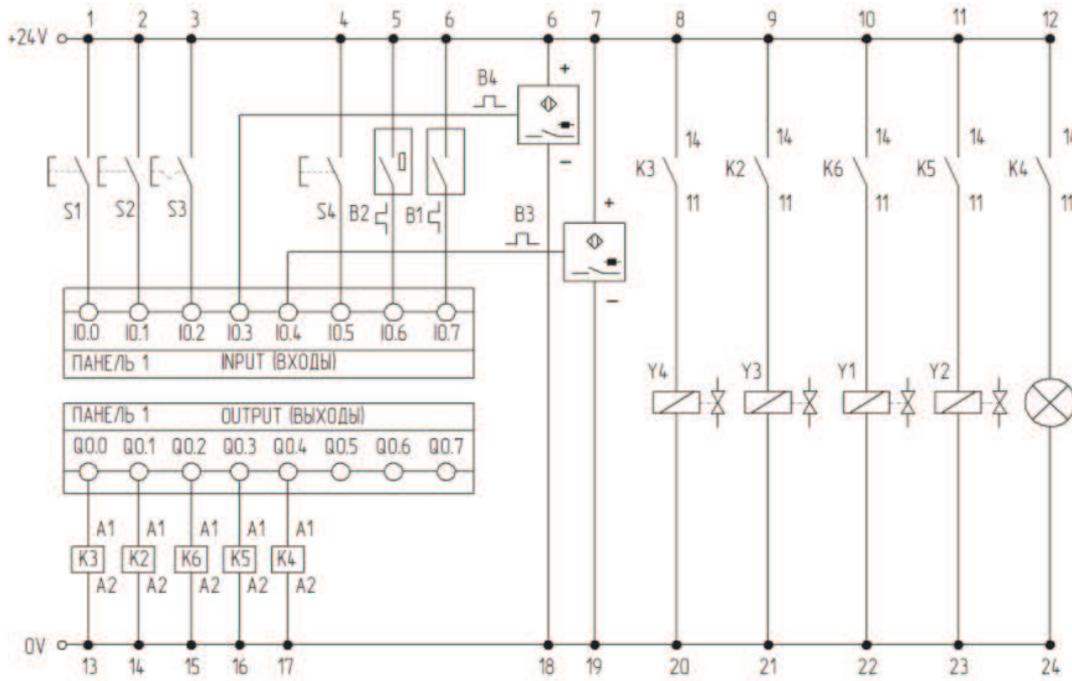


Рис. 4. Электрическая схема лабораторной установки

6. В этот момент автоматический режим выключается. При работе автоматического режима поступает сигнал на реле управления *K4*, и загорается контрольная лампочка, сигнализирующая о работе этого режима. Остановка режима работы автоматики происходит при нажатии кнопок *S1* или *S2*.

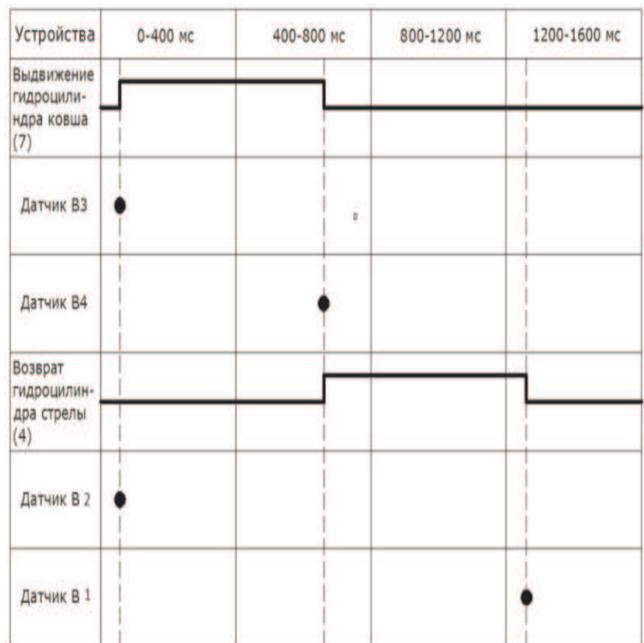


Рис. 5. Циклограмма автоматического режима работы гидроцилиндров стрелы и ковша

Циклограмма автоматического режима работы и кинематика движения манипулятора погрузчика приведены на рис. 5. При нахождении штока гидравлического цилиндра ковша (7) (выгрузка) в крайнем положении происходит срабатывание индуктивного датчика *B3*.

