

УДК 004.942

DOI: [10.26102/2310-6018/2024.45.2.026](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.45.2.026)

Информационно-измерительная система пневмопривода промышленного робота специализированного назначения модели МП-11

И.Л. Сандлер^{1,2}, Д.В. Иванов^{1,3}, А.А. Портнов¹

¹Самарский государственный университет путей сообщения, Самара,
Российская Федерация

²Самарский государственный технический университет, Самара,
Российская Федерация

³Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П.
Королева, Самара, Российская Федерация

Резюме. Одной из важнейших задач, с которыми сталкиваются разработчики пневматических систем автоматизации, является сокращение времени анализа и проектирования на научно-исследовательском этапе. Использование специализированного программного обеспечения позволяет значительно улучшить работу пневматических систем автоматизации. Моделирование пневматических роботов-манипуляторов позволяет определить уязвимые места, провести оптимизацию процессов управления, провести виртуальные испытания различных сценариев работы, что поможет улучшить планирование и управление, при этом достичь значительного повышения производительности и надежности работы системы. В статье представлена информационно-измерительная система для пневматического привода звеньев робота (манипулятора) специализированного промышленного назначения модели МП-11 в виде имитационной модели, которая реализована методом имитационного моделирования пневматических систем на базе пакета FluidSIM-P (FluidSIM Pneumatic) фирмы «Festo». Результатом работы информационно-измерительной системы являются графики переходных процессов перемещения штоков пневматических цилиндров, которые адекватно описывают реальный рабочий режим пневмопривода манипулятора МП-11. Материалы статьи представляют практическую ценность для специалистов, занимающихся проектированием и анализом систем автоматизации. Кроме того, результаты статьи могут быть полезны для студентов и исследователей, изучающих область автоматизации и системного проектирования. Любой, кто интересуется применением технологий автоматизации в различных сферах, найдет в статье ценную информацию для своей работы и исследований.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, робот, МП-11, имитационная модель, пневматическая схема, переходные процессы, FluidSIM-P, Pneumatic.

Для цитирования: Сандлер И.Л., Иванов Д.В., Портнов А.А. Информационно-измерительная система пневмопривода промышленного робота специализированного назначения модели МП-11. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2024;12(2). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1553> DOI: 10.26102/2310-6018/2024.45.2.026

Information and measuring system of the pneumatic actuator of an industrial robot of specialized purpose model MP-11

I.L. Sandler^{1,2}, D.V. Ivanov^{1,3}, A.A. Portnov¹

¹Samara State University of Transport, Samara, the Russian Federation

²Samara State Technical University, Samara, the Russian Federation

³Samara National Research University, Samara, the Russian Federation

Abstract. One of the most important tasks faced by developers of pneumatic automation systems is to reduce the time of analysis and design at the research stage. The use of specialized software makes it possible to significantly improve the operation of pneumatic automation systems. Simulation of pneumatic robotic manipulators allows you to identify vulnerabilities, optimize control processes, conduct virtual tests of various work scenarios, which will help improve planning and management, while achieving significant improvements in system performance and reliability. The article presents an information and measuring system for the pneumatic drive of the robot (manipulator) links for specialized industrial purposes of the MP-11 model in the form of a simulation model, which is implemented by the method of simulation of pneumatic systems on the FluidSIM-P (FluidSIM Pneumatic) package of the Festo company. The result of the operation of the information and measuring system are graphs of transient processes of movement of the rods of pneumatic cylinders, which adequately describe the real operating mode of the pneumatic actuator of the manipulator MP-11. The materials of the article are of practical value for specialists involved in the design and analysis of automation systems. In addition, the results of the article may be useful for students and researchers studying the field of automation and system design. Anyone interested in the application of automation technologies in various fields will find valuable information in the article for their work and research.

Keywords: information and measurement system, robot, MP-11, simulation model, pneumatic circuit, transients, FluidSIM-P, Pneumatic.

For citation: Sandler I.L., Ivanov D.V., Portnov A.A. Information and measuring system of the pneumatic actuator of an industrial robot of specialized purpose model MP-11. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2024;12(2). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1553> DOI: 10.26102/2310-6018/2024.45.2.026 (In Russ.).

Введение

При проектировании пневматических систем автоматизации немаловажным этапом является определение и выбор пневматических компонентов управляющей системы. Для сокращения времени анализа и проектирования систем автоматизации на научно-исследовательском этапе предполагается использование специализированного программного обеспечения для моделирования пневматических систем (например, FluidSIM¹ [1–3], Automation Studio [4, 5]), которое позволит быстро создавать и анализировать различные варианты системы до ее физической реализации. Применение данных пакетов позволит сократить время на тестирование и оптимизацию системы.

В работе рассматривается принципиальная пневматическая схема промышленного робота специализированного назначения модели МП-11, на основе которой разработана имитационная модель информационно-измерительной системы пневмопривода на базе программного обеспечения имитационного моделирования пневматических систем FluidSIM Pneumatic фирмы «Festo».

Предназначение рассматриваемого робота МП-11, так же, как и модели робота МП-9С [6–9], заключается в автоматизации технологических операций, а в частности, для обслуживания штамповочных прессов при выполнении вспомогательных операций ориентирования заготовки в пространстве рабочей зоны.

