

УДК 62.529(075.8)

**СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ И СНИЖЕНИЯ
ПОГРЕШНОСТИ МНОГОМЕРНОГО ЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО
РЕГУЛЯТОРА**

**METHOD FOR INCREASING SPEED AND REDUCING THE ERROR
OF MULTIDIMENSIONAL PRECISE LOGIC CONTROLLER**

Муравьева Е. А., Усанин О.А., Кубряк А.В.

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,
филиал, г. Стерлитамак, Российская Федерация**

E. A. Muraveva, O.A. Usanin, A.I. Kubryak

**Ufa State Petroleum Technological University, Branch,
Sterlitamak, Russian Federation**

LLC "HeidelbergcementRus", Sterlitamak, Russian Federation

Аннотация. Предложен новый способ повышения быстродействия многомерных четких логических регуляторов (МЧЛР), основанный на размещении продукционных правил в ситуационные подпрограммы, начало которых фиксируется в специальном регистре процедурой фаззификации по равенству логической единице четких термов регулируемого параметра. Это позволило без утраты адекватности управления в каждом цикле сканирования обрабатывать только одну подпрограмму, выбранную при фаззификации, а не всю систему продукционных правил регулятора.

По своей логической природе каждая ситуационная подпрограмма представляет собой программную реализацию продукционного правила, которое необходимо отработать при равенстве логической единице одного из четких термов каждого регулируемого параметра МЧЛР. При

корректном задании диапазонов регулирования выходных переменных МЧЛР в каждом цикле сканирования микропроцессор обрабатывает по одному правилу для каждого контура регулирования многомерного четкого логического регулятора. Причем для нахождения этого правила используется стандартная процедура обращения к подпрограмме, которая в настоящее время хорошо минимизирована по процессорному времени и объему памяти. В типовых многомерных нечетких логических регуляторах в подобных ситуациях в каждом контуре обрабатывается вся система, насчитывающая десятки, а то и сотни производственных правил, что приводит к существенному снижению быстродействия.

Два фундаментальные свойства (в любой момент времени только один терм равен логической единице и только у одного правила antecedent равен логической единице) рассматриваемых совокупности четких термов и системы производственных правил являются теоретической основой повышения быстродействия и снижения погрешности МЧЛР.

Abstract. A novel technique has been suggested for increasing multidimensional precise logic controller (MPLC) speed of action based on arrangement of production rules in situation subprograms, initial points of which are registered in special register by fuzzification procedure according to equality to the logical unit of the control parameters precise terms. It enabled to process but one subprogram selected during fuzzification rather than the entire system of the controller production rules without damaging control adequacy in each scanning cycle.

According to their logical nature, each situation subprogram is a software implementation of a production rule, which must be executed when one of the precise terms of each MPLC controlled parameter is equal to a logical unit. The correct assignment of MPLC controlled output variables ranges the microprocessor executes one rule for each multidimensional precise logic controller loop. And to find this rule, the standard procedure for applying to the subprogram is used, which is now well minimized by microprocessor time and

storage. It should be noted that in the standard multivariate fuzzy logic controllers the entire system is executed, comprising out of tens or even hundreds of production rules in similar situations in each loop, which leads to a significant decrease in performance.

Two fundamental properties (at any given instant both only one term and only an antecedent of one rule is equal to a logical unit) of precise terms set and production rules systems under consideration are the theoretical basis for improving MPLC speed and reducing its error.

Ключевые слова: интеллектуальное управление; многосвязный объект; ситуационная подпрограмма; многомерный четкий логический регулятор; производственное правило; быстродействие; четкий терм; цикл сканирования; процедура фаззификации.

Key words: intelligent control; multilinked object; situational subprogram; multidimensional crisp logic controller; production rule; speed; precise term; scanning cycle; fuzzification procedure.

Интерпретация входных и выходных переменных многомерных четких логических регуляторов (МЧЛР) совокупностью четких термов предоставляет широкие возможности для повышения их быстродействия с помощью any-time [2] и step-time [3] алгоритмов, позволяющих без потери адекватности управления в каждом цикле сканирования обрабатывать (актуализировать) не всю, а только часть (5÷10)% системы производственных правил МЧЛР. Недостатком первого из них является необходимость с заданной периодичностью в начало системы производственных правил с помощью специального программного блока располагать правилами, у которых условная часть (антецедент) чаще принимала значение логической единицы. Во втором случае существенно усложняется процедура синтеза и отладки МЧЛР, т. к. для выработки актуального управляющего воздействия в режиме реального времени необходимо

формировать уникальный идентификационный код. Предлагаемый МЧЛР лишен упомянутых недостатков.

На рисунке 1 представлена логическая схема алгоритма функционирования n -мерного четкого логического регулятора, состоящая из следующих программных блоков: n фаззификаторов (по одному для каждого контура регулирования МЧЛР); сканирования дискретных входных и выходных переменных объекта управления; ситуационных подпрограмм $((D_1 \rightarrow СПП_1) \div (D_n \rightarrow СПП_n))$.

