

## АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

УДК 681.5

Е. А. МУРАВЬЕВА, А. Ф. АНТИПИН

МНОГОМЕРНЫЙ ДИСКРЕТНО-ЛОГИЧЕСКИЙ РЕГУЛЯТОР  
РАСХОДА ВОЗДУХА ПАРОВОГО КОТЛА С МИНИМИЗАЦИЕЙ  
ВРЕМЕНИ ОТКЛИКА

Предложено с помощью многомерного дискретно-логического регулятора минимизировать время отклика системы регулирования расхода воздуха парового котла. Показано, что по быстродействию многомерный дискретно-логический регулятор более чем в 4 раза превосходит регулятор, основанный на системе типовых производственных правил. *Дискретно-логический регулятор; фаззификация; система типовых производственных правил*

В существующих регуляторах расхода воздуха парового котла, основанных на системе типовых производственных правил (ТПР) вида, представленного на рис. 1, обработка всех правил вычислительным процессором регулятора происходит последовательно и может продолжаться после нахождения требуемого значения параметра объекта управления, что влечет за собой потери быстродействия и избыточное использование вычислительных ресурсов.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ЕСЛИ} \langle \text{условие } 1 \rangle, \text{ ТО} \langle \text{действие } 1 \rangle \\ \text{ЕСЛИ} \langle \text{условие } 2 \rangle, \text{ ТО} \langle \text{действие } 2 \rangle \\ \dots \\ \dots \\ \text{ЕСЛИ} \langle \text{условие } N-1 \rangle, \text{ ТО} \langle \text{действие } N-1 \rangle \\ \text{ЕСЛИ} \langle \text{условие } N \rangle, \text{ ТО} \langle \text{действие } N \rangle \end{array} \right.$$

Рис. 1. Система типовых производственных правил

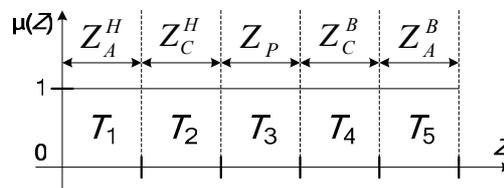
Многомерный дискретно-логический регулятор (ДЛР) [1] позволяет сократить потери быстродействия за счет преобразования числовых физических величин системы в набор четких термов по аналогии с процессом фаззификации из теории нечеткой логики [2], с заменой системы типовых производственных правил на базу данных правил и управляющих воздействий.

1. ЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИНИМИЗАЦИИ  
ВРЕМЕНИ ОТКЛИКА

В ДЛР минимизация времени отклика стала возможной, благодаря интерпретации числовой физической величины эквивалентной совокупностью четких термов, представленной на рис. 2.

На рис. 2 приведены следующие условные обозначения состояний числовой физической величины  $Z$ :

- $Z_A^H, Z_A^B$  – нижнее и верхнее аварийные состояния соответственно;
- $Z_C^H, Z_C^B$  – нижнее и верхнее сигнальные состояния соответственно;
- $Z_P$  – рабочее состояние.

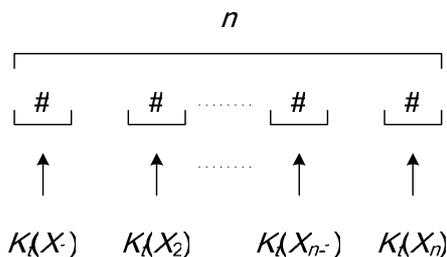
Рис. 2. Размещение четких термов  $T$  физической величины  $Z$  на универсальной числовой оси

Из рис. 2 следует, что в любой момент времени  $t$  должен быть активен только один четкий терм  $T$  числовой физической величины  $Z$  и, как следствие, только одно производственное правило.

Структура многомерного ДЛР позволяет заменить систему типовых производственных правил на базу правил и управляющих воздействий, которая представляет собой упорядоченную систему (массив) значений управляющих воздействий на объект управления и механизм формирования уникального номера производственного правила, необходимый для установки требуемого значения воздействия.

Номер активного, действующего в текущий момент времени  $t$ , производственного правила для системы регулирования с  $n$ -входными параметрами будет формироваться согласно схеме, представленной на рис. 3, где  $K_i(X_1), K_i(X_2), \dots, K_i(X_{n-1}), K_i(X_n)$  – номера активных в момент вре-

мени  $t$  четких термов входных числовых величин  $X_1, X_2, \dots, X_{n-1}, X_n$ .