Манипулятор МП-11 относится к роботам I-ого поколения, осуществляющий работу в цилиндрической координатной системе, является специализированным промышленным устройством с двумя манипуляционными схватами, имеющими 6 степеней подвижности, грузоподъемность которого не превышает одного килограмма (сверхлегкий) для одного манипулятора. Региональные движения манипулятора обеспечивают четыре степени свободы для перемещения, две локальные обеспечивают ориентацию в пространстве.

¹ Festo Didactic InfoPortal. URL: <https://ip.festo-didactic.com> (дата обращения: 12.02.2024).

Таблица 1 – Принятые условные обозначения пневматической схемы
Table 1 – Accepted symbols of the pneumatic circuit

| № п/п | Наименование | Условное обозначение |
|-------|---|----------------------|
| 1 | модули поступательного движения (руки) | A1, A2 |
| 2 | модуль вращательного движения схвата (ротация схвата) | A3 |
| 3 | модуль поступательного движения схвата (сдвиг схвата) | A4 |
| 4 | схваты | A5, A6 |
| 5 | механизм поворота робота-манипулятора | A7 |
| 6 | механизм подъема робота-манипулятора | A8 |
| 7 | узел распределения | УР |

В качестве исполнительных элементов в принципиальной пневматической схеме, представленной на Рисунке 2, используются пневматические цилиндры, осуществляющие прямолинейное движение поршня одностороннего (A1–A4, A7, A8) или двустороннего действия (A5, A6), конструкция которых обеспечивает заданные перемещения (линейные), скорости и усилия.

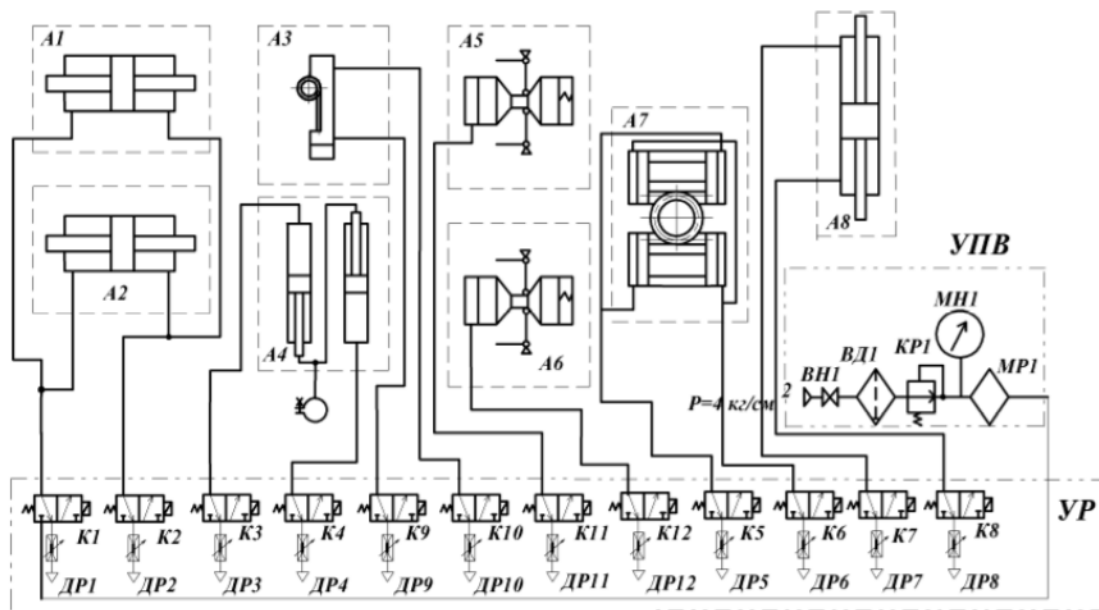


Рисунок 2 – Принципиальная пневматическая схема манипулятора МП-11
Figure 2 – Schematic pneumatic diagram of the manipulator MP-11

Материалы и методы

Разработанная информационно-измерительная система пневмопривода промышленного робота (манипулятора) МП-11 выполнена в виде имитационной модели, представленная на Рисунке 3, с использованием пакета FluidSIM-P (FluidSIM Pneumatic), а также модель релейно-контакторной схемы (Рисунок 4), которая выполняет функции системы управления пневматическими цилиндрами. Представленная релейно-контакторная схема осуществляет цикловой режим и автоматический режим, который определяется переключателем «1 cycle / autocycle» в соответствии с тактовой циклограммой.

Тактовая циклограмма работы манипулятора, представленная на Рисунке 5А, показывает все заданные перемещения и соответствует определенному алгоритму:

начало → подъем робота-манипулятора → поворот робота-манипулятора вправо → перемещение рук робота-манипулятора вперед → зажим схватов 1, 2 робота-манипулятора → перемещение рук робота-манипулятора назад → поворот робота-манипулятора налево → опускание робота-манипулятора → перемещение рук робота-манипулятора вперед → ротация схвата 1 робота-манипулятора направо → сдвиг схвата 2 робота-манипулятора вверх → разжим схватов 1, 2 робота-манипулятора → перемещение рук робота-манипулятора назад → ротация схвата 1 робота-манипулятора налево → сдвиг схвата 2 робота-манипулятора вниз → окончание.

