

**М. В. ЧЕРКАШЕНКО, Б. А. ВУРЬЕ, Ю. И. ГРИНБЕРГ, Д. Б. БОНДАРЕВА**

## АНАЛИЗ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОПНЕВМОАГРЕГАТОВ

Предлагается метод анализа схем гидропневмоагрегатов, позволяющий обнаружить и устранить имеющиеся ошибки при проектировании, в основном, связанные с противоречивостью входов, действующих между технологическими операциями, и «силовой борьбой» на исполнительных устройствах. Показана эффективность использования для анализа схем матрицы соответствий М. В. Черкашенко, размерность которой не зависит от числа входов и выходов, а лишь от числа переходов между технологическими операциями.

**Ключевые слова:** гидропневмоагрегаты, схема, синтез, анализ, системы управления.

**Введение.** При проектировании современных систем управления гидропневмоагрегатов технологического оборудования возможны ошибки, связанные главным образом с противоречивостью переходов между технологическими операциями и «силовой борьбой» на исполнительных механизмах. Проблема анализа решает задачи, связанные с выявлением ошибок при проектировании систем гидропневмоагрегатов и их устранением на этапах синтеза.

**Основная часть.** В настоящей статье предлагается формализованный метод анализа схем систем управления гидропневмоагрегатов, позволяющий выявить и устранить ошибки, возможные при синтезе.

В качестве описания работы системы управления целесообразно выбрать граф операций [1], имеющий

известные преимущества по отношению к другим формализованным способам описания. Уравнения функций выходов и внутренних состояний системы выписываются непосредственно по схеме гидропневмоагрегата. Выявление ошибок осуществляется определением корректности графа операций, анализа входной последовательности, корректности матрицы соответствий и соответствующей системы уравнений [2–4]. Далее не составляет труда исправление ошибок при проектировании и, при необходимости, осуществление соответствующей корректировки схемы.

Рассмотрим метод анализа на примере спроектированной пневматической схемы управления сверлильным станком (рис. 1).

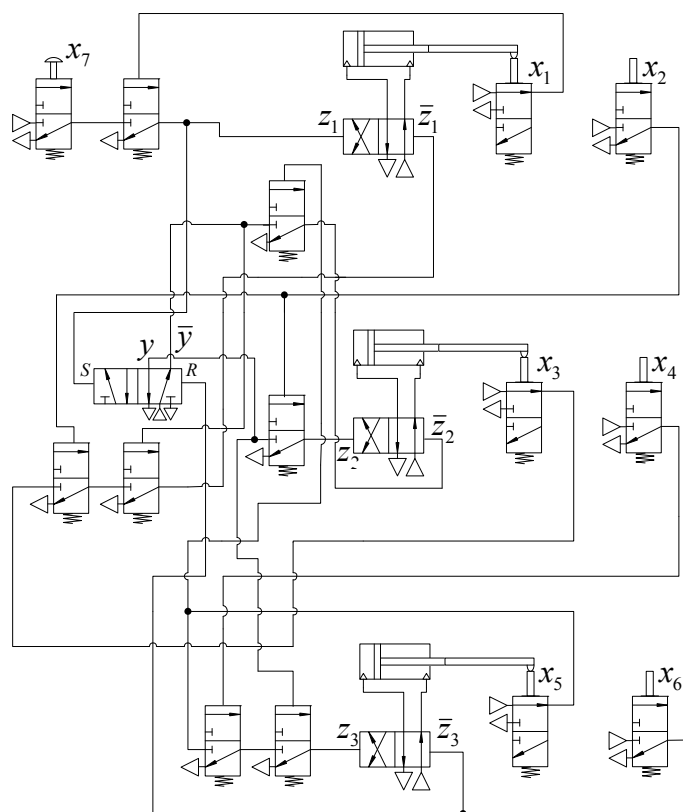


Рис. 1 – Схема управления сверлильного станка

ИУ сверлильного станка служат пневматические цилиндры  $\Pi_1$ – $\Pi_3$ , которым соответствуют выходы  $Z_1$ – $Z_3$ .

