

УДК 004.021

МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМАЛИЗОВАННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ЦИКЛИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Багдасарян Р.Х., Левченко В.И.

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар,
e-mail: rafael_555@mail.ru, dad_14@mail.ru*

В статье рассмотрены особенности построения систем управления дискретными процессами, в том числе и циклическими, на основе применения позиционной стандартной структурной организации. Дано описание языка циклических процессов (ЯЦП), рассмотрены особенности составления алгоритмов управления средствами ЯЦП и перехода от формализованного описания к структуре управляющего устройства. Объектом управления является некий агрегат, предназначенный для реализации технологического процесса, оснащенный необходимыми исполнительными механизмами и датчиками. Сам объект управления и технологический процесс являются дискретными, соответственно, исполнительные механизмы и датчики также работают в дискретном режиме. Циклический режим функционирования объекта управления предполагает повторение определенной последовательности ряда технологических операций. Переход от одной операции к другой осуществляется либо по сигналам от технологических датчиков и/или органов ручного управления, либо по истечении определенного времени с начала предшествующей операции, в общем случае – при истинности некоторого заранее определенного логического условия. В системах управления циклическими процессами существуют два основных режима работы: циклический и наладочный, различие между которыми заключается в способе формирования условия перехода от одной операции к другой.

Ключевые слова: алгоритм, управление, методология, циклические процессы, формула управления, формализованное описание

METHODOLOGY FOR THE FORMALIZED PRESENTATION OF THE ALGORITHMS OF CONTROL OF CYCLIC PROCESSES

Bagdasaryan R.Kh., Levchenko V.I.

Kuban State Technological University, Krasnodar, e-mail: rafael_555@mail.ru, dad_14@mail.ru

In the article features of construction of control systems of discrete processes, including cyclic ones, based on the application of the positional standard structural organization are considered. The description of the language of cyclic processes (LCP) is given, features of compiling algorithms for controlling the LCP facilities and transition from the formalized description to the structure of the control device are considered. The object of control is a certain unit, intended for the implementation of the technological process, equipped with the necessary actuators and sensors. The object of control and the technological process are discrete, respectively, the actuators and sensors also operate in a discrete mode. The cyclic mode of operation of the control object involves the repetition of a certain sequence of a number of technological operations. Transition from one operation to another is carried out either by signals from process sensors and / or manual controls, or after a certain time from the beginning of the previous operation, in general – with the truth of some predetermined logical condition. In cyclic process control systems, there are two main operating modes: cyclic and commissioning, the difference between which lies in the way the transition condition is formed from one operation to another.

Keywords: algorithm, management, methodology, cyclic processes, control formula, formal description

Под системой автоматического управления обычно понимают совокупность объекта управления (ОУ) и управляющего устройства (УУ) с учетом всех существующих между ними связей, а также между данной системой и внешними по отношению к ней объектами. Объектом управления, как правило, является некий агрегат, предназначенный для реализации технологического процесса, оснащенный необходимыми исполнительными механизмами и датчиками. Управление такими объектами в настоящее время осуществляется с помощью программируемых логических контроллеров (ПЛК) или программируемых реле (ПР), в связи с чем актуальной является задача эффективной разработки соответствующих программ для них.

Циклический режим функционирования ОУ предполагает повторение определенной

последовательности ряда технологических операций. Переход в циклическом процессе от одной операции к другой осуществляется либо по сигналам от технологических датчиков и/или органов ручного управления, либо по истечении определенного времени с начала предшествующей операции, в общем случае – в случае истинности некоторого заранее определенного логического условия.

Синтез системы управления циклическим процессом предусматривает последовательное решение трех основных задач:

- 1) проектирование ОУ – выбор и установка исполнительных механизмов и датчиков;
- 2) разбиение объекта на подобъекты и описание условий работы каждого подобъекта в заданном циклическом процессе с учетом взаимных связей между подобъектами;

3) построение для каждого подобъекта структуры управляющих устройств: устройство управления циклическим процессом и устройство управления наладочным процессом.

Описание условий работы ОУ должно, с одной стороны, быть формализованным и тем самым допускать применение регулярных методов синтеза дискретных управляющих устройств, с другой стороны, иметь достаточную наглядность и удобство использования. Как показывает опыт, применение для этих целей классических методов описания условий работы дискретных устройств – таблиц включений и таблиц переходов – связано с чрезвычайно трудоемкой процедурой и практически нецелесообразно. Использование же стандартной структурной организации управляющих устройств, реализуемой из типовых функциональных блоков с регулярными связями между ними, обуславливает и применение специальных способов описания условий работы, ориентированных на стандартную структурную организацию, что выгодно отличается от классической теории автоматов [1, 2].