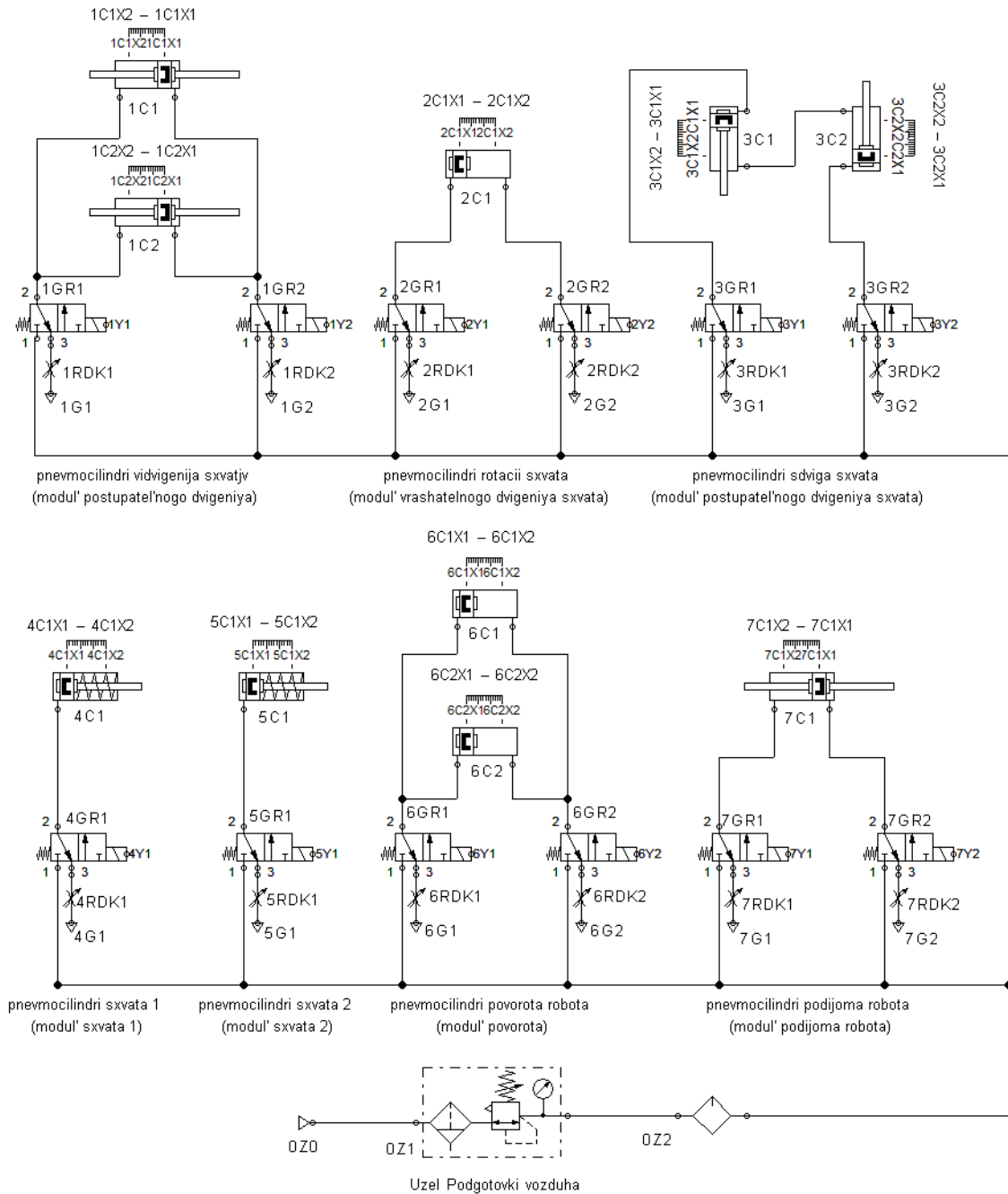


Рисунок 3 – Имитационная модель информационно-измерительной системы пневмопривода промышленного робота

Figure 3 – Simulation model of the information and measurement system of the pneumatic actuator of an industrial robot