**Рис. 3.** Схема формулы для определения уникального номера активного производственного правила в момент времени  $t$

На практике все числовые физические величины, как правило, будут иметь не более 7–9 четких термов: 3–5 термов обозначают различные рабочие состояния, 2 терма – сигнальные состояния (сигнализация), оставшиеся 2 терма – блокировочные (аварийные) состояния. Из этого следует, что максимальное количество знаков уникального числового номера для каждого производственного правила будет равно числу входных параметров системы регулирования.

Если в производственном правиле не используются четкие термы каких-либо входных числовых параметров системы, то при формировании уникального номера правила количество знаков остается неизменным, а вместо номера активного терма выставляется число «0». Таким образом, многомерный ДЛР позволяет разбить сложные производственные правила на ряд простых.

Максимальное количество производственных правил  $R$  для системы регулирования с  $n$ -входными параметрами  $X$  будет вычисляться по формуле:

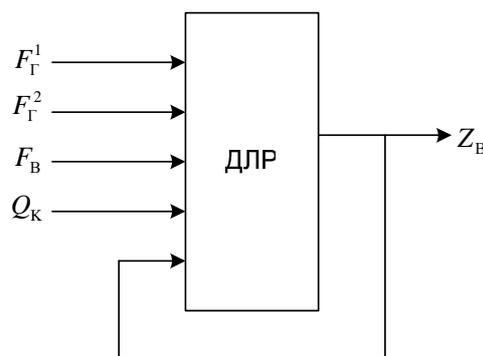
$$R = (K(X_1) + 1)(K(X_2) + 1) \times \dots \times (K(X_{N-1}) + 1)(K(X_N) + 1) - 1. \quad (1)$$

Из (1) очевидно, что увеличение числа четких термов хотя бы одного входного параметра системы повлечет за собой многократное увеличение максимального количества производственных правил, что увеличит точность ее описания, но при этом уменьшит ее быстродействие.

## 2. МИНИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕНИ ОТКЛИКА СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДА ВОЗДУХА ПАРОВОГО КОТЛА НА БАЗЕ ДЛР

На рис. 4 представлена блок-схема ДЛР системы регулирования расхода общего воздуха на котел в зависимости от расхода топливно-

го газа и концентрации кислорода в дымовых газах.



**Рис. 4.** Блок-схема ДЛР системы регулирования расхода воздуха на паровой котел

На рис. 4 приведены следующие условные обозначения:

- $F_G^1$  – расход газа на котел (в точке № 1);
- $F_G^2$  – расход газа на котел (в точке № 2);
- $F_B$  – расход воздуха на котел;
- $Q_K$  – концентрация кислорода в дымовых газах;
- $Z_B$  – степень воздействия (в процентах) на направляющий аппарат дутьевого вентилятора.

Регулятор воздуха на паровой котел предназначен для поддержания наиболее экономичного режима сжигания топлива в топке котла. Воздействуя на направляющий аппарат дутьевого вентилятора, регулятор устанавливает расход воздуха в соответствии с текущим расходом топливного газа и требуемой концентрации кислорода в дымовых газах.

Каждый из входных параметров ДЛР имеет по 5 четких термов: 1 терм обозначает рабочее состояние, 2 терма – сигнальные состояния, и оставшиеся 2 терма – блокировочные (аварийные) состояния.

Максимальное число производственных правил  $R$  находится по формуле 1.

$$R = (5 + 1)(5 + 1)(5 + 1)(5 + 1) - 1 = 1295. \quad (2)$$

Уникальные номера производственных правил для данной системы регулирования расположены в следующих числовых диапазонах: 0001÷0005, 0010÷0015, ..., 3320÷3325, 3330÷3335, ..., 5540÷5545, 5550÷5555.

На практике из 1295 производственных правил обычно используются приблизительно 100÷120 правил, из которых 16 обозначают переход любого из входных параметров системы из рабочего состояния в сигнальное или аварийное.

Пример карты битов для данной системы регулирования в момент времени  $t$  представлен

на рис. 5. Штрихом обозначены активные, действующие в текущий момент времени  $t$ , биты, то есть биты, которые до момента времени  $t$  изменили свое состояние с «0» на «1». Все остальные биты в момент времени  $t$  имеют состояние равное «0».

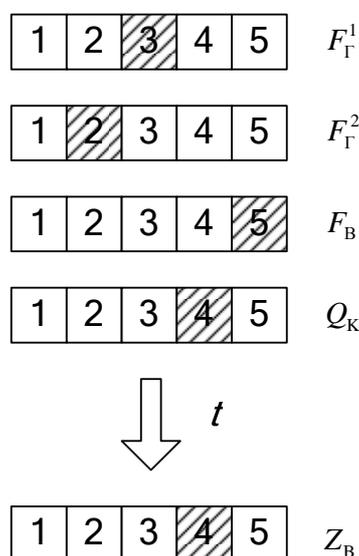


Рис. 5. Карта битов системы регулирования расхода воздуха на котел в момент времени  $t$

В табл. 1 представлена расшифровка обозначений битов в карте битов.