Цилиндр  $\Pi_1$  производит зажим детали в зажимном приспособлении, что контролируется в исходном положении ВК  $x_1$ , а в конечном положении ВК  $x_2$ .

Цилиндр  $\Pi_2$  перемещает приспособление с деталью из исходного положения, контролируемого ВК  $x_3$ , в зону обработки (позиция контролируется ВК  $x_4$ ).

Цилиндр  $\Pi_3$  производит с помощью механизма подачи инструмента обработку детали. Его исходное положение контролируется ВК  $x_5$ , а конечное – ВК  $x_6$ .

Цикл работы начинается с нажатия кнопки  $x_7 = 1$  и, если все исполнительные устройства находятся в исходном положении, производится зажим детали  $Z_1 = 1$ , после чего по сигналу ВК  $x_2 = 1$  цилиндр  $\Pi_2$  перемещает приспособление с деталью в зону обработки  $Z_2 = 1$ , включая в конце хода ВК  $x_4 = 1$ , по сигналу которого начинается обработка детали на станке  $Z_3 = 1$ . При окончании обработки по сигналу  $x_6 = 1$  производится возврат в исходное положение механизма подачи инструмента  $\bar{Z}_3 = 1$ . По сигналу  $x_5 = 1$  происходит перемещение приспособления с деталью из зоны обработки в исходное положение  $\bar{Z}_2 = 1$ . По сигналу  $x_3 = 1$  происходит возврат в исходное положение пневмоагрегата зажима детали  $\bar{Z}_1 = 1$ .

Станок имеет только автоматический режим работы. Каждый цикл начинается после возврата в исходное положение пневмоагрегата зажима ( $x_1 = 1$ ) и при включенной кнопке ( $x_7 = 1$ ).

Назначение исполнительных устройств, а также их взаимодействие с входными устройствами показаны в табл. 1.

Таблица 1 – Взаимодействие входных и исполнительных устройств

| Выходные сигналы |                                                       | Входные сигналы    |                    |
|------------------|-------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|
| Обозначение      | Наименование                                          | Исходное положение | Конечное положение |
| $Z_1$            | Зажим детали                                          | $x_1$              | $x_2$              |
| $Z_2$            | Перемещение приспособления с деталью в зону обработки | $x_3$              | $x_4$              |
| $Z_3$            | Обработка детали                                      | $x_5$              | $x_6$              |

Граф операций на основе технического задания, описывающий условия работы системы управления погрузчика, представлен на рис. 2.

Проверка корректности описания показывает, что при запуске схемы осуществляется лишь контроль зажима детали, контроль исходного положения других исполнительных устройств не осуществляется.

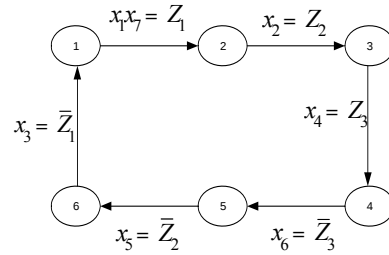


Рис. 2 – Исходный граф операций

Таким образом, откорректированный фрагмент графа операций с учетом поправки в переходе из вершины 1 в вершину 2 представлен на рис. 3.

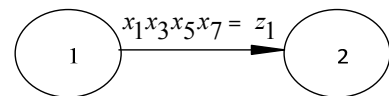


Рис. 3 – Откорректированный фрагмент графа операций

Как известно по готовой схеме можно выписать лишь одну систему уравнений для функций выходов и переключения памяти. Так для нашего случая система уравнений имеет вид:  $S = z_1 = x_1x_7$ ,  $z_2 = x_2y$ ,  $z_3 = x_4x_5y$ ,  $\bar{z}_1 = x_2x_3\bar{y}$ ,  $\bar{z}_2 = x_5\bar{y}$ ,  $R = \bar{z}_3 = x_6$ .

Для выявления возможности несвоевременного срабатывания исполнительных устройств и «силовой борьбы» на исполнительных устройствах для систем небольшой сложности можно проиллюстрировать вложением графа операций в развертку  $n$ -мерного куба на плоскости, и разместив в соответствующие клетки карты Карно вершины графа операций. Наличие двух и более вершин в одной клетке говорит о неоднозначности двух и более переходов, а, следовательно, необходимости введения в схему элемента памяти (см. рис. 4).

