

УДК 681.511.42:622.678.5

В.Ю. Островлянчик, В.А. Кубарев

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ ЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДЪЁМНЫМИ УСТАНОВКАМИ

Требования к надежности и отказоустойчивости систем управления шахтных подъёмных установок (ШПУ), связанные с интенсификацией производства и приведением их к современным требованиям правил безопасности увеличиваются с каждым годом. Поэтому, актуальны исследования направленные на, разработку методик проектирования и описания программируемых средств управления, обеспечивающих оптимальность процесса разработки программного обеспечения для системы управления и надежность работы ШПУ в целом.

Блок-схему типовой системы управления электроприводом (ЭП) ШПУ можно представить, как состоящую из следующих асинхронно взаимодействующих систем (рис. 1): 1) Система технологической автоматики (СА); 2) Система защиты (С3); 3) Система сигнализации (СС); 4) Аппарат задания хода (АЗХ), включающий в себя: устройство контроля положения сосуда, ограничитель скорости, глубиномер; 5) Система управления загрузкой ската (СУЗС); 6) Устройство управления скоростью (УУС), включающего систему автоматического

регулирования скорости, которая поддерживает постоянство скорости подъёма сосуда (САРС) и систему формирования управляющего воздействия (СФУВ), для систем с ЭП постоянного тока или частотного ЭП — система импульсно-фазового управления, для систем с двигателями переменного тока с фазным ротором — система управления контакторами ускорения; 7) Система возбуждения (динамического торможения) подъемного двигателя (СУВПД); 8) На подъемных установках с приводом по системе Г-Д также присутствует система управления возбуждением синхронного двигателя (СУВСД).

При этом СА, СЗ, СС, АЗХ и СУЗС можно объединить в систему логического управления (СЛУ) ШПУ, так принцип действия этих систем заключается в выдаче дискретных, имеющих два состояния «0» и «1» управляющих сигналов, служащих для формирования алгоритма работы ЭП ШПУ.

В общем виде, модель системы логического управления можно представить совокупностью булевых формул:

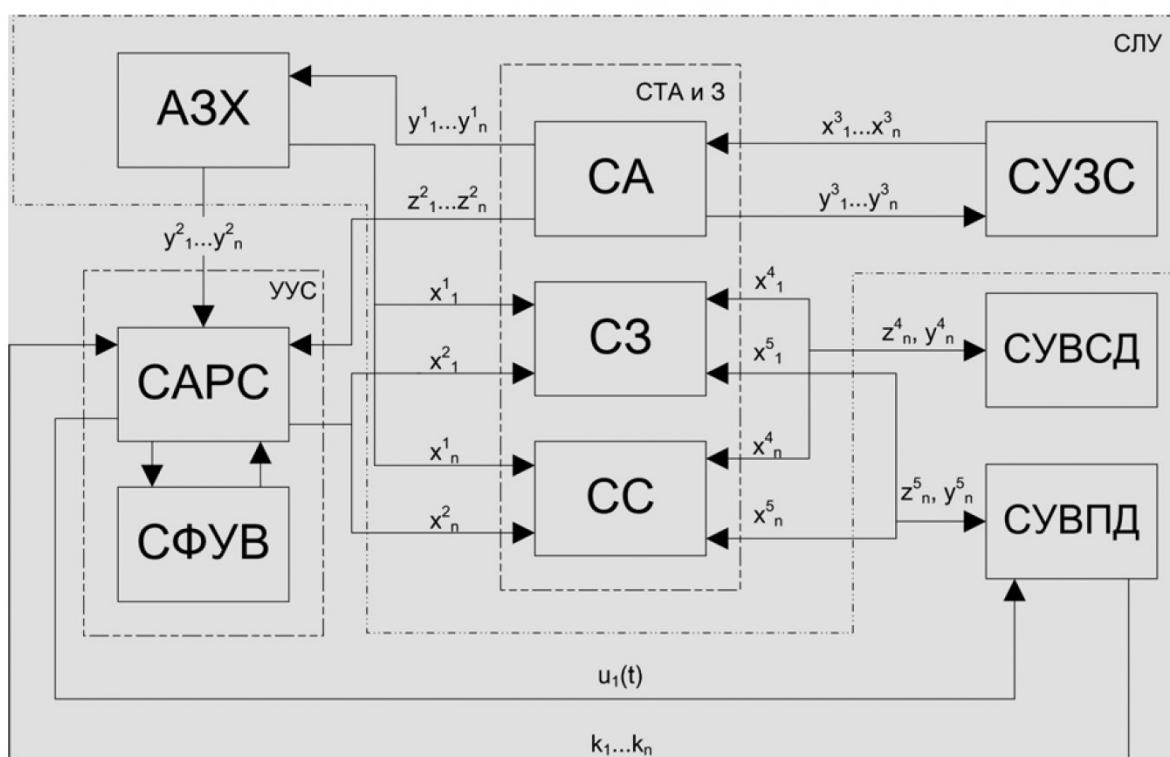


Рис. 1. Блок-схема системы управления электроприводом ШПУ

$$\left. \begin{array}{l} Y_1 = f(X_1 \dots X_m, Z_1 \dots Z_l, \tau_1 \dots \tau_k) \\ \dots \\ Y_n = f(X_1 \dots X_m, Z_1 \dots Z_l, \tau_1 \dots \tau_k) \end{array} \right\}, \quad (1)$$

где $Y_1 \dots Y_n$ — множество дискретных выходных сигналов; $X_1 \dots X_m$ — множество входных дискретных сигналов; $Z_1 \dots Z_l$ — множество дискретных сигналов, формируемых внутри системы; $\tau_1 \dots \tau_k$ — временные задержки, присутствующие в системе.

Для работы со значениями непрерывных сигналов, такими как ток, скорость, напряжение, их значения должны быть приведены через пороговые переменные к определенным логическим внутренним переменным, на которые они воздействуют.

$$Z_1 = \begin{cases} 1, & \text{при } I(t)_1 \geq I'_1 \\ 0, & \text{при } I(t)_1 < I'_1 \end{cases} \quad (2)$$

$$\dots$$

$$Z_l = \begin{cases} 1, & \text{при } I(t)_l \geq I'_l \\ 0, & \text{при } I(t)_l < I'_l \end{cases}$$

где $I_1 \dots I_r$ — множество непрерывных входных сигналов, контроль за которыми должна осуществлять система; $I'_1 \dots I'_r$ — множество граничных значений параметров определяющих достижение непрерывным сигналом определенного значения.

Основной недостаток данного метода в его недостаточной наглядности и сложности восприятия описания, при описании сложных систем [1].

В настоящее время для проектирования систем с преобладающим большинством логических сигналов получают методы теории автоматов и их отдельные приложения [2, 3, 4]. Наиболее распространение получили автоматы Мили и Мура [5].

Для описания СЛУ ШПУ как системы обладающей свойствами автоматов обоих типов, большая часть выходных сигналов системы управления зависит только от состояния, часть же сигналов, формируется в момент изменения состояния, и зависит от входного сигнала, вызвавшего переход, целесообразно применять С-автомат, сочетающий в себе автоматы Мили и