При нахождении штока гидравлического цилиндра стрелы (4) (подъем стрелы) в крайнем положении происходит срабатывание датчика *B2*. После выполнения необходимого условия начинается последовательная автоматическая работа гидравлических цилиндров. Первым выдвигается гидравлический цилиндр ковша (7), движение происходит до точки возврата ковша в горизонтальное положение для забора материала. Точка горизонта ковша устанавливается индуктивным датчиком *B4*. При достижении штоком гидроцилиндра индуктивного датчика *B4* операция выдвигания прекращается. Далее выполняется операция опускания стрелы в горизонтальное положение для забора материала.

Шток гидравлического цилиндра стрелы (4) движется до достижения точки срабатывания механического датчика *B1*. В этот момент автоматический режим выключается. Общий вид экспериментального устройства приведен на рис. 6.

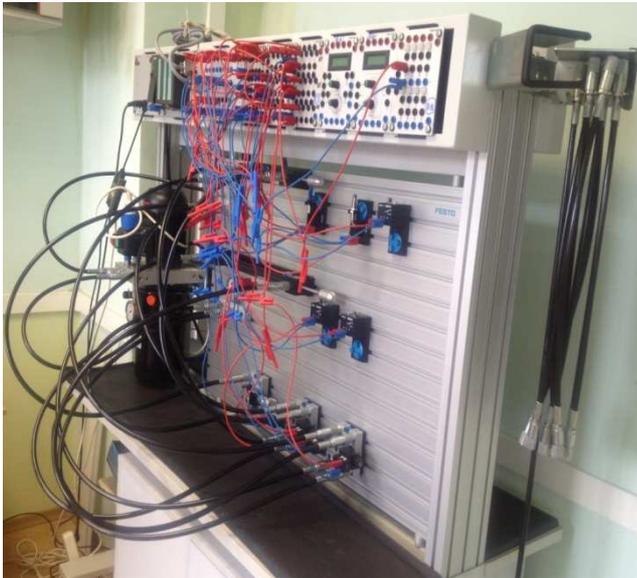


Рис. 6. Общий вид экспериментального устройства

**Создание программы в STEP 7 Manager.** Для начала работы необходимо создать новый проект в среде Simatic Manager. В программе мы будем использовать язык LAD (Ladder Diagram). Данный язык удобен для программирования небольших задач.

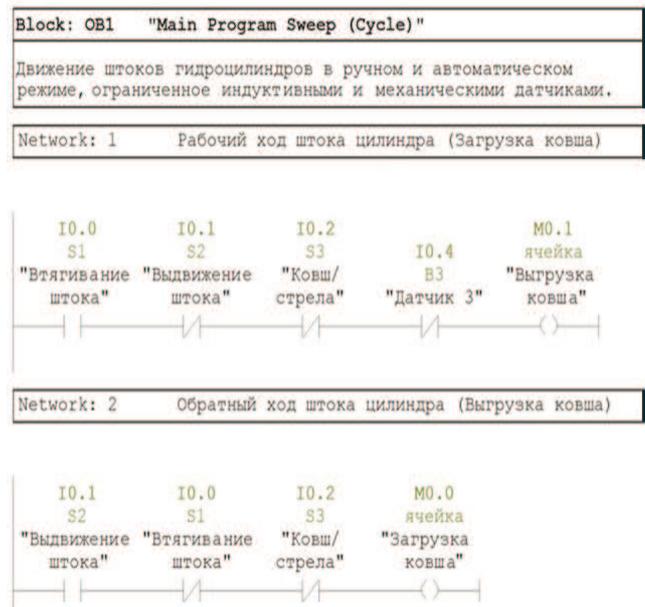


Рис. 7. Фрагмент программы 1

В случае необходимости программный пакет STEP 7 позволяет переходить на другие языки при написании программы. Фрагменты программы приведены на рис. 7, 8. После загрузки в контроллер его конфигурации можно начинать разрабатывать программу пользователя контроллера. Основным программным модулем является организационный блок OB1. Программа, созданная на языке лестничных диаграмм, представлена на рис. 7,8 Редактор цепных логических схем LAD отображает программу в графическом представлении, имеющем сходство с электрической монтажной схемой.