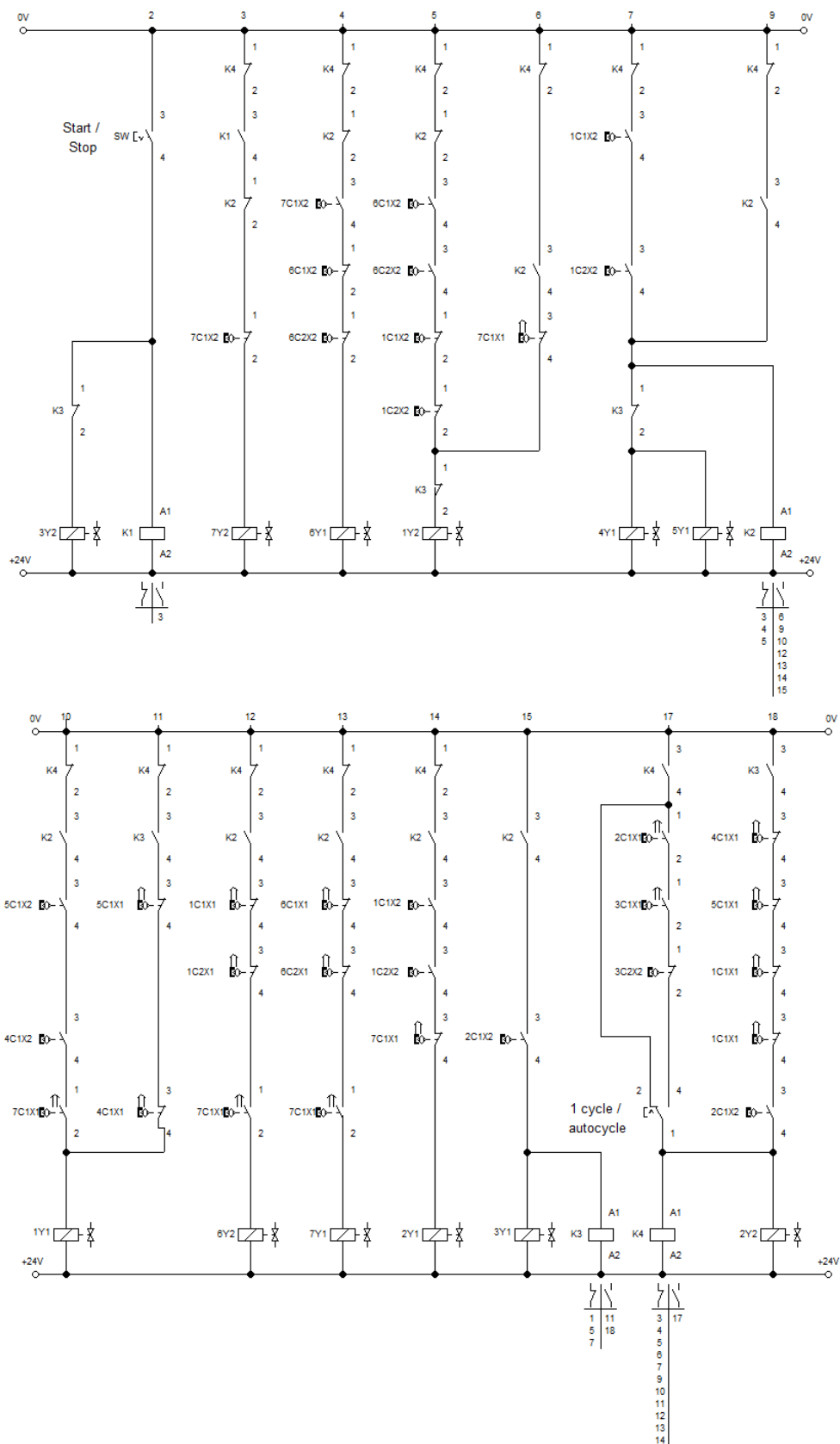


Рисунок 4 – Имитационная модель релейно-контакторной системы управления пневмопривода промышленного робота

Figure 4 – Simulation model of the relay-contactor control system of the pneumatic actuator of an industrial robot

Результаты

Исходными данными для моделирования в имитационную модель информационно-измерительной системы пневмопривода промышленного робота (манипулятора) специализированного назначения модели МП-11 (Рисунок 3) введены следующие значения параметров:

- усилие, действующее на пневматический цилиндр: 1C1, 1C2, 2C1, 3C1, 3C2, 4C1, 5C1, 6C1, 6C2, 7C1 – 20 Н (~2 кг);
- рабочий ход пневматического цилиндра: 1C1, 1C2 – 200 мм; 2C1 – 100 мм; 3C1, 3C2 – 30 мм; 4C1, 5C1 – 50 мм; 6C1, 6C2 – 200 мм; 7C1 – 100 мм;
- рабочее давление компрессорной станции – 2 МПа; расход – 5 л/мин;
- процент открытия дроссельного клапана: 1RDK1 – 100%, 1RDK2 – 70%, 2RDK1 – 100%, 2RDK2 – 70%, 3RDK1 – 80%, 3RDK2 – 80%, 4RDK1 – 90%, 5RDK1 – 90%, 6RDK1 – 100%, 6RDK2 – 100%, 7RDK1 – 100%, 7RDK2 – 70%.

Результатом моделирования циклового режима получены переходные процессы перемещений штоков пневмоцилиндров, изображенные на Рисунке 5Б в процессе работы, которые определяют ряд технологических операций.

Рассмотрим функционирование имитационной модели на различных временных интервалах.

Интервал времени $t_0 \leq t \leq t_1$. Характеризуется запуском имитационной модели, при котором модель принимает исходное состояние.

Интервал времени $t_1 \leq t \leq t_2$. При $t = t_1$ приходит управляющий сигнал, и распределитель 7GR2 принимает положение – правое рабочее, распределитель 7GR1 – в исходном положении (Рисунок 3). Пневмоцилиндр 7C1 – выдвигается. Распределители 1GR1, 1GR2, 2GR1, 2GR2, 3GR1, 3GR2, 4GR1, 5GR1, 6GR1, 6GR2 – в исходном положении (Рисунок 3). Пневмоцилиндры 1C1, 1C2, 2C1, 3C1, 3C2, 4C1, 5C1, 6C1, 6C2 – в исходном положении.

Интервал времени $t_2 \leq t \leq t_3$. При $t = t_2$ приходит управляющий сигнал, и распределитель 6GR1 принимает положение – правое рабочее, распределитель 6GR2 – в исходном положении (Рисунок 3). Пневмоцилиндры 6C1, 6C2 – выдвигаются. Распределители 1GR1, 1GR2, 2GR1, 2GR2, 3GR1, 3GR2, 4GR1, 5GR1, 7GR1, 7GR2 – в исходном положении (Рисунок 3). Пневмоцилиндры 1C1, 1C2, 2C1, 3C1, 3C2, 4C1, 5C1 – в исходном положении, 7C1 – в рабочем положении.