Описание, которое в этом случае называют структурно-ориентированным, составляют таким образом, чтобы определенные языковые конструкции (части описания) однозначно соответствовали функциональным блокам стандартной структуры и связям между ними. Это предельно упрощает переход от описания условий работы к структуре управляющего устройства. Разумеется, при этом может производиться и оптимизация каких-либо структурных

характеристик, однако только в рамках заданной структурной организации.

Цель исследования

Целью работы является выявление особенностей синтеза управляющих устройств для управления дискретными процессами.

Синтез управляющего устройства по позиционной стандартной структурной организации [3] удобно проводить по схеме, показанной на рисунке.

Устройство управления состоит из трех основных блоков: блока условий переходов БУ, блока индикации операций БИО и блока выходов БВ.

Блок условий БУ преобразует набор входных сигналов:

$\{\alpha\}$ – внешние входные сигналы, набор которых определяет реализуемую программу и сохраняется неизменным при ее выполнении;

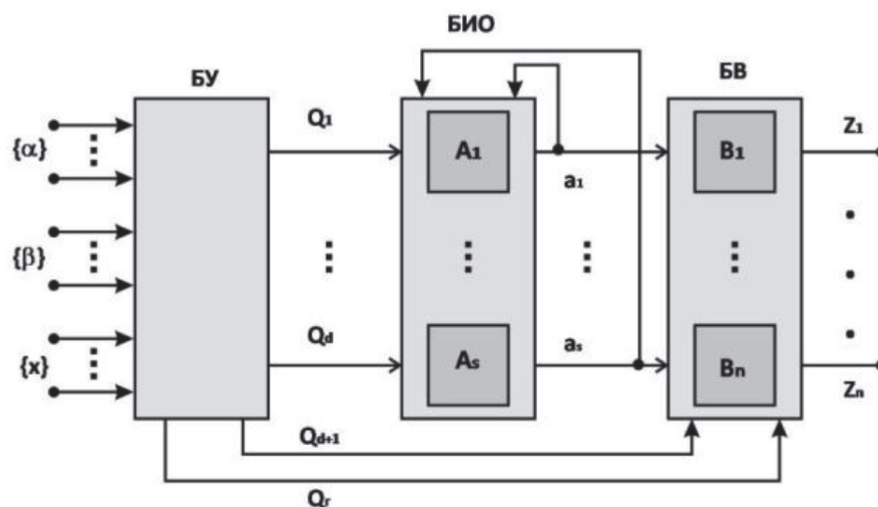
$\{\beta\}$ – сигналы ручного управления;

$\{x\}$ – сигналы от датчиков, контролирующих состояние исполнительных механизмов ОУ и самого ОУ;

– в условия переходов $Q_1, \dots, Q_r$, являющиеся его выходными сигналами.

Блок индикации операций БИО представляет собой набор ячеек $A_1, \dots, A_s$ с выходами $a_1, \dots, a_s$. В каждую ячейку с выходом a_i входит RS-триггер T_i и необходимый набор логических элементов, с помощью которых осуществляется переключение этого триггера.

Блок выходов БВ представляет собой набор ячеек $B_1, \dots, B_n$ с выходами $Z_1, \dots, Z_n$. В каждую ячейку входит RS-триггер и те логические элементы, с помощью которых осуществляется переключение этого триггера.



Блочная позиционная управляющая структура

Материалы и методы исследования

Описание условий работы дискретных управляющих устройств ориентировано на их структурную организацию, в частности позиционной стандартной структурной организации соответствует язык циклических процессов (ЯЦП) [3] и графы циклических процессов (ГЦП).

Язык циклических процессов содержит набор условных знаков (символов), составляющих его алфавит. Определенные сочетания символов образуют формулы ЯЦП, представляющие собой описания циклического процесса. Операциям циклического процесса сопоставляются операторы $A_1, \dots, A_s$, каждый из которых соответствует определенному триггеру блока индикации операций БИО стандартной позиционной структуры (рисунк).

Для первичного запуска циклического процесса применяют оператор начала A_0 .

Между операторами процесса существуют бинарные отношения включения и выключения. Отношение включения заключается в том, что момент начала действия включаемого оператора A_k определяется истинностью некоторого логического условия Q_j обязательно во время действия включающего оператора A_j . В свою очередь начало действия оператора A_k прекращает действие оператора A_j , таким образом, между операторами осуществляется отношение включения/выключения. Иными словами, оператор A_i является включающим по отношению оператора A_k , а оператор A_k является выключающим по отношению оператора A_i .