Фаззификатор каждого из n контуров регулирования включает в себя: операторы условного перехода $((T_{i1} \equiv 1) \div (T_{i9} \equiv 1))$, где i – текущий контур регулирования МЧЛР; $((D_i \equiv T_{i1}) \div (D_i \equiv T_{i9}))$ – регистры обращения к ситуационным подпрограммам; $АЛ_{i\phi}$ – оператор отработки аварийных ситуаций. Без утраты общности рассуждений и для определенности принято входные и выходные переменные МЧЛР идентифицировать девятью четкими термами. Практика показывает [1], что в подавляющем большинстве случаев увеличение количества термов не приводит к существенному повышению качества регулирования.

Рассмотрим работу алгоритма, схема которого представлена на рисунке 1. Цикл сканирования программы, реализующей МЧЛР, начинается с отработки операторов условного перехода, входящих в состав фаззификаторов контуров регулирования МЧЛР. Например, если в первом контуре четкий терм T_{11} равен логической единице, то микропроцессор по ветке «1» переходит к оператору $(D_1 \equiv T_{11})$ и в регистр D_1 записывает адрес начала ситуационной подпрограммы $СПП_1$. Если терм T_{11} равен логическому нулю, то управление передается к оператору $(T_{12} \equiv 1)$, который производит действия, аналогичные оператору $(T_{11} \equiv 1)$ и т.д. аналогично вплоть до оператора $(T_{19} \equiv 1)$.

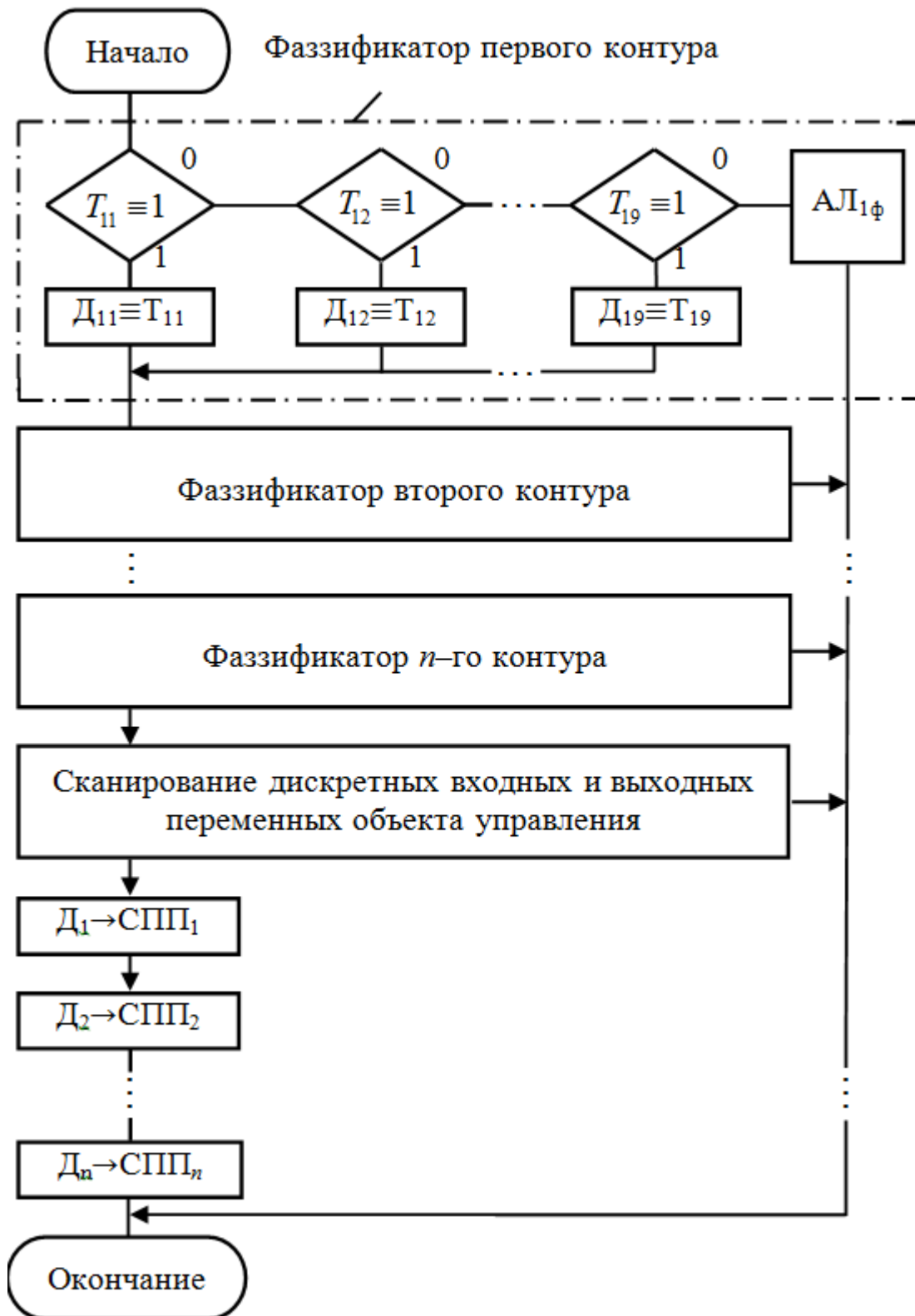


Рисунок 1. Логическая схема алгоритма функционирования n -мерного четкого логического регулятора