Таблица 1

Назначение битов в карте битов

№ бита	Назначение бита
1	нижнее аварийное состояние
2	нижнее сигнальное состояние
3	основное рабочее состояние
4	верхнее сигнальное состояние
5	верхнее аварийное состояние

Согласно схеме определения номера продукционного правила, представленной на рис. 3, уникальный номер активного, действующего в текущий момент времени  $t$ , продукционного правила будет равен 3254.

На рис. 6 изображена схема блоков многомерного ДЛР системы регулирования расхода воздуха на паровой котел в момент времени  $t$ .

На рис. 6 использованы следующие основные обозначения [4]:

- БФ1, БФ2, БФ3, БФ4 – блоки фаззификаторов ДЛР;
- БП – блок правил и управляющих воздействий ДЛР;
- БДФ – блок дефаззификатора ДЛР.

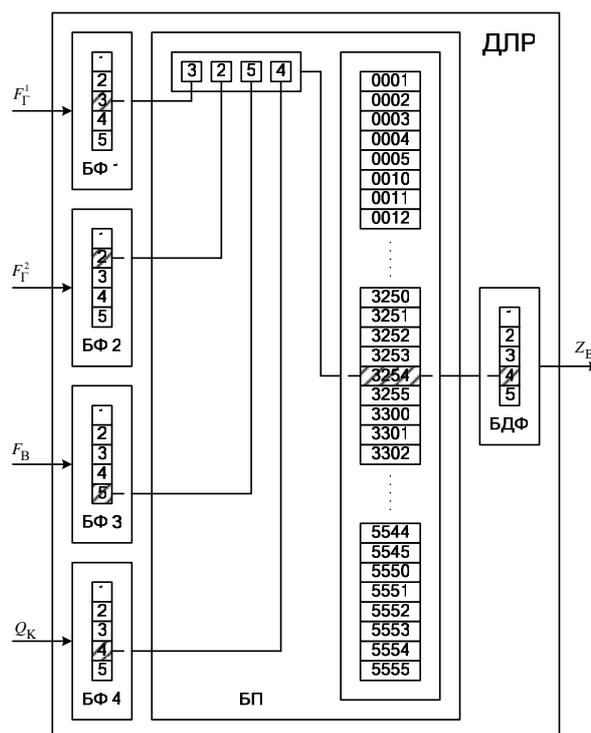


Рис. 6. Схема блоков многомерного ДЛР системы регулирования расхода воздуха на паровой котел в момент времени  $t$

Из рис. 6 следует, что для данной системы регулирования на этапе выполнения программы ДЛР в каждом цикле программы будут выполняться 20 логических операций для фаззификации 4 числовых физических величин и 5 операций со словами для формирования уникального номера продукционного правила.

Максимальное число логических операций при использовании ДЛР  $L$  зависит от суммарного числа четких термов  $n$ -входных числовых величин системы регулирования и находится следующим образом:

$$L = \sum_{i=1}^n K(X_i). \quad (3)$$

Максимальное число логических операций ДЛР расхода воздуха на паровой котел, согласно (3), будет равно 20.

При использовании ТПР в системе регулирования расхода воздуха на паровой котел в каждом цикле программы регулятора будут выполняться 100÷120 логических операций. Максимальное число логических операций при использовании ТПР будет равно максимальному числу продукционных правил для данной системы регулирования, то есть 1295.

### 3. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА МНОГОМЕРНОГО ДЛР РАСХОДА ВОЗДУХА ПАРОВОГО КОТЛА С МИНИМИЗАЦИЕЙ ВРЕМЕНИ ОТКЛИКА

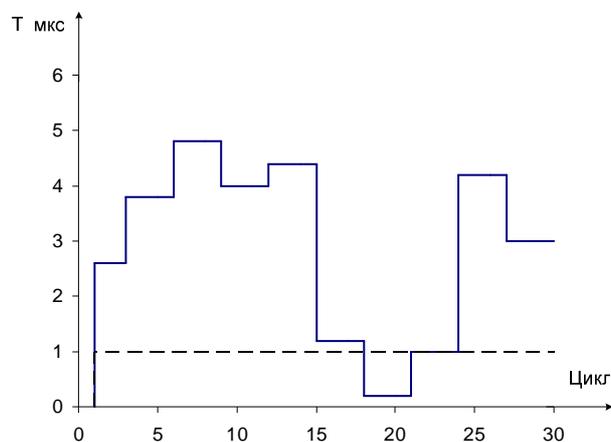
В табл. 2 представлены минимальные значения величин времени в микросекундах, необходимые для выполнения одной операции центральным процессорным устройством (ЦПУ) контроллеров S7 фирмы Siemens [3].