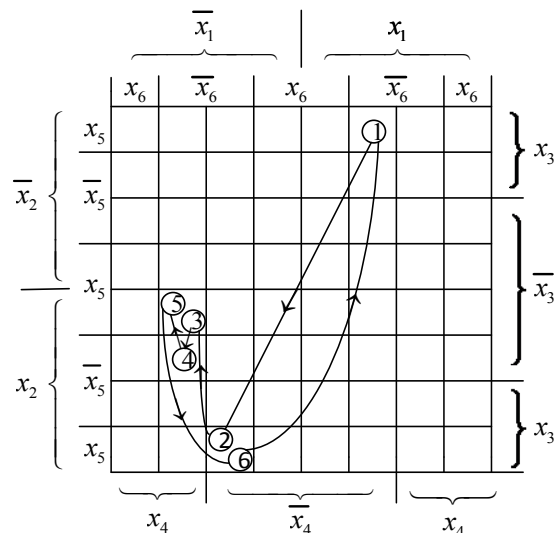


Рис. 4 – Вложение графа операций в развертку  $n$ -мерного куба на плоскости

Для систем большой размерности выявление любого вида противоречий в схеме (если они имеются) следует проводить путем построения матрицы соответствий МС, размерность которой не

зависит от числа входов и выходов, а зависит лишь от числа переходов графа операций или другими словами

от числа технологических операций [2].

|      |                               |                   |         |             |       |               |                   |
|------|-------------------------------|-------------------|---------|-------------|-------|---------------|-------------------|
|      |                               | $x_1 x_3 x_5 x_7$ | $x_2 y$ | $x_4 x_5 y$ | $x_6$ | $x_5 \bar{y}$ | $x_2 x_3 \bar{y}$ |
| MC = | $x_1 x_3 x_5 = \emptyset$     | 0                 | 0       | 0           | 0     | 1             | 0                 |
|      | $x_1 x_7, x_3 x_5 = z_1 S$    | 1                 | 0       | 0           | 0     | 1             | 0                 |
|      | $* x_2, x_3 x_5 = z_2$        | 0                 | 1       | 0           | 0     | 0             | 0                 |
|      | $** x_4, x_2 x_5 = z_3$       | 0                 | 1       | 1           | 0     | 0             | 0                 |
|      | $x_6, x_2 x_4 = \bar{z}_3 R$  | 0                 | 1       | 0           | 1     | 0             | 0                 |
|      | $** x_5, x_2 x_4 = \bar{z}_2$ | 0                 | 0       | 0           | 0     | 1             | 0                 |
|      | $* x_3, x_2 x_5 = \bar{z}_1$  | 0                 | 0       | 0           | 0     | 1             | 1                 |

Здесь входные сигналы, вызывающие переходы между технологическими операциями (записанные на графе операций), отделены запятой. После запятой записаны имеющие прямые значения сигналы, входящие в соответствующие полные входные наборы.

В матрице MC на пересечении столбца и строки ставится 1, если сигналы, вызывающие переходы, входят в полные входные наборы соответствующих строк, и – 0, в противном случае. Противоречивые единицы обводятся кружком (таких здесь нет), наклонные единицы «пропадают» при переключении элемента памяти.

Замечаем, что в столбце  $x_4 x_5 y$  сигнал  $x_5$ , а в столбце  $x_2 x_3 \bar{y}$  сигнал  $x_2$  не записаны на графе и являются дополнительными, присутствующими в уравнениях. Проанализируем эти два столбца без дополнительных сигналов, для чего ниже представим подматрицу MC1.

|       |                               |         |               |
|-------|-------------------------------|---------|---------------|
|       |                               | $x_4 y$ | $x_3 \bar{y}$ |
| MC1 = | $x_1 x_3 x_5 = \emptyset$     | 0       | 1             |
|       | $x_1 x_7, x_3 x_5 = z_1 S$    | 0       | 1             |
|       | $* x_2, x_3 x_5 = z_2$        | 0       | 0             |
|       | $** x_4, x_2 x_5 = z_3$       | 1       | 0             |
|       | $x_6, x_2 x_4 = \bar{z}_3 R$  | 1       | 0             |
|       | $** x_5, x_2 x_4 = \bar{z}_2$ | 0       | 0             |
|       | $* x_3, x_2 x_5 = \bar{z}_1$  | 0       | 1             |