Если окажется, что все термы ($T_{11} \div T_{19}$) равны логическому нулю, то это говорит о некорректном задании диапазона фаззификации и управление передается оператору $АЛ_{1\phi}$ с последующим сообщением о сбое

в работе МЧЛР. В случае равенства одного из четких термов ($T_{11} \div T_{19}$) логической единице микропроцессор переходит к аналогичной обработке фаззификатора второго контура регулирования, затем второго и т.д. до фаззификатора n -го контура.

Затем определяется текущее логическое значение дискретных входных и выходных переменных объекта управления (путевые датчики, кнопки управления, включение и выключение исполнительных органов и т.д.). Здесь же проверяется логическое состояние переменных, идентифицирующих аварийную ситуацию.

Цикл сканирования программы, реализующей МЧЛР, завершается обработкой блока ситуационных подпрограмм (СПП). Если предположить, что для интерпретации всех регулируемых переменных МЧЛР используется одинаковое число m четких термов, то общее количество СПП для рассматриваемого регулятора будет равно $(n \times m)$.

По своей логической природе каждая СПП представляет собой программную реализацию продукционного правила, которое необходимо отработать при равенстве логической единице одного из четких термов каждого регулируемого параметра МЧЛР. Отсюда следует, что при корректном задании диапазонов регулирования выходных переменных МЧЛР в каждом цикле сканирования микропроцессор обрабатывает n продукционных правил, то есть по одному правилу для каждого контура регулирования МЧЛР. Отметим, что в типовых многомерных нечетких логических регуляторах [1] в подобных ситуациях в каждом контуре отрабатывается вся система, насчитывающая десятки, а то и сотни продукционных правил.

В качестве примера на рисунке 2 представлена логическая схема алгоритма, который следует выполнить при равенстве логической единице четкого терма T_{11} и антецедента $\overline{T_{12}} \cdot X_1 \cdot \overline{Y_2} + \overline{T_{13}} \cdot X_2 \cdot Y_3$ продукционного правила:

$$\text{Если } (\bar{0}_{12} \cdot X_1 \cdot \bar{Y}_2 + \bar{T}_{13} \cdot X_2 \cdot Y_3) \cdot T_{11} = 1, \text{ то } Z_1 = Z_{11}, \quad (1)$$

где T_{12} , T_{13} – второй и третий четкие термы первого контура регулирования МЧЛР; X_1 , X_2 – дискретные входные, а Y_2 и Y_3 – выходные переменные многосвязного объекта управления (МОУ).

Правило (1) реализовано в СПП₁. Из рисунка 2 следует, что при равенстве условной части правила (1) логической единице регулируемой величине первого контура МЧЛР присваивается значение терма Z_{11} . Затем производится дефаззификация и выдача четкого значения управляющего воздействия U_1 , соответствующего четкому терму Z_{11} . В противном случае управляющее воздействие в рассматриваемом контуре не изменяется. Иначе говоря, в целях экономии памяти и повышения быстродействия регулятора в ситуационной подпрограмме совмещены процедуры логического вывода и дефаззификации. Функционирование остальных ситуационных подпрограмм аналогично.

Поскольку условная часть правила (1) является функцией двузначной логики, то для синтеза и минимизации её структуры правомерно использовать средства алгебры Буля (синтез логических функций по их единичным значениям или с помощью последовательностных уравнений, минимизацию функций двузначной логики методом Квайна-Мак-Класки и т. д.). Это способствует сокращению сроков и повышению качества проектирования МЧЛР. Кроме того, независимо от сложности структуры antecedента продукционного правила, результатом его сканирования является один из термов регулируемой величины (рисунок 3), ширина которого определяют погрешность регулирования. Поскольку минимальная ширина четкого терма определяется разрешающей способностью программируемого контроллера, на котором реализован МЧЛР, то становится ясно, здесь имеются практически неограниченные возможности для снижения погрешности регулирования.