Рис. 8. Фрагмент программы 2

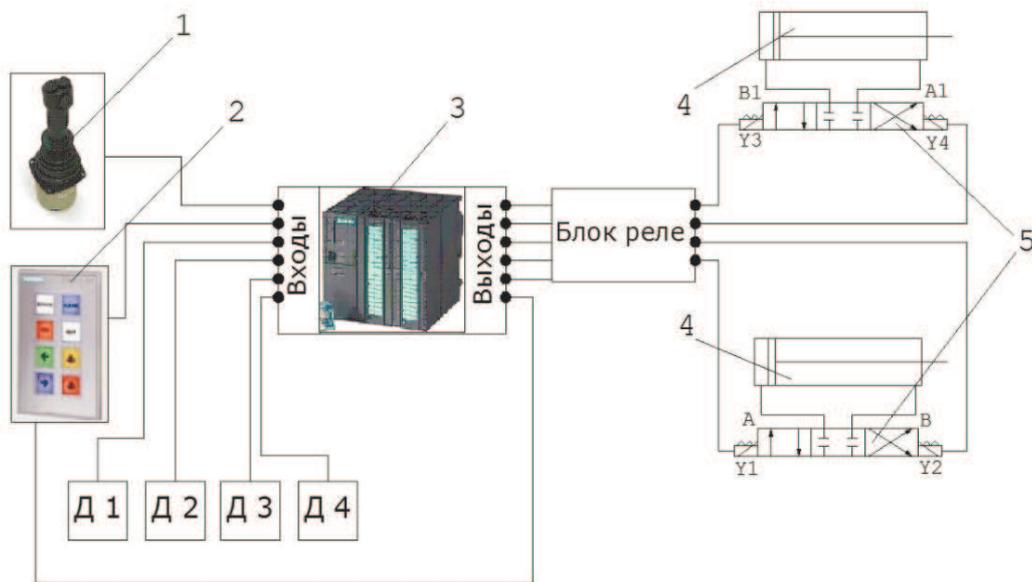
Цепные логические схемы позволяют программе имитировать протекание электрического тока от источника напряжения через ряд логических условий на входах, которые, в свою очередь, активизируют логические условия на выходах. LAD-программа включает в себя находящуюся слева шину под напряжением, которая является источником потока сигнала. Замкнутые контакты позволяют потоку сигнала протекать через

эти контакты к следующему элементу, а разомкнутые контакты препятствуют протеканию потока сигнала.

На рис. 9 показан проект рабочего устройства управления операциями набора материала фронтальным погрузчиком. Устройство содержит датчики конечного положения ковша и стрелы  $D1, D2, D3, D4$ , джойстик управления, ПЛК, панель оператора, электроуправляемые гидрораспределители ковша и стрелы, гидроцилиндры ковша и стрелы. При этом датчики конечного положения  $D1, D2, D3, D4$  служат для определения местоположения ковша или стрелы и подачи сигнала на ПЛК.

Устройство работает следующим образом. Сразу после выгрузки, с началом отъезда, оператор может включать на панели управления ПЛК режим «рабочее оборудование в горизонт». В этом режиме система ПЛК читает текущие значения датчиков положения  $D1,$

$D2, D3, D4$  и сравнивает их со значениями, соответствующими исходному и конечному положению рабочих органов погрузчика. После соблюдения условия для начала работы автоматического режима (ковш и стрела находятся в положении «выгрузка») из ПЛК посылаются сигналы управления на гидрораспределители управления гидроцилиндрами ковша и стрелы. В результате ковш и стрела выставляются в исходное положение. В том случае, когда оператор в течение процесса начальной установки манипулирует рычагами управления, режим «рабочее оборудование в горизонт» прекращается, и система переходит в ручной режим, соблюдая принцип приоритета. После окончания цикла «рабочее оборудование в горизонт» система переходит в ручной режим управления машиной.



**Рис. 9.** Проект рабочего устройства для автоматизации операций фронтального погрузчика: 1 — джойстик управления; 2 — панель оператора; 3 — программируемый логический контроллер; 4 — гидроцилиндр; 5 — гидрораспределитель 4/3 с электроуправлением с перекрытием каналов в средней позиции;  $D1, D2, D3, D4$  — датчики конечного положения;  $Y1, Y2, Y3, Y4$  — катушки на гидрораспределителях

### Заключение

Разрабатываемая модель автоматического управления функциями опускания стрелы и поднятия ковша в горизонтальном положении фронтального погрузчика позволит минимизировать время возврата машины к забю. Результатом работы является экспериментальная установка для автоматизированного управления гидроцилиндром стрелы и гидроцилиндром ковша погрузчика, которая впоследствии может быть использована для управления реальными фронтальными погрузчиками. Электронная и механическая части проектируемого стенда базируются на компонентах пропорциональной гидравлики, а основой системы управления является программируемый логический контроллер SIMATIC S7-300. Разработана методика экспериментального проектирования автоматизированных электрогидравлических устройств для

транспортно-технологических машин на базе гидравлического стенда.