Описание циклического процесса должно предусматривать задание отношений включения и выключения для всех операторов $A_0, A_1, \dots, A_s$ с ограничением, согласно которому оператор начала A_0 может быть только включающим.

При реализации циклического процесса должны выполняться следующие условия:

- 1) если оператор A_j включает оператор A_p , то оператор A_j выключает оператор A_p ;
- 2) исключается одновременное включение двух и более операторов (детерминированность процесса);
- 3) момент конца действия оператора сдвинут по времени относительно момента начала его действия (действие оператора не мгновенно).

Алфавит языка ЯЦП помимо символов операторов $A_0, A_1, \dots, A_s$ и логических условий $Q_1, \dots, Q_r$ содержит знаки связи – строчные стрелки ($\uparrow, \downarrow$), знак разветвления ($\{$), надстрочные стрелки ($A^{\uparrow 2}, A^{\downarrow 2}$), а также вспомогательные знаки переноса ($-$) и конца ($;$).

Операторы $A_1, \dots, A_s$ означают воздействие на объект управления и устройство управления временными задержками в результате изменения значений некоторых дискретных сигналов $Z_1, \dots, Z_n$ и $U_1, \dots, U_k$. То есть сигналы, в результате изменения которых начинается выполнение очередной операции процесса, сопоставленной данному оператору A_p , перечисляются в верхнем индексе данного оператора A_i с указанием новых значений, которые они принимают. Например, если для оператора A_2 сигнал Z_1 меняет значение с $Z_1 = 0$ на $Z_1 = 1$, а $Z_3 = 1$ на $Z_3 = 0$, то оператор имеет вид $A_2^{1Z_1^0}$.

Частным случаем оператора является «пустой» оператор, который обозначается как A_i° , он соответствует операции, при выполнении которых нет воздействия ни на какие сигналы $Z_1, \dots, Z_n$ и/или $U_1, \dots, U_k$, однако «пустой оператор» может быть выключающим по отношению к другим операторам формулы.

Операторы $A_1, \dots, A_s$ делятся на безусловные и условные. Безусловный оператор характеризуется некоторым изменением значений $Z_1, \dots, Z_n$ и/или $U_1, \dots, U_k$, которое происходит всегда при его действии. Условный оператор отличается тем, что при его действии изменение значений $Z_1, \dots, Z_n$ и/или $U_1, \dots, U_k$ зависит еще от дополнительных логических условий, которые указываются в квадратных скобках в верхнем индексе данного оператора перед теми переменными, изменение которых будет происходить только в случае истинности данного условия. Например, если при действии оператора A_2 переменная Z_1 изменяется всегда, а переменная Z_3 только в случае истинности дополнительного условия Q_1 , то условный оператор записывают в виде $A_2^{1[Q_1]Z_3^0}$.

Логические условия $Q_1, \dots, Q_r$ зависят в общем случае от переменных $x_1, \dots, x_m; a_1, \dots, a_g; \beta_1, \dots, \beta_h$ (рисунк) и выражаются с помощью некоторых элементарных логических функций: комбинационных и/или последовательностных.

Алфавит ЯЦП содержит также строчные стрелки для обозначения перехода от логического условия к оператору при описании отношения включения [3]. Строчные стрелки записывают в строку с символами логических условий и операторов. Стрелку, направленную вверх ($\uparrow$), называют выходной, а стрелку, направленную вниз ($\downarrow$), входной.

Выходную и входную стрелки для определенного перехода отмечают одним и тем же номером.

Знак разветвления применяют для обозначения отношения включения, когда от оператора A_i возможен переход к одному из множества операторов $A_{j1}, \dots, A_{jp}$. Он имеет форму открывающейся фигурной скобки, которая ставится после оператора:

$$\left\{ \begin{array}{l} [Q_1] A_{j1} \dots \\ \vdots \\ [Q_p] A_{jp} \dots \end{array} \right.$$

Надстрочные стрелки применяют для обозначения отношения выключения. Нумерованную входную стрелку ставят над символом выключаемого оператора, а выходную стрелку – над символом выключающего оператора.

Знак переноса имеет вид тире, отмеченного номером.

Знак конца в виде точки с запятой ставят после тех операторов, которые не являются включающими по отношению к другим операторам.

Формулой ЯЦП называют запись, состоящую из нескольких строк, связанных между собой переходами.

Строкой называют горизонтальную цепочку символов из алфавита ЯЦП, которая удовлетворяет следующим условиям:

- а) начальным символом строки может быть либо оператор начала A_0 , либо логическое условие, либо входная строчная стрелка;
- б) конечным символом строки является либо выходная строчная стрелка ($\uparrow$), либо знак конца ($;$);
- в) между начальным и конечным символами строки расположена последовательность, состоящая

из чередующихся между собой символов операторов и логических условий.