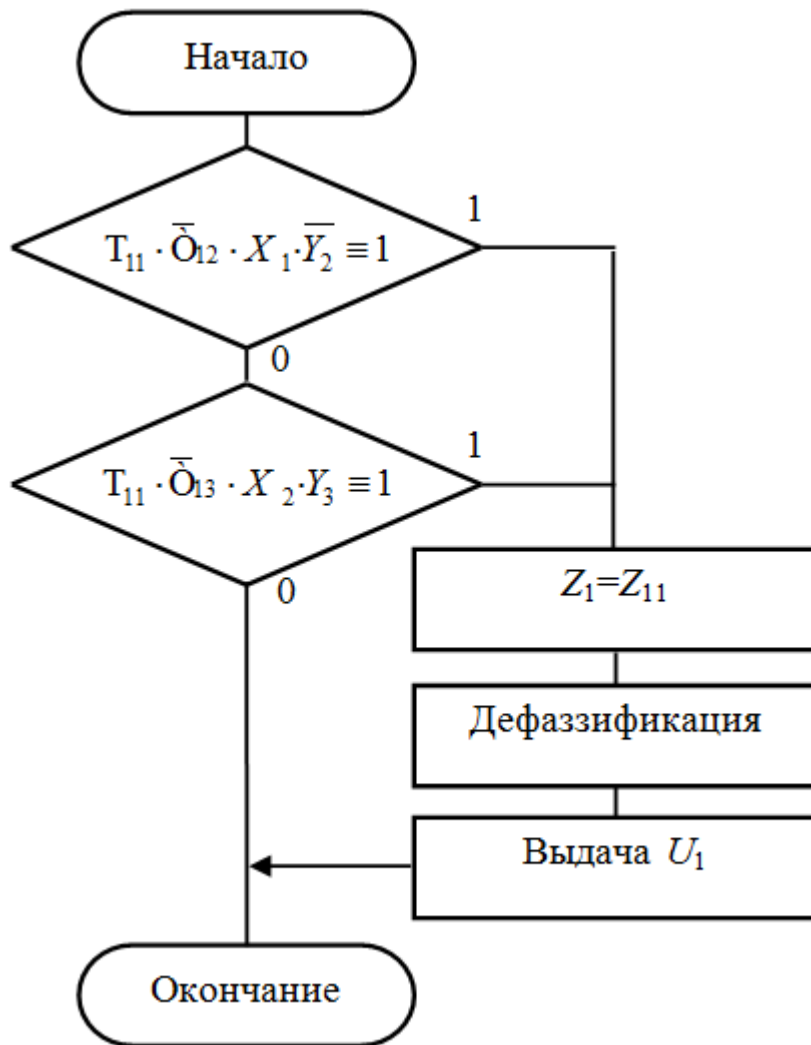


Рисунок 2. Программная реализация продукционного правила (1)

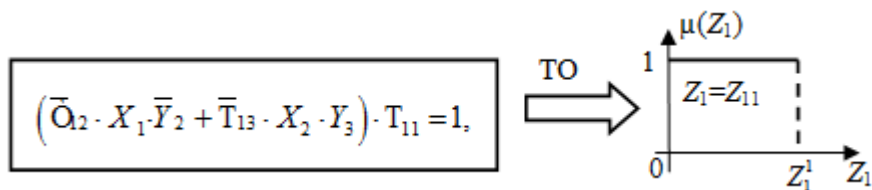


Рисунок 3. Схема отработки продукционного правила (1)

Однако возможности схемы алгоритма на рисунке 1 для повышения быстродействия МЧЛР значительно шире, поскольку в каждом цикле сканирования обрабатывается не вся система продукционных правил регулятора, а только одно правило, antecedent которого в данный момент равен логической единице. Причем для нахождения этого правил используется стандартная процедура обращения к подпрограмме, которая в настоящее время хорошо минимизирована по процессорному времени и объему памяти.

На основе алгоритма функционирования многомерного четкого логического регулятора разработана её структурная схема [6, 7, 8,9] (рисунка 4), состоящая из четырех основных блоков: Φ – фаззификатора; СДП МОУ– сканирования дискретных входных ($X_1 \div X_s$) и выходных ($Y_1 \div Y_k$) переменных многосвязного объекта управления, где s и k – их количество соответственно; ОСПП – отработки ситуационных подпрограмм; МОУ – многосвязный объект управления с n регулируруемыми параметрами.

Фаззификатор Φ имеет входы задающих воздействий ($Z_1 \div Z_n$) и обратных связей ($P_1 \div P_n$). Его выход соединен с блоком СДП МОУ, на входы которого подаются дискретные входные ($X_1 \div X_s$) и выходные переменные ($Y_1 \div Y_k$) объекта управления. Выход блока СДП МОУ соединен с входом блока ОСПП, выходные сигналы ($U_1 \div U_{1n}$) которого в аналоговом (четком) формате подаются на исполнительный орган многосвязного объекта управления.