Интервал времени $t_3 \leq t \leq t_4$. При $t = t_3$ приходит управляющий сигнал, и распределитель 1GR2 принимает положение – правое рабочее, распределитель 1GR1 – в исходном положении (Рисунок 3). Пневмоцилиндры 1C1, 1C2 – выдвигаются. Распределители 2GR1, 2GR2, 3GR1, 3GR2, 4GR1, 5GR1, 6GR1, 6GR2, 7GR1, 7GR2 – в исходном положении (Рисунок 3). Пневмоцилиндры 2C1, 3C1, 3C2, 4C1, 5C1 – в исходном положении, 6C1, 6C2, 7C1 – в рабочем положении.

Интервал времени $t_4 \leq t \leq t_5$. При $t = t_4$ приходит управляющий сигнал, и распределители 4GR1, 5GR1 принимают положение – правое рабочее. Пневмоцилиндры 4C1, 5C1 – выдвигаются. Распределители 1GR1, 1GR2, 2GR1, 2GR2, 3GR1, 3GR2, 6GR1, 6GR2, 7GR1, 7GR2 – в исходном положении (Рисунок 3). Пневмоцилиндры 2C1, 3C1, 3C2 – в исходном положении, 1C1, 1C2, 6C1, 6C2, 7C1 – в рабочем положении.

Интервал времени $t_5 \leq t \leq t_6$. При $t = t_5$ приходит управляющий сигнал, и распределитель 1GR1 принимает положение – правое рабочее, распределитель 1GR2 – в исходном положении. Пневмоцилиндры 1C1, 1C2 – втягиваются. Распределители 2GR1, 2GR2, 3GR1, 3GR2, 6GR1, 6GR2, 7GR1, 7GR2 – в исходном положении, распределители 4GR1, 5GR1 – в рабочем положении (Рисунок 3). Пневмоцилиндры 2C1, 3C1, 3C2 – в исходном положении, 4C1, 5C1, 6C1, 6C2, 7C1 – в рабочем положении.

Интервал времени $t_6 \leq t \leq t_7$. При $t = t_6$ приходит управляющий сигнал, и распределитель 6GR2 принимает положение – правое рабочее, распределитель 6GR1 – в исходном положении. Пневмоцилиндры 6C1, 6C2 – втягиваются. Распределители 1GR2, 2GR1, 2GR2, 3GR1, 3GR2, 7GR1, 7GR2 – в исходном положении, распределители 1GR1, 4GR1, 5GR1 – в рабочем положении (Рисунок 3). Пневмоцилиндры 1C1, 1C2, 2C1, 3C1, 3C2 – в исходном положении, 4C1, 5C1, 7C1 – в рабочем положении.

Интервал времени $t_7 \leq t \leq t_8$. При $t = t_7$ приходит управляющий сигнал, и распределитель 7GR1 принимает положение – правое рабочее, распределитель 7GR2 – в исходном положении. Пневмоцилиндр 7C1 – втягивается. Распределители 1GR2, 2GR1, 2GR2, 3GR1, 3GR2, 6GR1 – в исходном положении, распределители 1GR1, 4GR1, 5GR1, 6GR2 – в рабочем положении (Рисунок 3). Пневмоцилиндры 1C1, 1C2, 2C1, 3C1, 3C2, 6C1, 6C2 – в исходном положении, 4C1, 5C1 – в рабочем положении.

Интервал времени $t_8 \leq t \leq t_9$. При $t = t_8$ приходит управляющий сигнал, и распределитель 1GR2 принимает положение – правое рабочее, распределитель 1GR1 – в исходном положении. Пневмоцилиндры 1C1, 1C2 – выдвигаются. Распределители 2GR1, 2GR2, 3GR1, 3GR2, 6GR1, 6GR2, 7GR1, 7GR2 – в исходном положении, распределители 4GR1, 5GR1 – в рабочем положении (Рисунок 3). Пневмоцилиндры 2C1, 3C1, 3C2, 6C1, 6C2, 7C1 – в исходном положении, 4C1, 5C1 – в рабочем положении.

Интервал времени $t_9 \leq t \leq t_{10}$. При $t = t_9$ приходит управляющий сигнал, и распределитель 2GR1 принимает положение – правое рабочее, распределитель 2GR2 – в исходном положении. Пневмоцилиндр 2C1 – выдвигается. Распределители 1GR1, 3GR1, 3GR2, 6GR1, 6GR2, 7GR1, 7GR2 – в исходном положении, распределители 4GR1, 5GR1 – в рабочем положении (Рисунок 3). Пневмоцилиндры 3C1, 3C2, 6C1, 6C2, 7C1 – в исходном положении, 1C1, 1C2, 4C1, 5C1 – в рабочем положении.

Интервал времени $t_{10} \leq t \leq t_{11}$. При $t = t_{10}$ снимается управляющий сигнал с распределителей 4GR1, 5GR1, после чего, принимают положение – левое исходное, при одновременной подаче управляющего импульса на распределители 3GR1, 3GR2, которые принимают рабочее правое положение. Пневмоцилиндры 3C1 – выдвигается, 3C2, 4C1, 5C2 – втягиваются. Распределители 1GR1, 1GR2, 2GR2, 6GR1, 6GR2, 7GR1, 7GR2 – в исходном положении, распределители 2GR1 – в рабочем положении (Рисунок 3). Пневмоцилиндры 6C1, 6C2, 7C1 – в исходном положении, 1C1, 1C2, 2C1 – в рабочем положении.