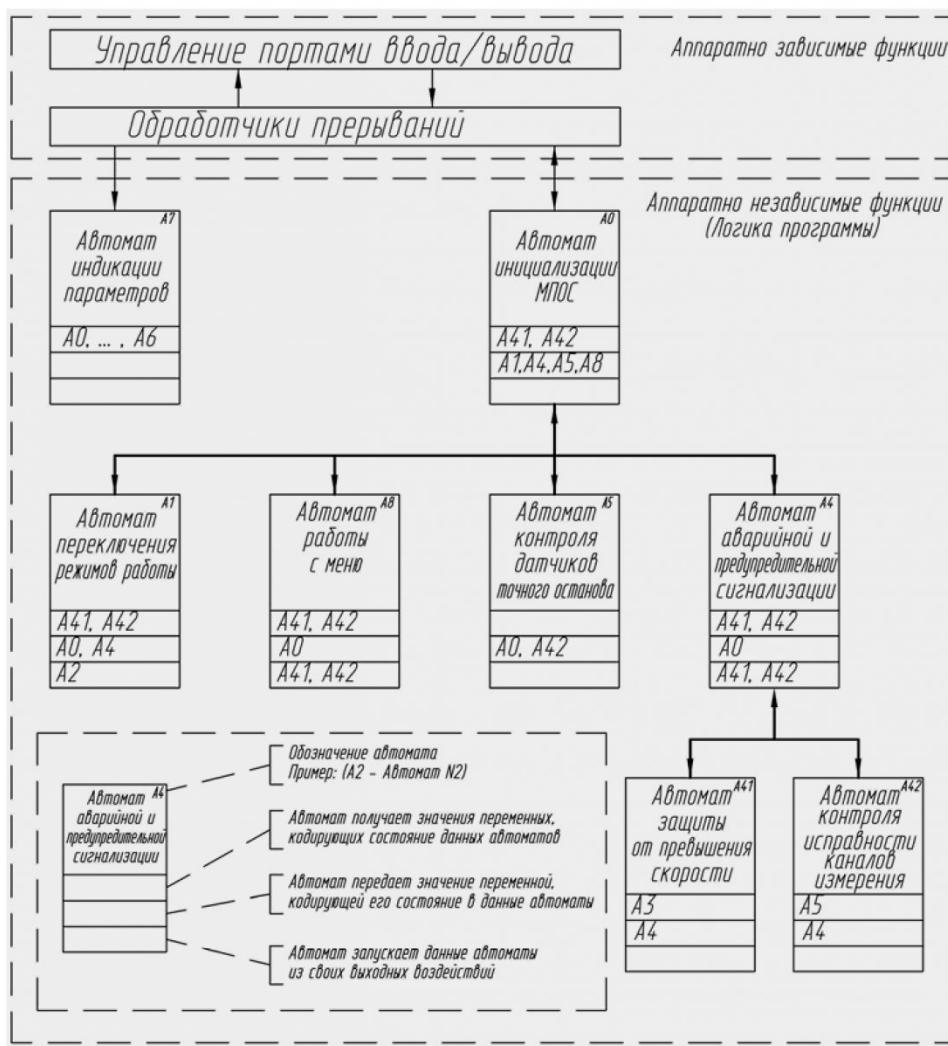


Рис. 2 Схема связи автоматов СЛУ

Алфавит и описания переменных автомата А4

Алфавит	Описание переменной	Алфавит	Описание переменной
x_{10}	Собран ТП	y_{410}	Сигнал ТП
x_{20}	Пуск машины	y_{420}	Снятие ТР
x_{30}	Блокировка	y_{430}	Сигнал «Блокировка»
x_{40}	Точный останов	y_{440}	Наложение ТП
x_{50}	Авария	z_{400}	Сигнал «Не готов»
x_{60}	Квитирование защит	z_{410}	Сигнал «Готов»
y_{400}	Сигнал «Не готов»	z_{420}	Сигнал «Работа»
		z_{430}	Сигнал «Квитирование»