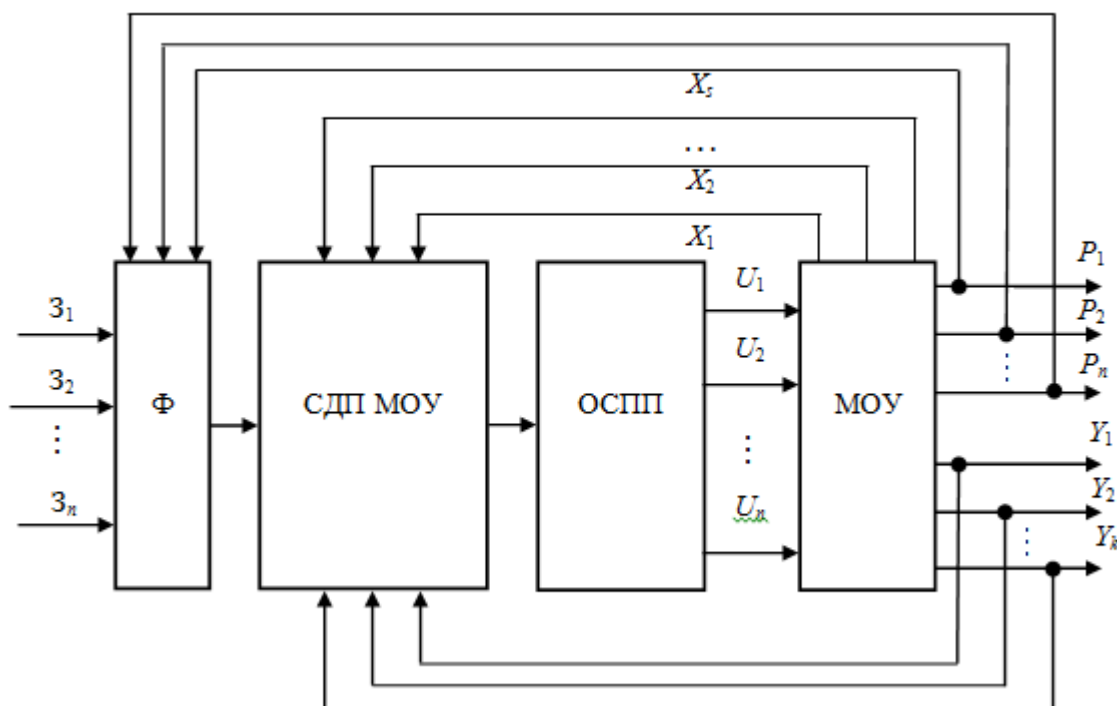


Рисунок 4. Структурная схема многомерного четкого логического регулятора

Интерпретация i -ой регулируемой (P_i) и задающей (Z_i) переменных совокупностью из m четких термов приведено на рисунке 5, а. Из него следует, что в любой момент времени только один терм равен логической единице, причем тот, внутри которого в настоящий момент находится четкое значение P_i и Z_i , что соответствует здравому смыслу. В свою очередь, из-за этого в системе продукционных правил, оперирующей четкими термами, в любой момент времени только у одного правила антецедент равен логической единице. Именно эти фундаментальные свойства рассматриваемых совокупности четких термов и системы продукционных правил является теоретической основой повышения быстродействия и снижения погрешности МЧЛР.

Аналитически базовое терм-множество, изображенное на рисунке 5, а, можно представить следующим выражением:

$$T(p) = \{T_1(0 \leq p < l), T_2(l \leq p < 2l), T_3(2l \leq p < 3l), \dots, T_i((i-1)l \leq p < il), T_m((m-1)l \leq p < ml)\}, \quad (2)$$

где l – ширина четкого терма.

Однако на практике выражение (2) удобнее использовать в следующей форме:

$$T(p) = \sum_{i=1}^m T_i((i-1)l \leq p < il) = \sum_{i=1}^m T_i(il). \quad (3)$$

Функция принадлежности дискретных входных (X_j) и выходных (Y_g) переменных объекта управления представлена на рисунках 5, б. И она может принимать два логических значения:

$$\begin{cases} \mu(x_j \text{ или } y_g) = 1, \text{ если } x_j \text{ или } y_g \text{ включены;} \\ \mu(x_j \text{ или } y_g) = 0, \text{ если } x_j \text{ или } y_g \text{ отключены.} \end{cases} \quad (4)$$

Из рисунков 5, а и б, а также формул (2 – 4) следует, что четкие термы и дискретные сигналы имеют единую логическую природу – они являются аргументами двузначной логики, что является теоретическим

обоснованием для совместного использования их в продукционных правилах.