В отличие от матрицы MC здесь появились две наклонные единицы, которые «исчезают» при переключении элемента памяти. Следовательно, можно сделать вывод, что переменные  $x_5$  и  $x_2$  в соответствующих уравнениях не нужны. Остальной анализ, проведенный путем сканирования столбцов матрицы MC, противоречий не обнаружил. Таким образом, откорректированная система уравнений имеет вид:  $S = z_1 = x_1 x_3 x_5 x_7$ ,  $z_2 = x_2 y$ ,  $z_3 = x_4 y$ ,  $\bar{z}_1 = x_3 \bar{y}$ ,  $\bar{z}_2 = x_5 \bar{y}$ ,  $R = \bar{z}_3 = x_6$ .

Следует отметить необходимость возможности установки исполнительных устройств и элемента

памяти в исходное положение, для чего в ниже следующую схему введена кнопка «Стоп» и 4 клапана ИЛИ. Кроме того, использование кнопки пуск дает возможность осуществить полуавтоматический режим работы схемы. Для получения автоматического режима требуется замена кнопки пуска на тумблер. При корректировке схемы использован также метод совмещения функциональных и логических возможностей распределительной аппаратуры, а также построенных на ней модулей [5–7].

Окончательный вариант откорректированной схемы сверлильного станка с учетом всех исправлений представлен на рис. 5.

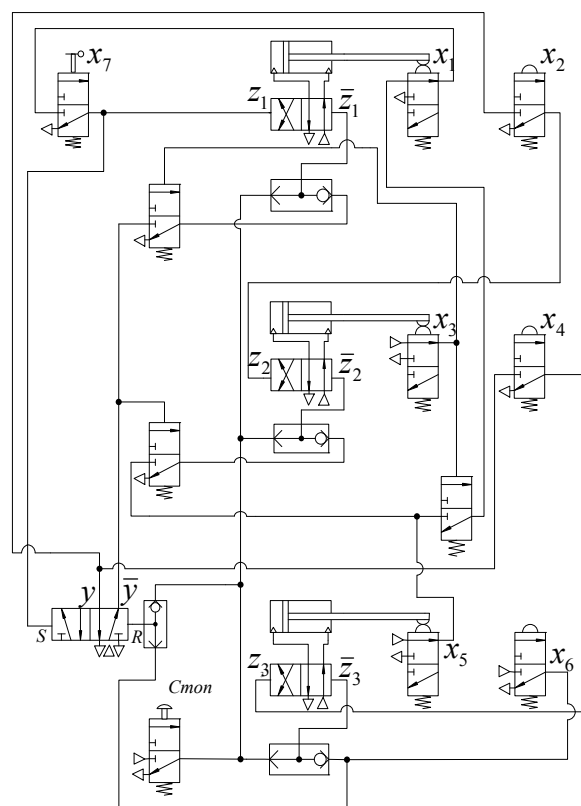


Рис. 5 – Откорректированная схема управления сверлильного станка

Таким образом, предложенный метод является эффективным средством выявления ошибок, неточностей, проверки работоспособности,

рационального построения схем, и может быть широко использован проектировщиками систем управления гидропневмоагрегатов, а также студентами вузов при изучении методов построения схем.