### Литература

1. Фронтальный погрузчик: [Электронный ресурс] // Википедия: свободная энциклопедия. Ashburn. 2001-2016. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>. (дата обращения: 31.03.2016).
2. Бояркина И.В. Технологическая механика одноковшовых фронтальных погрузчиков: моногр. Омск: СибАДИ, 2011. 336 с.
3. Руководство по ремонту и обслуживанию колесного погрузчика Liebherr L 550. LIEBHERR-WERK BISCHOFEN GmbH, Dr. Hans Liebherr – Straße 4, 2013. 589 с.
4. Обучение в области автоматизации: [Электронный ресурс] // Festo Russia. М., 2008-2016. URL: [http://www.festo.com/cms/ru\\_ru/9464.htm](http://www.festo.com/cms/ru_ru/9464.htm). (дата обращения: 31.03.2016).
5. Меркле Д., Рупп К., Шольц Д. Электрогидроавтоматика: основной курс. Киев: ООО «Фесто», 2004. 202 с.

6. Иванов В.А., Авдеев В.А. Проект лаборатории автоматизации транспортно-технологических машин [Электронный ресурс] // Учен. заметки ТОГУ. 2014. Т. 5, № 2. С. 128-133. URL: <http://pnu.edu.ru/> (дата обращения: 15.03.2016).
7. Иванов В.А., Гончаров С.В., Друшляк Р.А., Харченко Д.А. Учебно-исследовательский стенд по управлению электрооборудованием [Электронный ресурс] // Учен. заметки ТОГУ. 2013. Т. 4, № 2. С. 1-7. URL: <http://pnu.edu.ru/> (дата обращения: 15.03.2016).
8. Разработка и создание учебных стендов по автоматизации оборудования, устройств и технологических линий: отчет по НИР № 1. 2-14 ТОГУ. ГР114100740078. Хабар. Тихоок. гос. ун-т, 2014. 132 с.
9. Создание робототехнических и мехатронных устройств для учебных и научных исследований: Отчет по НИР №1.22-15 ТОГУ. ГР 115063010045. Хабар. Тихоок. гос. ун-т. 2015. 112 с.
10. Иванов В.А., Авдеев В.А., Харченко К.А. Разработка мобильных учебно-экспериментальных средств для техники автоматизации и мехатроники // Вестн. ТОГУ. 2016. № 2 (41). С. 79-86.
11. Программируемые контроллеры Siemens SIMATIC S7-300: [Электронный ресурс] // Copyright@AT-Electro. М., 2009-2016. URL: <http://aelectric.ru/?p=8107>. (дата обращения: 31.03.2016).
12. Siemens Simatic. Программируемый контроллер S7-300. Руководство, Bereich Automation and Drives Geschaeftsgebiet Industrial Automation System Postfach 4848, D-90327. Nuernberg, 2002. 258 с.
13. Siemens. Simatic WinCC: Configuration Manual. Manual Volume 1: [Электронный ресурс]. 1999. URL: [http://home.hit.no/~mortenp/A289/Manualer/Simatic/Confb1v5\\_e.pdf](http://home.hit.no/~mortenp/A289/Manualer/Simatic/Confb1v5_e.pdf) (дата обращения: 26.05.2016).
14. Siemens. Simatic. Working with STEP 7. Getting Started: [Электронный ресурс]. 2006. URL: [https://www.fer.unizg.hr/\\_download/repository/STEP7.pdf](https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/STEP7.pdf) (дата обращения: 06.05.2016).
15. Dugoff H., Murphy R.W. The Dynamic Performance of Articulated Highway Vehicles // A Review of the State-of-the-Art. HSRI; The University of Michigan. Automotive Engineering Congress. Detroit, 1971. P. 37.
16. Gipser M., Hofer R., Lugner P. Dynamical Tire Forces Response to Road Unevenness // Proc. 2nd Int. Coll. On Tyre Models for Vehicle Dynamic Analysis. Supplement to Vehicle System Dynamics. 1997. № 27. P. 34-38.
17. Karl T. Soil Mechanics in Engineering Practice // Cholamresa Mersi, Third Edition, 1995. P. 549.
18. Maurice J.P. The Influence of Belt Dynamics on Cornering and Braking Properties of Tyres // In: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility Supplement. 1998. № 28. P. 229-311.
19. Pacejka H.B. Yow and Canber Analysis. Mechanics of Pneumatic Tires. Washington, 1971. P. 757-839.
20. Pflug N. Chr. Lateral dynamic behaviour of frucktrailer combinations due to the influence of the load // Vehicle Syst. Dyn. 1986. 15, № 3. P. 155-175.