Интервал времени $t_{11} \leq t \leq t_{12}$. При $t = t_{11}$ приходит управляющий сигнал, и распределитель 1GR1 принимает положение – правое рабочее, распределитель 1GR2 – в исходном положении. Пневмоцилиндры 1C1, 1C2 – втягиваются. Распределители 2GR1, 2GR2, 4GR1, 5GR1, 6GR1, 6GR2, 7GR1, 7GR2 – в исходном положении, распределители 3GR1, 3GR2 – в рабочем положении (Рисунок 3). Пневмоцилиндры 4C1, 5C1, 6C1, 6C2, 7C1 – в исходном положении, 2C1, 3C1, 3C2 – в рабочем положении.

Интервал времени $t_{12} \leq t \leq t_{13}$. При $t = t_{12}$, снимается управляющий сигнал с распределителей 3GR1, 3GR2, после чего принимают положение – исходное, при одновременной подаче управляющего импульса на распределитель 2GR2, который принимает рабочее правое положение. Пневмоцилиндры 2C1, 3C1 – втягиваются, 3C2 – выдвигается. Распределители 1GR1, 1GR2, 4GR1, 5GR1, 6GR1, 6GR2, 7GR1, 7GR2 – в исходном положении (Рисунок 3). Пневмоцилиндры 1C1, 1C2, 4C1, 5C1, 6C1, 6C2, 7C1 – в исходном положении.

Интервал времени $t_{13} \leq t \leq t_n$, $n > 13$. Алгоритм работы имитационной модели соответствует интервалу $t_1 \leq t \leq t_2$ при выбранном автоматическом цикле переключателя «1 cycle / autocycle» (Рисунок 4), иначе следует окончание одного цикла работы.