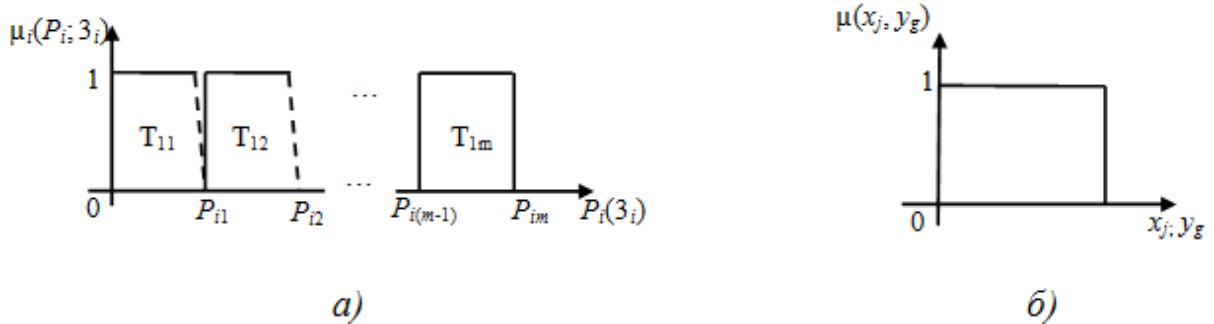


Рисунок 5. Функции принадлежности четких термов (а) и дискретных переменных (б) многомерного объекта управления

Произведем количественную оценку снижения времени сканирования программы, реализующей МЧЛР, по сравнению с типовым нечетким регулятором. Время, необходимое для выполнения одного цикла сканирования фаззификаторов для предлагаемого нечеткого регулятора, равно

$$T_{\text{фп}} = \sum_{i=1}^n (m_{i\text{ф}} t_{y_i}^{\text{ф}} + t_{z_i}^{\text{ф}}), \quad (5)$$

где $m_{i\text{ф}}$ – количество продукций, отработанных в текущем цикле сканирования i -го фаззификатора n -мерного четкого логического регулятора; $t_{y_i}^{\text{ф}}, t_{z_i}^{\text{ф}}$ – длительность отработки условной и заключительной частей продукционного правила i -го фаззификатора соответственно (предполагается, что $t_{y_i}^{\text{ф}}$ и $t_{z_i}^{\text{ф}}$ являются постоянными величинами).

Для подавляющего большинства программируемых контроллеров [1], на которых реализованы МЧЛР $t_{y_i}^{\text{ф}} = t_{z_i}^{\text{ф}} = \text{Const}$, а $m_{i\text{ф}} = 0,2m_i$. Здесь m_i – число продукционных правил в i -м фаззификаторе МЧЛР ($i=1 \div n$). С учетом приведенных условий и при $m_i = m = \text{Const}$ для всех фаззификаторов МЧЛР выражение (5) принимает следующий вид:

$$T_{\phi n} = n(0,2m + 1)t_{yi}^{\phi}, \quad (6)$$

При тех же условиях, что и для выражения (5) продолжительность цикла сканирования системы ситуационных подпрограмм (ССП) определяется по формуле

$$T_{cnn} = \sum_{j=1}^n (t_{yj}^{cnn} + t_{zj}^{cnn}), \quad (7)$$

где t_{yj}^{cnn} и t_{zj}^{cnn} – длительность отработки условной и заключительной частей продукционного правила j -ой ситуационной подпрограммы соответственно (предполагается, что t_{yj}^{cnn} и, t_{zj}^{cnn} являются постоянными величинами).

Для подавляющего большинства программируемых контроллеров [1, 4], на которых реализован МЧЛР $t_{yj}^{cnn} = 2t_{zj}^{cnn} = \text{Const}$, поэтому выражение (7) можно привести к следующему виду:

$$T_{cnn} = 1,5nt_{yj}^{cnn}. \quad (8)$$

Общее время сканирования фаззификаторов и СПП предлагаемого МЧЛР равно сумме правых частей выражений (6) и (8):

$$T_{cn} = T_{\phi n} + T_{cnn} = n(0,2m + 2,5)t_{yn}, \quad (9)$$

где $t_{yn} = t_{yi}^{\phi} = t_{yj}^{cnn} = \text{Const}$.

Аналогичным образом при тех же условиях выражение для продолжительности сканирования фаззификаторов и системы продукционных правил в типовом многомерном нечетком логическом регуляторе:

$$T_{cm} = 4nmt_{ym}, \quad (10)$$

где t_{ym} – время сканирования условной части продукционного правила типового нечеткого регулятора.

Определим во сколько раз снизилось время сканирования в предлагаемом МЧЛР по сравнению в типовом многомерном нечетком регуляторе, в котором, как известно [1], в каждом цикле сканирования

безусловно обрабатывается вся программа, реализующая фазсификацию и регулирование. С этой целью при условии $t_{yn}=t_{ym}$ разделим правую часть выражения (10) на такую же выражения (9):

$$K_{пб} = \frac{4m}{0,2m + 2,5}, \quad (11)$$

где $K_{пб}$ – коэффициент повышения быстродействия предлагаемого МЧЛР.

Как следует из выражения (11) $K_{пб}$ не зависит от n и, например, при $m=9$ быстродействие МЧЛР по сравнению с типовым многомерным нечетким логическим регулятором повышается в 8,37 раза.