**Список литературы:** 1. Юдицкий С. А. К вопросу описания и синтеза дискретных систем промышленной автоматики / С. А. Юдицкий // Техническая кибернетика. – 1976. – № 1. – С. 131–141. 2. Черкашенко М. В. Метод логического проектирования дискретных систем управления машин-автоматов с пневмо- или гидроприводом / М. В. Черкашенко // Пневматика и гидравлика. Приводы и системы управления. – М.: Машиностроение, 1981. Вып. 8. – С. 181–189. 3. Cherkashenko M. Synthesis of discrete control systems of industrial robots / M. Cherkashenko [et al.] // Automation and Remote Control (USA). – 1981. – V. 42, № 5. – P. 676–680. 4. Cherkashenko M. V. Computer-aided design of discrete control fluid power system / M. V. Cherkashenko // 2 Internationales Fluidtechnisches colloquium. – Germany, 16–17 marz 2000. – Band 1. – P. 495–500. 5. Cherkashenko M. Synthesis of schemes of hydraulic and pneumatic automation / M. Cherkashenko // International Fluid Power Symposium in Aachen. – Germany, 20–22 March 2006. – Fundamentals. – The report № 1. – P. 147–154. 6. Cherkashenko M. Universal devices for building pneumatic control circuits for industrial robots and automatic machines / M. Cherkashenko // Soviet engineering research (England). – 1985. –

V. 5, № 2. – P. 29–31. 7. Черкашенко М. В. Синтез минимальных схем гидропневмоагрегатов / ред. Б. А. Вурье. – М.: Пневмогидромашины, 2013. – 266 с.

**References:** 1. Yuditskij, S. A. "K voprosu opisanija i sinteza diskretnykh sistem promyshlennoj avtomatiki." *Tekhnicheskaja kibernetika*. No. 1. 1976. 131–141. Print. 2. Cherkashenko, M. V. "Metod logicheskogo proektirovanija diskretnykh sistem upravlenija mashin-avtomatov s pnevmo- ili gidroprivodom." *Pnevmatika i gidravlika. Privody i sistemy upravlenija*. Vol. 8. Moscow: Mashinostroenie, 1981. 181–189. Print. 3. Cherkashenko, M., et al. "Synthesis of discrete control systems of industrial robots." *Automation and remote control (USA)*. No. 42.5. 1981. 676–680. Print. 4. Cherkashenko, M. V. "Computer-aided design of discrete control fluid power system." *2 internationales fluidtechnisches colloquium*. Germany, 16–17 marz 2000. Band 1. 495–500. Print. 5. Cherkashenko, M. "Synthesis of schemes of hydraulic and pneumatic automation." *International fluid power symposium in Aachen*. Germany, 20–22 March 2006. No. 1. 147–154. Print. 6. Cherkashenko, M. "Universal devices for building pneumatic control circuits for industrial robots and automatic machines." *Soviet engineering research*. England. 5.2 (1985): 29–31. Print. 7. Cherkashenko, M. V. *Sintez minimalnykh shem gidropnevmoagregatov*. Moscow: Pnevmo gidromashiny, 2013. Print.

Поступила (received) 15.12.2015

**Черкашенко Михаил Владимирович** – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», заведующий кафедрой «Гидравлические машины», г. Харьков; тел.: (057) 707-66-46; e-mail: mchertom@gmail.com.

**Cherkashenko Mihail Vladimirovich** – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Chair at the Department of "Hydraulic machines", Kharkov; tel.: (057) 707-66-46; e-mail: mchertom@gmail.com.

**Вурье Борис Александрович** – доктор технических наук, генеральный директор «Пневмогидропривод», г. Москва, тел.: (057) 707-66-46, e-mail: borisvurye@gmail.com.

**Vurye Boris Aleksandrovich** – Doctor of Technical Sciences, General Director of "Pnevmogidroprivod", Moscow, tel.: (057) 707-66-46, e-mail: borisvurye@gmail.com.

**Гринберг Юрий Исаакович** – генеральный директор ООО «Промгидропривод», г. Харьков, тел.: (057) 783-62-25; e-mail: promgidroprivod@ukr.net.

**Grinberg Yuriy Isaakovich** – General Director of "Promgidroprivod", Kharkov, tel.: (057) 783-62-25; e-mail: promgidroprivod@ukr.net.

**Бондарева Дарья Борисовна** – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», инженер кафедры «Гидравлические машины», г. Харьков; тел.: (057) 707-66-46; e-mail: gmntukhpi@gmail.com.

**Bondareva Daria Borisovna** – National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Engineer at the Department of "Hydraulic machines", Kharkov; tel.: (057) 707-66-46; e-mail: gmntukhpi@gmail.com.