В табл. 3 представлены минимальные значения величин времени, затраченные ЦПУ контроллеров Siemens S7 в каждом цикле выполнения программ ДЛР и ТПР для формирования управляющего воздействия на объект управления в системе регулирования расхода воздуха на паровой котел.

Минимальное время, необходимое для выполнения одного цикла программы ТПР ЦПУ контроллеров Siemens S7 при максимальном числе логических операций, равном 1295, будет лежать в диапазоне  $38,85 \div 259$  мкс в зависимости от типа ЦПУ контроллера Siemens S7.

На рис. 7 представлен график значений величин времени в микросекундах, затраченного ЦПУ контроллера S7 416-2F на выработку зна-

чения управляющего воздействия на объект управления в системе регулирования расхода воздуха на котел в течение 30 программных циклов при использовании ДЛР (штриховая линия) и ТПР (сплошная линия) с экспертным (120) числом логических операций.



**Рис. 7.** График производительности ЦПУ контроллера Siemens S7 416-2F при использовании ДЛР и ТПР с экспертным числом логических операций (120)

Таблица 2

Таблица производительности контроллеров S7 фирмы Siemens

Наименование операции контроллеров Siemens S7	Минимальное время, необходимое для выполнения одной операции ЦПУ контроллеров Siemens S7, мкс							
	312C	314	315-2DP	317F-2DP	412-2	414-3	416-2F	417-4
1. Логическая операция	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,06	0,04	0,03
2. Операция со словами	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,06	0,04	0,03

Таблица 3

Таблица производительности контроллеров S7 для системы регулирования расхода воздуха парового котла

Наименование логического регулятора	Минимальное время, необходимое для выполнения одного цикла программы ЦПУ контроллеров Siemens S7, мкс							
	312C	314	315-2DP	317F-2DP	412-2	414-3	416-2F	417-4
1. ТПР (120 логических операций)	24	12	12	12	12	7,2	4,8	3,6
2. ДЛР (20 логических операций, 5 операций со словами)	6	3	3	2,5	2,5	1,5	1	0,75

Из табл. 3 и графика, представленного на рис. 7, следует, что при использовании многомерного ДЛР значение величины времени, затраченного ЦПУ контроллера S7 416-2F на выработку значения управляющего воздействия на объект управления в системе регулирования расхода воздуха на котел, в каждом цикле выполнения программы регулятора будет постоянно и равно 1 мкс. В то же время при использовании ТПР это значение будет варьироваться от 0,04 до 4,8 мкс.

### ВЫВОДЫ

1. Предложена блок-схема ДЛР с минимизацией времени отклика системы регулирования расхода воздуха на паровой котел.

2. По сравнению с ТПР в ДЛР продолжительность цикла обработки продукционных правил есть постоянная величина, не меняющаяся в течение всего времени обработки программы.

3. В ДЛР продолжительность цикла обработки продукционных правил более чем в 4 раза меньше, чем в ТПР, что позволяет увеличить быстродействие системы регулирования.

4. Структура ДЛР избавляет ЦПУ контроллеров от обработки максимального числа продукционных правил, устраняет их избыточность, взаимное исключение и/или противоречие.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Муравьева Е. А., Каяшева Г. А.** Решение о выдаче патента на изобретение № 2006107.7334/09 (007956) «Нечеткий регулятор с лингвистической обратной связью для управления технологическими процессами» с приоритетом от 09.03.2006 года.

2. **Круглов В. В., Дли М. И., Голунов Р. Ю.** Нечеткая логика и искусственные нейронные сети: Учеб. пособие. М.: Изд-во физ.-мат. лит-ры, 2001. 224 с.

3. Каталог продукции Siemens 2008 [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Siemens AG, 2008. Электрон. опт. диск (CD-ROM).

4. **Муравьева Е. А., Каяшева Г. А.** Патент № 2309443 РФ // Бюллетень изобретений. 2007. № 39.

### ОБ АВТОРАХ



**Муравьева Елена Александровна**, доц. каф. автоматиз. технол. и инф. систем фил. УГНТУ в г. Стерлитамак. Дипл. инж. (УГНТУ, 1998). Канд. техн. наук по автоматиз. и упр. технол. проц. и произв. (УГАТУ, 2001). Иссл. в обл. интел. упр-я.



**Антипин Андрей Федорович**, асп. каф. автоматиз. хим.-технол. проц. УГНТУ. Дипл. инж. по автоматиз. (УГНТУ, 2006). Готовит дис. в обл. интел. упр. сл. техн. сист. с исп. дискр.-лог. моделей.