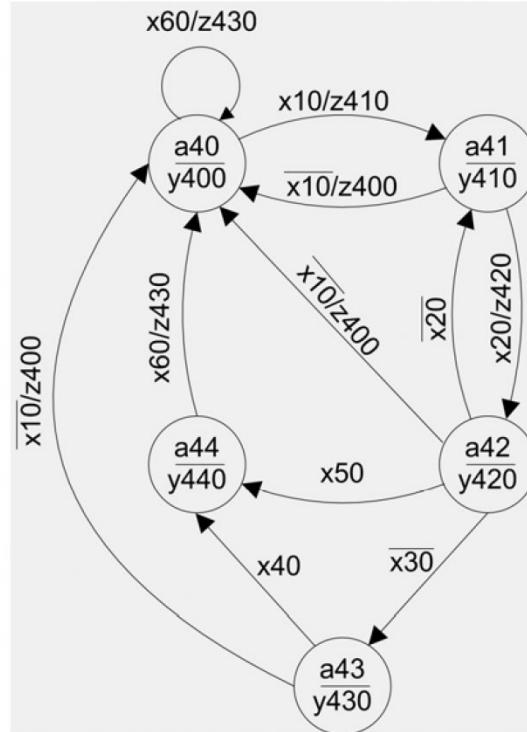


Рис. 3 Граф-схема автомата защиты и сигнализации

Мура. Тогда с учетом (1) и (2) С-автомат СЛУ определяется множеством, из восьми элементов:

$$Q = \{X, A, Y, Z, \sigma, \lambda_1, \lambda_2, a_0\}, \quad (3)$$

где X – множество входных сигналов, A – множество состояний автомата, Y – множество выходных сигналов зависимых только от состояния, Z – множество выходных сигналов, зависящих от входных сигналов, σ – функция переходов автомата, λ_1 – функция выходов автомата, задающая отображение $(A \times X) \rightarrow Y$, λ_2 – функция выходов автомата, задающая отображение $A \rightarrow Y$.

Закон функционирования С-автомата задается следующей системой уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} a(t+1) = \delta(a(t), x(t)) \\ z(t) = \lambda_1(a(t), x(t)), \quad t = 0, 1, 2, \dots \\ y(t) = \lambda_2(a(t)), \quad t = 0, 1, 2, \dots \\ y(t+1) = \lambda_2(a(t+1)) = \lambda_2(\delta(a(t), x(t))) \end{array} \right. \quad (4)$$

Таким образом, математическую модель системы логического управления ШПУ можно представить в виде конечного автомата, с определенным набором состояний, входов и выходов, работающего в дискретном времени $t = 0, 1, 2, 3, \dots$

В момент времени t система находится в состоянии a_t из конечного множества определенных состояний, в момент $t = 0$ – находится в определенном начальном состоянии. Находясь в состоянии a_t и формируя на своих выходах значение y_t автомат принимает разрешенный для данного состояния сигнал $x(t)$, при этом автомат переходит в следующее, разрешенное для него состояние (4):

$$a(t+1) = \delta(a(t), x(t)),$$

с формированием в момент перехода сигнала:

$$z(t) = \lambda_1(a(t), x(t)),$$

перейдя в состояние $a(t+1)$, автомат будет формировать выход:

$$y(t+1) = \lambda_2(a(t+1)) = \lambda_2(\delta(a(t), x(t)))$$

Придерживаясь принципа декомпозиции, программа СЛУ разделяется на аппаратно зависимую часть, в которую входят обработчики прерываний, таймеры и функции, работающие с устройствами ввода вывода конкретного контроллера, и аппаратно независимую часть, реализующую логику работы программы. При этом, логика работы СЛУ представляется в виде совокупности конечных автоматов, каждый из которых состоит из простейших элементов (логических операций и элементов памяти), так чтобы каждой независимой функции, сопоставлялся отдельный автомат, оперирующий

своими входными и выходными данными и действующий независимо [4].

Тогда, результирующее состояние СЛУ для функции (3) примет вид:

$$\begin{aligned} Q_0\{A, Y, Z\} &= f(Q_1\{A_1, Y_1, Z_1\}, \\ &Q_1\{A_2, Y_2, Z_2\}, \dots, Q_n\{A_n, Y_n, Z_n\}) \end{aligned} \quad (5)$$

Схема связи автоматов приведена на рис. 2.

Рассмотрим способ построения на примере автомата аварийной и предупредительной сигнализации.