Сама формула ЯЦП должна удовлетворять следующим условиям:

1) содержит хотя бы одну строку, начинающуюся с оператора начала A_0 , и хотя бы одну строку, заканчивающуюся знаком конца (;);

2) если строка, входящая в формулу, заканчивается знаком разветвления, то справа от него располагают строки, начальными символами которых могут быть либо логические условия, либо входные строчные стрелки;

3) строки, составляющие формулу, не должны содержать операторы с одинаковыми нижними индексами (кроме A_0);

4) строки, составляющие формулу, не должны содержать входные строчные стрелки с одинаковым номером (иначе нарушается однозначность переходов).

Формула ЯЦП читается слева направо построчно, причем чтение начинают всегда с одной из строк, начальным символом которой является оператор A_0 .

Строку также читают слева направо от начального символа к конечному, причем входные строчные стрелки во внимание не принимают.

Со строки на строку переходят либо по строчным стрелкам, отмеченным одинаковыми номерами, либо с помощью знака разветвления, который стоит после оператора A_j . При этом переход осуществляется к той строке, начальное логическое условие которой истинно во время действия оператора A_j .

Свойства циклических процессов отражены в следующих особенностях формулы:

а) если операторы A_i и A_j связаны отношением включения-выключения, где A_i – предшественник, а A_j – последователь, то при чтении формулы всегда имеется переход от A_i к A_j ;

б) если логическое условие, записанное после знака разветвления, приняло единичное значение, то включается первый оператор соответствующей строки и выключается оператор, стоящий перед знаком разветвления; переход к другим строкам после знака разветвления при этом невозможен, только при выполнении другого цикла, в котором истинным будет другое условие;

в) если оператор A_i не включает оператор A_j , но оператор A_j выключает оператор A_i , то над A_i и A_j ставятся соответственно входная и выходная надстрочные стрелки с одинаковым номером. В частности, над оператором, который расположен перед знаком конца, всегда стоит входная надстрочная стрелка, а над оператором, который вызывается любой момент при аварийном вмешательстве в процесс, всегда стоит выходная надстрочная стрелка;

г) если оператор A_i включает A_j , то в момент появления (истинности) логического условия, по которому начинает действовать оператор A_j , логическое условие, вызывающее оператор A_j , должно отсутствовать (быть ложным). В том случае, когда оператор A_p выключает оператор A_q , но A_q не включает A_p , из вер-

шины A_p проводится пунктирное ребро в вершину A_q , которое не отмечается условием перехода.

Результаты исследования и их обсуждение

Методика построения устройств управления циклическими процессами, построенных по стандартной позиционной структуре, должно происходить в следующей последовательности выполнения этапов:

1) составление словесного описания технологического процесса в целом или по узлам с учетом циклического и наладочного режимов;

2) составление формализованного описания условий работы управляющего устройства на языке ЯЦП;

3) составление уравнений, описывающих логику работы блоков позиционной структуры (БУ, БИО и БВ);

4) составление структурных схем блоков управляющего устройства по полученным уравнениям;

5) реализация разработанного алгоритма средствами конфигурирования конкретного прибора (ПЛК или ПР) [4, 5].

Выводы

Рассмотренная методика позволяет достаточно быстро и эффективно производить разработку дискретных управляющих устройств. Практика использования ЯЦП для решения подобных задач подтвердила высокую эффективность рассмотренной методологии.

Список литературы

1. Кудрявцев В.Б. Теория автоматов: учебник для бакалавриата и магистратуры / В.Б. Кудрявцев, С.В. Алешин, А.С. Подколзин. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2018. – 320 с.
2. Горбатов В.А. Теория автоматов: учеб. для студентов вузов / В.А. Горбатов, А.В. Горбатов, М.В. Горбатова. – М.: АСТ: Астрель, 2008. – 559 с.
3. Элементы и схемы пневмоавтоматики / Т.К. Беренде, Т.К. Ефремова, А.А. Тагаевская, С.А. Юдицкий. – Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: «Машиностроение», 1976. – 246 с.
4. Рачков М.Ю. Пневматические системы автоматизации: учебное пособие для академического бакалавриата / М.Ю. Рачков. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2018. – 285 с.
5. Левченко В.И. Дискретно-аналоговое управляющее устройство / В.И. Левченко // Сборник научных статей VII Международной научно-практической конференции «Научные чтения имени профессора Н.Е. Жуковского». – 2017. – С. 234–237.