Предложенный логический регулятор [9, 10] внедрен в систему управления дистиллятором [5]. На рисунке 6 представлены временные зависимости значений pH жидкости на выходе из дистиллятора без (сплошная линия) и с использованием МЧЛР с компенсацией взаимного влияния контуров регулирования (штриховая линия).

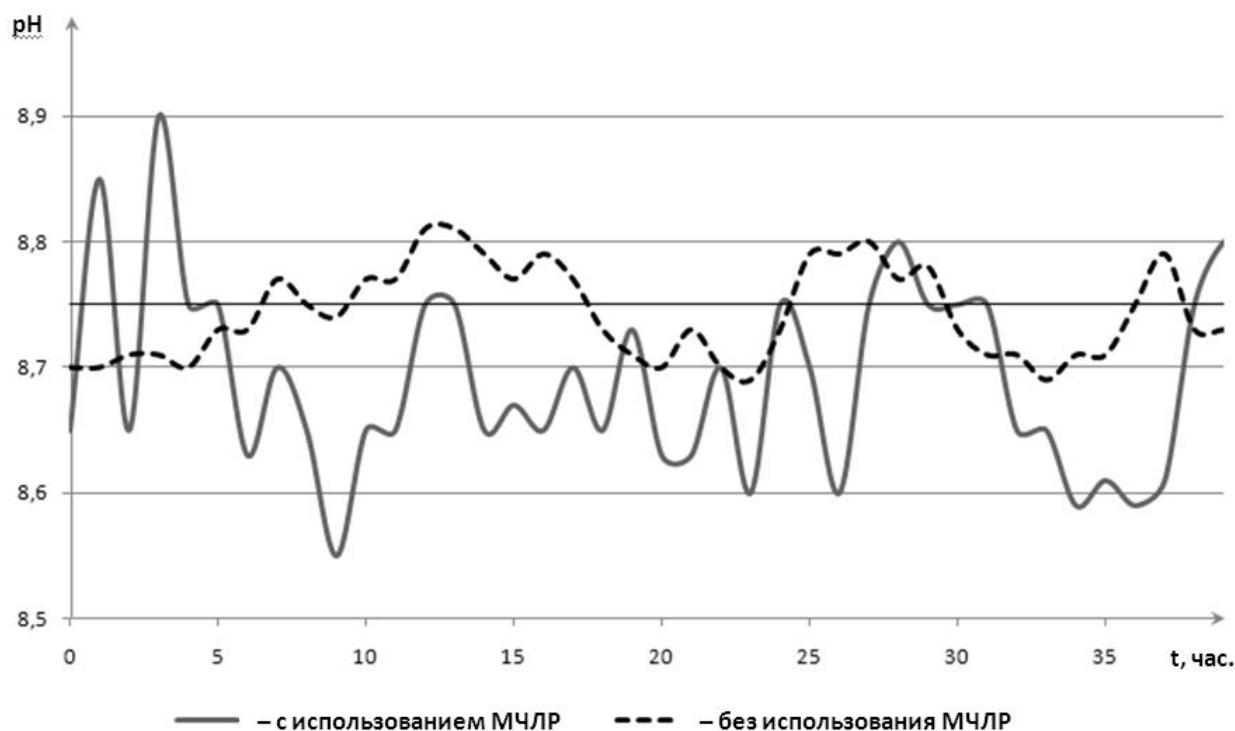


Рисунок 6. Графики изменения значения pH жидкости на выходе из дистиллятора в течение периода времени

Из рисунка 6 следует, что использование многомерного логического регулятора позволило снизить в среднем погрешность регулирования на 42%, а перерегулирование по значению pH жидкости на выходе дистиллятора – на 57 %.

Выводы

Внедрение многомерного логического регулятора, обладающего повышенным быстродействием и сниженной погрешностью, в систему управления дистиллятором позволило повысить качество управления технологическим процессом дистилляции в процессе производства соды.

Список используемых источников

1 Гостев В.И. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 411 с.: ил.

2 Муравьева Е.А. Дискретно-логический регулятор с any-time алгоритмом минимизации времени отклика // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий. Уфа: Гилем, 2007. С. 63–65.

3 Муравьева Е.А., Антипин А.Ф. Многомерный дискретно-логический регулятор расхода воздуха парового котла с минимизацией времени отклика // Вестник УГАТУ. Серия «Управление, вычислительная техника и информатика». 2009. Т.13, №2(35). С.83–87.

4 Круглов В.В., Дли М.И. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода. М.: Физматлит, 2002. 256 с.

5 Антипин А.Ф. Интеллектуальные системы управления технологическими процессами на основе многомерных четких логических регуляторов: дис...канд. техн. наук. Уфа, 2010. 160 с.