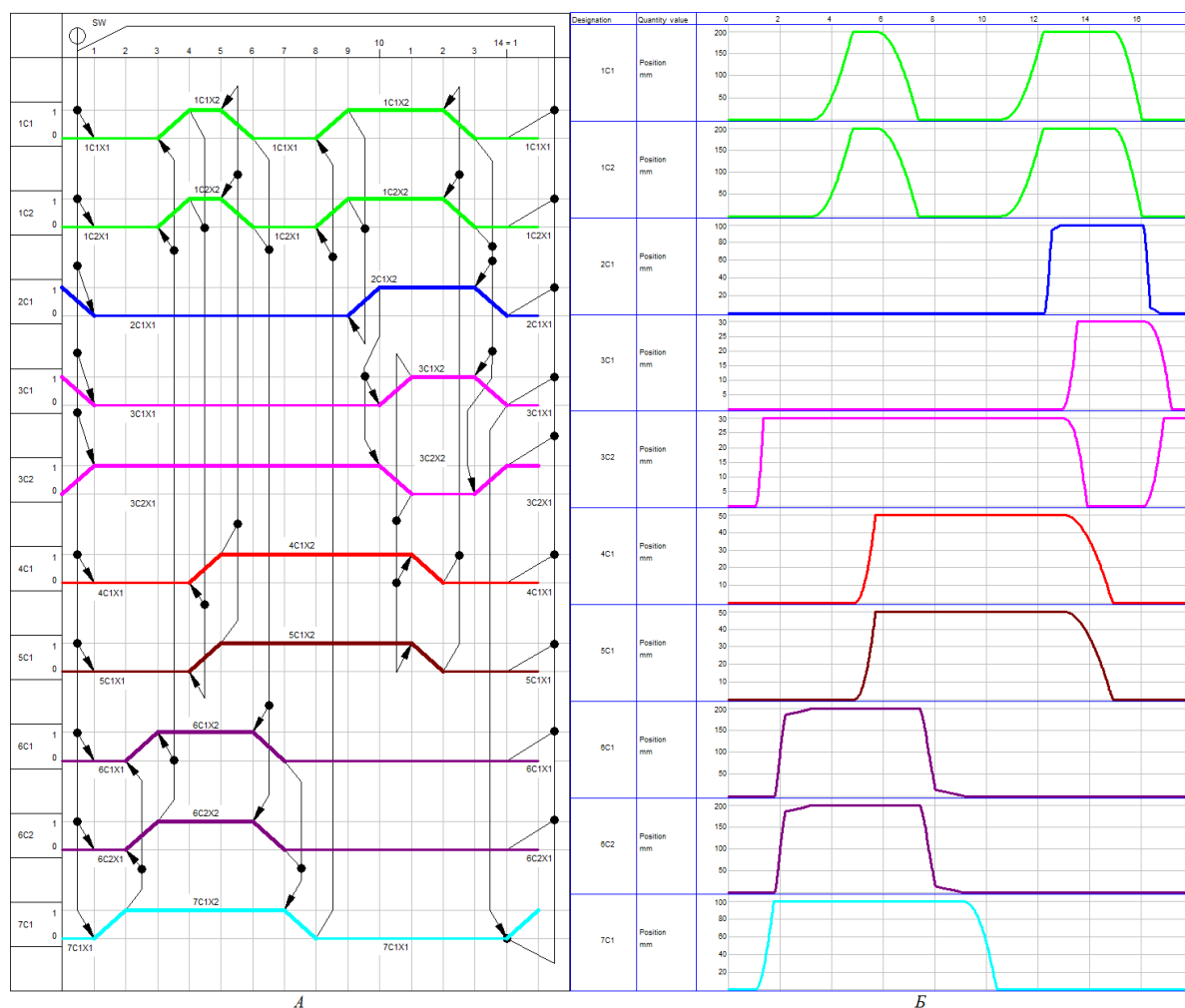


Рисунок 5 – Тактовая циклограмма (А), графики переходных процессов перемещений пневмоцилиндров 1С1, 1С2, 2С1, 3С1, 3С2, 4С1, 5С1, 6С1, 6С2, 7С1 робота (Б)
Figure 5 – Clock cycle diagram (A), graphs of transients of movements of pneumatic cylinders 1C1, 1C2, 2C1, 3C1, 3C2, 4C1, 5C1, 6C1, 6C2, 7C1 of the robot (B)

Обсуждение

В результате анализа разработанной информационно-измерительной системы пневмопривода промышленного робота (манипулятора) специализированного назначения модели МП-11 были получены переходные характеристики перемещения штоков пневмоцилиндров, подтверждающие корректную работу имитационной модели, согласно тактовой циклограмме. Предложенная модель релейно-контакторной схемы является одним решением, обеспечивающая выполнение циклических технологических операций промышленного робота (манипулятора). Она обеспечивает как автоматический режим, так и выполнение одного цикла технологических операций при необходимости.

Заключение

Дальнейшим этапом развития работы предполагается изменение информационно-измерительной системы путем интеграции модели системы управления на базе логического контроллера с использованием функционала пакета FluidSIM-P (FluidSIM Pneumatic) от компании «Festo». Кроме того, планируется разработка

управляющей системы и контроля за состоянием пневматических систем с применением результатов работ [15–17] в пакете Matlab, что позволит не только оптимизировать работу системы, но и обеспечить более надежное диагностирование неисправностей в случае аварийных (внештатных) ситуаций, а следовательно, повысить эффективность методов диагностики состояния пневматических систем и обеспечить их более надежную работу в различных условиях эксплуатации.

Представленная в работе информационно-измерительная система пневмопривода робота-манипулятора специализированного назначения модели МП-11, выполненная в виде имитационной модели, может быть полезна при разработке программного и информационного обеспечения информационно-измерительных и управляющих пневматических систем, так как имитационная модель позволяет проводить виртуальные эксперименты, анализировать и оптимизировать работу системы, а также предсказывать ее поведение в различных условиях.

Для специалистов такие имитационные модели являются неоценимым инструментом для изучения принципов работы сложных технических систем, а также для разработки новых методов и технологий в области автоматизации и мехатроники. Благодаря возможности моделирования различных сценариев работы системы, ученые могут проводить исследования, выявлять проблемы и находить оптимальные решения для улучшения эффективности и надежности систем.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

- Orošnjak M., Jocanović M., Karanović V. Simulation and Modeling of A Hydraulic System in FluidSim. In: *XVII International Scientific Conference on Industrial Systems (IS'17), 4-6 October 2017, Novi Sad, Serbia*. 2017. P. 50–53.
- Cojocaru R., Bocănete P., Deleanu D., Frățiță C., Axinte T., Diaconu M. Analysis of Pneumatic Circuits with FluidSim. *Hidraulica*. 2021;(2):70–75.
- Sandler I.L., Ivanov D.V., Terekhin M.A., Bragina I.N., Lebakin I.V., Zaripov R.A. Simulation Model of a Pneumatic Drive for Compressing Electrodes of Stationary Contact Spot Welding Machine. In: *5th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA), 08-10 November 2023, Lipetsk, Russia*. Lipetsk: Lipetsk State Technical University, 2023. P. 608–612. <https://doi.org/10.1109/summa60232.2023.10349376>
- Ghinea M., Agud M., Bodog M. Simulation of pneumatic systems using automation studio™ software platform. *International Journal of Simulation Modeling*. 2020;19(4):655–666. <https://doi.org/10.2507/IJSIMM19-4-541>
- Ишметьев Е.Н., Чистяков Д.В., Панов А.Н., Бодров Е.Э., Михеева В.О. *Управление электротехническими комплексами на базе контроллеров В&R: диагностика в Automation Studio*. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова; 2017. 86 с.
Ishmet'ev E.N., Chistyakov D.V., Panov A.N., Bodrov E.E., Mikheeva V.O. *Upravlenie elektrotekhnicheskimi kompleksami na baze kontrollerov B&R: diagnostika v Automation Studio*. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorck State Technical University; 2017. 86 p. (In Russ.).
- Сандлер И.Л. Моделирование информационно-измерительной системы пневматического привода специализированного промышленного робота МП-9С. *Вестник СамГУПС*. 2023;(1):108–119.
Sandler I.L. Modelirovanie informatsionno-izmeritel'noi sistemy pnevmaticheskogo privoda spetsializirovannogo promyshlennogo robota MP-9S. *Vestnik SamGUPS*. 2023;(1):108–119. (In Russ.).