3. Guidelines for repair and maintenance of the wheel loader Liebherr L 550. LIEBHERR-WERK BISCHOFSHOFEN GMBH, Dr. Hans Liebherr - Straße 4, 2013. 589 p.
4. Education in the field of automation: [Elektronnyi resurs] // Festo Russia: M., 2008-2016. URL: [http://www.festo.com/cms/ru\\_ru/9464.htm](http://www.festo.com/cms/ru_ru/9464.htm). (data obrashcheniya: 31.03.2016).
5. Merkle D., Rupp K., Shol'ts D. Electrohydraulic-automation: basic course. Kiev: OOO «Festo», 2004. 202 p.
6. Ivanov V.A., Avdeev V.A. The project is the automation of the laboratory of transport and technological machines: [Elektronnyi resurs] // Uchen. zametki TOGU. 2014. Т. 5, № 2. P. 128-133. URL: <http://pnu.edu.ru/> (data obrashcheniya: 15.03.2016).
7. Ivanov V.A., Goncharov S.V., Drushlyak R.A., Kharchenko D.A. Teaching and Research stand for managing electronic equipment: [Elektronnyi resurs] // Uchen. zametki TOGU. 2013. Т. 4, № 2. P. 1-7. URL: <http://pnu.edu.ru/> (data obrashcheniya: 15.03.2016).
8. Design and creation of educational stands for automation equipment, devices and technological lines: otchet po NIR № 1.2-14 TOGU. GR114100740078. Pacific National University (Khabarovsk). 2014. 132 p.
9. Creating robotic and mechatronic devices for teaching and research: Otchet po NIR № 1.22-15 TOGU. GR 115063010045. Pacific National University (Khabarovsk). 2015. 112 p.
10. Ivanov V.A., Avdeev V.A., Kharchenko K.A. Development of mobile educational and experimental tools for automation and mechatronics // Bulletin of PNU. 2016. № 2 (41). P. 79-86.
11. Programmable controllers Siemens SIMATIC S7-300: [Elektronnyi resurs] // Copyright@AT-Electro. М., 2009-2016. URL: <http://aelectric.ru/?p=8107>. (data obrashcheniya: 31.03.2016).
12. Siemens Simatic. Programmable controller S7-300. Rukovodstvo, Bereich Automation and Drives Geschaeftsgebiet Industrial Automation System Postfach 4848, D-90327. Nuernberg, 2002. 258 p.
13. Siemens. Simatic WinCC: Configuration Manual. Manual Volume: [Elektronnyi resurs]. 1999. URL: [http://home.hit.no/~mortenp/A289/Manualer/Simatic/Confb1v5\\_e.pdf](http://home.hit.no/~mortenp/A289/Manualer/Simatic/Confb1v5_e.pdf) (data obrashcheniya: 26.05.2016).
14. Siemens. Simatic. Working with STEP 7. Getting Started: [Elektronnyi resurs]. 2006. URL: [https://www.fer.unizg.hr/\\_download/repository/STEP7.pdf](https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/STEP7.pdf) (data obrashcheniya: 06.05.2016).
15. Dugoff H., Murphy R.W. The Dynamic Performance of Articulated Highway Vehicles // A Review of the State-of-the-Art. HSRI; The University of Michigan. Automotive Engineering Congress. Detroit, 1971. P. 37.
16. Gipser M., Hofer R., Lugner P. Dynamical Tire Forces Response to Road Unevenness // Proc. 2nd Int. Coll. On Tyre Models for Vehicle Dynamic Analysis. Supplement to Vehicle System Dynamics. 1997. № 27. P. 34-38.
17. Karl T. Soil Mechanics in Engineering Practice // Cholamresa Mersi, Third Edition, 1995. P. 549.
18. Maurice J.P. The Influence of Belt Dynamics on Cornering and Braking Properties of Tyres // In: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility Supplement. 1998. № 28. P. 229-311.
19. Pacejka H.B. Yow and Canber Analysis. Mechanics of Pneumatic Tires. Washington, 1971. P. 757-839.
20. Pflug N. Chr. Lateral dynamic behaviour of frucktrailer combinations due to the influence of the load // Vehicle Syst. Dyn. 1986. 15, № 3. P. 155-175.

#### References

1. Front-end loader: [Elektronnyi resurs] // Vikipediya: svo-bodnaya entsiklopediya. Ashburn. 2001-2016. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>. (data obrashcheniya: 31.03.2016).
2. Boyarkina I.V. Technological mechanics of single bucket wheel loaders: monogr. Omsk: SibADI, 2011. 336 p.