6 Соловьев К.А., Муравьева Е.А., Султанов Р.Г. Адаптация нечеткого регулятора // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. /УГНТУ. 2014. № 3. С. 123-128.URL:http://ngdelo.ru/files/old_ngdelo/2014/3/ngdelo-3-2014-p123-128.pdf

7 Муравьева Е.А. Методология автоматизированного управления многосвязными технологическими процессами, реализованная на многомерных чётких логических регуляторах//Современные проблемы науки и образования в техническом вузе: материалы Всерос. науч. практ. конф. Уфа, 2013. С. 102-107.

8 Муравьева Е. А. Каяшев А. И. Проектирование систем управления дискретным производством в среде TraceMode 6: учебное пособие (С грифом УМО АМ). Уфа: УГАТУ, 2011. 149 с.

9 Четкий логический регулятор для управления технологическими процессами/А. И. Каяшев, Е. А. Муравьева, Р. Ф. Габитов: пат. №2445669 от 20.03.2012.

10 Kayashev A., Muravyova E., Sharipov M., Emekeev A., Sagdatullin A. Verbally defined processes controlled by fuzzy controllers with input/output parameters represented by set of precise terms. В сборнике: Proceedings of 2014 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS 2014 2014. С. 698.

References

1 Gostev V.I. Proektirovanie nechetkih reguljatorov dlja sistem avtomaticheskogo upravlenija. SPb.: BHV-Peterburg, 2011. 411 s.: il. [in Russian].

2 Murav'eva E.A. Diskretno-logicheskij reguljator s any-time algoritmom minimizacii vremeni otklika // Jelektrotehnologii, jelektroprivod i jelektrooborudovanie predpriyatij. Ufa: Gilem, 2007. S. 63–65. [in Russian].

3 Murav'eva E.A., Antipin A.F. Mnogomernyj diskretno-logicheskij reguljator rashoda vozduha parovogo kotla s minimizaciej vremeni otklika // Vestnik UGATU. Serija «Upravlenie, vychislitel'naja tehnika i informatika». 2009. T.13, №2(35). S.83–87. [in Russian].

4 Kruglov V.V., Dli M.I. Intellektual'nye informacionnye sistemy: komp'juternaja podderzhka sistem nechetkoj logiki i nechetkogo vyvoda. M.: Fizmatlit, 2002. 256 s. [in Russian].

5 Antipin A.F. Intellektual'nye sistemy upravlenija tehnologicheskimi processami na osnove mnogomernyh chetkih logicheskikh reguljatorov: dis...kand. tehn. nauk. Ufa, 2010. 160 c. [in Russian].

6 Solov'ev K.A., Murav'eva E.A., Sultanov R.G. Adaptacija nechetkogo reguljatora // Neftegazovoe delo: jelektron. nauch. zhurn. /UGNTU. 2014. № 3. S. 123-128.URL:http://ngdelo.ru/files/old_ngdelo/2014/3/ngdelo-3-2014-p123-128.pdf [in Russian].

7 Murav'eva E.A. Metodologija avtomatizirovannogo upravlenija mnogosvjaznymi tehnologicheskimi processami, realizovannaja na mnogomernyh chjotkih logicheskikh reguljatorah//Sovremennye problemy nauki i obrazovanija v tehničeskom vuze: materialy Vseros. nauch. prakt. konf. Ufa, 2013. S. 102-107. [in Russian].

8 Murav'eva E. A. Kajashev A. I. Proektirovanie sistem upravlenija diskretnym proizvodstvom v srede TraceMode 6: uchebnoe posobie (S grifom UMO AM). Ufa: UGATU, 2011. 149 s. [in Russian].

9 Chetkij logicheskij reguljator dlja upravlenija tehnologicheskimi processami/A. I. Kajashev, E. A. Murav'eva, R. F. Gabitov: pat. №2445669 ot 20.03.2012. [in Russian].

10 Kayashev A., Muravyova E., Sharipov M., Emekeev A., Sagdatullin A. Verbally defined processes controlled by fuzzy controllers with input/output parameters represented by set of precise terms. V sbornike: Proceedings of 2014 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS 2014 2014. S. 698. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Муравьева Е. А., д-р техн. наук, доцент, заведующая кафедрой «Автоматизированные технологические и информационные системы» ФГБОУ ВО УГНТУ, филиал, г. Стерлитамак, Российская Федерация

E. A. Muraveva, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Chair «Automated Technological and Information Systems» FSBEI HE USPTU, Branch, Sterlitamak, Russian Federation

e-mail: muraveva_ea@mail.ru

Усанин О.А. Главный метролог ООО "Хайдельбергцемент Рус", г. Стерлитамак, Российская Федерация

O.A. Usanin, Chief metrologist LLC "HeidelbergcementRus", Sterlitamak, Russian Federation

e-mail: muraveva_ea@mail.ru

Кубряк А.И., студент ФГБОУ ВО УГНТУ, филиал, г. Стерлитамак, Российская Федерация

A.I. Kubryak, student, FSBEI HE USPTU, Branch, Sterlitamak, Russian Federation

e-mail: falcone.kub@gmail.com