В автомате А4, выделены 5 состояний работы аварийной и предупредительной сигнализации: a_{40} «Не готов»; a_{41} «Готов», a_{42} «Рабочий режим». Все параметры в допустимых

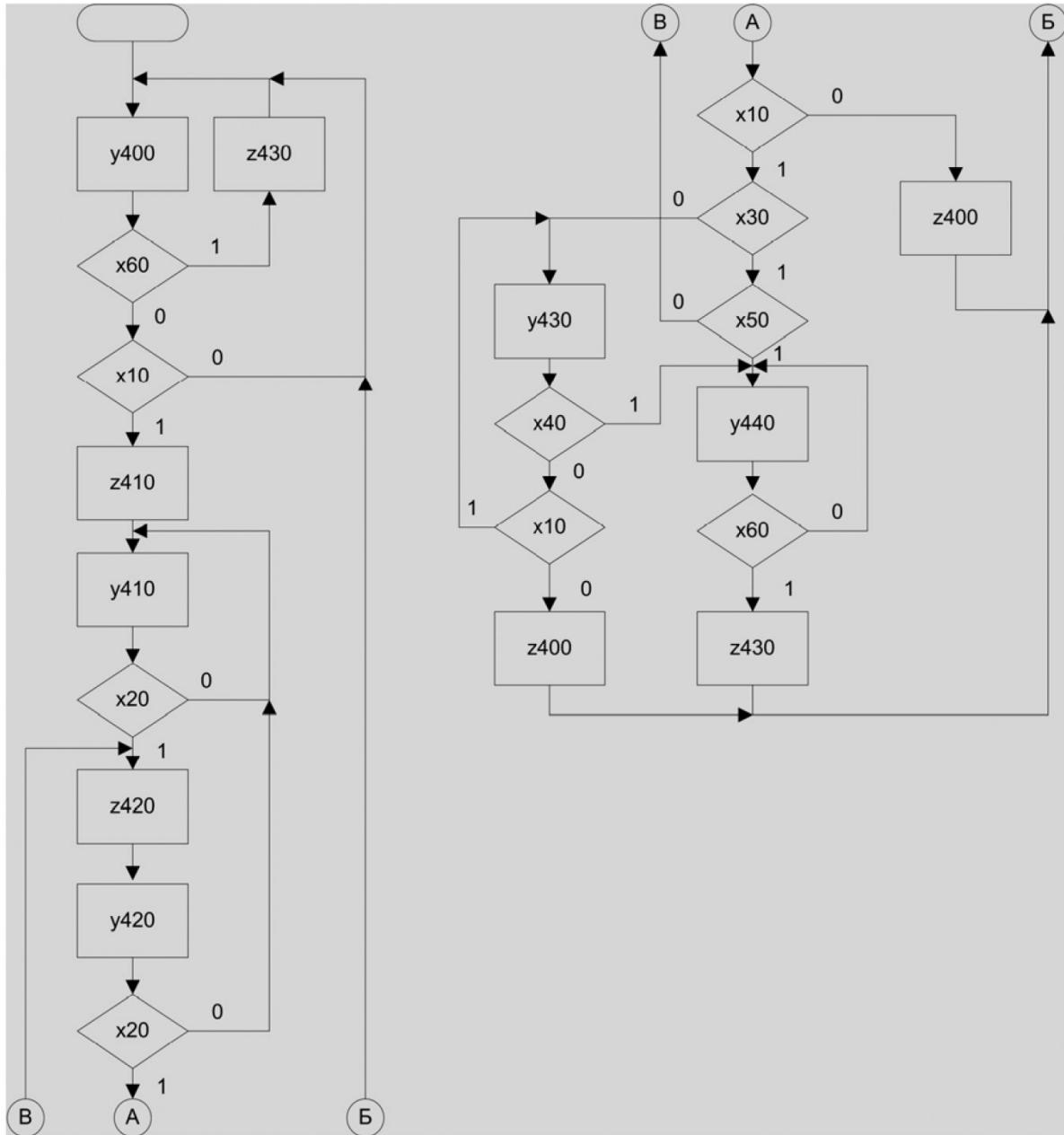


Рис. 4 Алгоритм программы автомата защиты и сигнализации

диапазонах, идет цикл подъема; a_{43}) «Аварийная защита». Аварийное отклонение одного из контролируемых параметров. Производится останов машины наложением предохранительного тормоза. a_{44}) «Аварийная блокировка». Аварийное отклонение контролируемых параметров, позволяющее завершить начатый цикл. Нахождение в состояниях a_{43} и a_{44} не позволяет начинать следующий цикл до вмешательства оператора. Описание используемого алфавита и переменных приведено в таблице, граф автомата приведен на рис. 3.