7. Юревич Е.И. *Основы робототехники*. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург; 2018. 304 с.
Yurevich E.I. *Osnovy robototekhniki*. Saint Petersburg: BKhV-Peterburg; 2018. 304 p. (In Russ.).
8. Юревич Е.И. *Основы робототехники*. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург; 2010. 359 с.
Yurevich E.I. *Osnovy robototekhniki*. Saint Petersburg: BKhV-Peterburg; 2010. 359 p. (In Russ.).
9. Челпанов И.Б. *Устройство промышленных роботов. Учебник для учащихся приборостроительных техникумов*. Санкт-Петербург: Политехника; 2001. 203 с.
Chelpanov I.B. *Ustroistvo promyshlennykh robotov. Uchebnik dlya uchashchikhsya priborostroitel'nykh tekhnikumov*. Saint Petersburg: Politehknika; 2001. 203 p. (In Russ.).
10. Капустин Н.М., Кузнецов П.М., Дьяконова Н.П. *Комплексная автоматизация в машиностроении*. Москва: Академия; 2005. 368 с.
Kapustin N.M., Kuznetsov P.M., D'yakonova N.P. *Kompleksnaya avtomatizatsiya v mashinostroenii*. Moscow: Academia; 2005. 368 p. (In Russ.).
11. Горяйнов В.И., Сосенушкин Е.Н., Шibaков В.Г. *Автоматизация переналадки штамповочного оборудования*. Москва; Набережные Челны: Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»; 2000. 83 с.
Goryainov V.I., Sosenushkin E.N., Shibakov V.G. *Avtomatizatsiya perenaladki shtampovochnogo oborudovaniya*. Moscow; Naberezhnye Chelny: Moscow State University of Technology «STANKIN»; 2000. 83 p. (In Russ.).
12. Кулебякин А.А., Легенкин Ю.А. *Аппаратные и программные средства систем ЧПУ*. Ярославль: Ярославский государственный технический университет; 2010. 87 с.
Kulebyakin A.A., Legenkin Yu.A. *Apparatnye i programmnye sredstva sistem ChPU*. Yaroslavl: Yaroslavl State Technical University; 2010. 87 p. (In Russ.).
13. Зюзев А.М., Мудров М.В., Костылев А.В. *Программируемые логические контроллеры в системах малой автоматизации и автоматизации зданий и сооружений*. Екатеринбург: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина; 2023. 118 с.
Zyuzev A.M., Mudrov M.V., Kostylev A.V. *Programmiruemye logicheskie kontrollery v sistemakh maloi avtomatizatsii i avtomatizatsii zdanii i sooruzhenii*. Yekaterinburg: Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin; 2023. 118 p. (In Russ.).
14. Кравцов А.Г. *Изучение конструкций манипуляторов промышленных роботов РБ-241 и МП 11.01*. Оренбург: ОГУ; 2013. 57 с.
Kravtsov A.G. *Izuchenie konstruktsii manipulyatorov promyshlennykh robotov RB-241 i MP 11.01*. Orenburg: OSU; 2013. 57 p. (In Russ.).
15. Ivanov D.V., Sandler I.L., Kozlov E.V. Identification of Fractional Linear Dynamical Systems with Autocorrelated Errors in Variables by Generalized Instrumental Variables. *IFAC-PapersOnLine*. 2018;51(32):580–584. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.485>
16. Сандлер И.Л. Рекуррентное оценивание параметров многомерных по входу и выходу разного порядка линейных динамических систем при наличии автокоррелированных помех во входных и выходных сигналах. *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки*. 2016;(4):14–27. <https://doi.org/10.21685/2072-3040-2016-4-2>

- Sandler I.L. Recurrent estimation of parameters being multidimensional in terms of input and output of various orders of linear dynamic systems in the presence of autocorrelated noises in input and output signals. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Povolzhskii region. Fiziko-matematicheskie nauki = University proceedings. Volga region. Physical and mathematical sciences*. 2016;(4):14–27. (In Russ.). <https://doi.org/10.21685/2072-3040-2016-4-2>
17. Ivanov D.V., Sandler I.L., Burtseva E.A., Vlasova V.N. Identification of slide valve dynamics with errors in variables. In: *13th International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS 2018: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: Volume 560, 12-14 December 2018, Novosibirsk, Russia*. Novosibirsk: Institute of Physics Publishing; 2019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/560/1/012021>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Сандлер Илья Львович, старший преподаватель, Самарский государственный университет путей сообщения, Самарский государственный технический университет, Самара, Российская Федерация.

e-mail: sandleri@bk.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4967-3321>

Иванов Дмитрий Владимирович, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент, Самарский государственный университет путей сообщения, Самарский национальный исследовательский университет им. Акад. С.П. Королева, Самара, Российская Федерация.

e-mail: dvi85@list.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5021-5259>

Портнов Артем Александрович, магистрант, Самарский государственный университет путей сообщения, Самара, Российская Федерация.

e-mail: artematico@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6422-8933>

Ilya L. Sandler, Senior lecturer, Samara State University of Transport, Samara State Technical University, Samara, the Russian Federation.

Dmitry V. Ivanov, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Samara State University of Transport, Samara National Research University, Samara, the Russian Federation.

Artem A. Portnov, undergraduate student, Samara State University of Transport, Samara, the Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 13.05.2024; одобрена после рецензирования 23.05.2024; принята к публикации 31.05.2024.

The article was submitted 13.05.2024; approved after reviewing 23.05.2024; accepted for publication 31.05.2024.