Полученный график функционирования автомата отражает правила перехода из одного состояния автомата в другое и формирование автоматом выходных воздействий, в зависимости от входной информации и текущего состояния автомата. Граф-схема алгоритма программы позволяет выбрать наиболее оптимальное построение логики программы и гарантирует однозначность программной реализации и логики автомата. На основании приведенного автомата составлен алгоритм, приведенный на рис. 4.

Таким образом, методику разработки СЛУ можно представить следующим образом: 1) описание системы логического управления, в виде математической модели, с использованием алгебры логики и теории автоматов (1, 3). Необходимо учитывать, что особенность СЛУ ШПУ в том, что математическое описание может содержать не только логические выражения, но и линейные и дифференциальные уравнения; 2)

декомпозиция системы на отдельные автоматы, оперирующие своими входными и выходными данными и действующие независимо (5); 3) построение графов и таблиц переходов отдельных автоматов; 4) минимизация состояний графа переходов, удаление неиспользуемых и лишних состояний и переменных соответствующих им; 5) построение по минимизированному графу переходов, алгоритма программы; 6) разработка кода программы на выбранном языке программирования; 7) тестирование и отладка программы.

Использование подобного подхода при разработке программного обеспечения позволяет добиться оптимального решения задачи построения СЛУ, что обеспечивает как надежность спроектированной системы, так и установки в целом и позволяет обеспечить соответствие разрабатываемых алгоритмов и программ, требованиям стандартов регламентирующих надежность, программного обеспечения, использующегося в системах управления опасными объектами.

Данный подход был использован при разработке устройства управления, контроля движения и технологических защит шахтной подъемной установки [6], данные устройства внедрены на ПУ Абаканского филиала ОАО «Евразруд», ОАО «Тыретский солерудник» и шахты «Березовская» УК «Угольная компания «Северный Кузбасс».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шалыто А. А. SWITCH-технология. Алгоритмизация и программирование задач логического управления. — СПб.: Наука. — 628 с.
2. Harel, David. Statecharts: A Visual Formalism for Complex Systems // Sci. Comput. Programming (8), 1987 p. 231 — 274.
3. Шалыто А. А. SWITCH-технология — автоматный подход к созданию программного обеспечения «реактивных» систем / Шалыто А. А., Туккель Н. И. // Программирование, 2001. №5. — с. 45–62.
4. Островлянчик В. Ю. Автоматический электропривод постоянного тока горно-металлургического производства: Учебное пособие. — Новокузнецк: 2004 г. — 383 с.
5. Глушков В. М. Синтез цифровых автоматов. — М.: Физматгиз. — 1962 г., 476с.
6. Патент Российской Федерации RU 2 314 990 C2 // Островлянчик В. Ю., Стексов А. М., Кубарев В. А. Опубликовано 20.01.2008 бюллетень №2.

Авторы статьи:

Островлянчик
Виктор Юрьевич,
докт.техн.наук, профессор, зав.
каф.автоматизированного электропривода и
промышленной электроники (Сибирский
государственный индустриальный
университет),
тел. (384-3) 74-03-88, e-mail:
viktor.ostrovlyanchik@yandex.ru, niiap@kuz.ru

Кубарев
Василий Анатольевич,
ведущий инженер каф.
автоматизированного электропривода
и промышленной электроники
(Сибирский государственный
индустриальный университет), тел.
(384-3) 74-89-87,
e-mail: kva2003@list.ru