

УДК 004.896

**М.В. Бобырь**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: fregat\_mn@rambler.ru)

**А.Е. Архипов**, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: alex.76\_09@mail.ru)

**Н.А. Милостная**, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: nat\_mil@mail.ru)

**М.А.А. Абдулджаббар**, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: mohammed88@mail.ru)

## УСТРОЙСТВО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ НЕЧЕТКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОХЛАЖДЕНИЕМ ИЗДЕЛИЙ

*Рассмотрено моделирование процесса расчета управляющих параметров в задаче охлаждения поверхностей деталей при их обработке на оборудовании с ЧПУ. Предложена нечеткая модель определения силы тока, питающего термоэлемент, с целью управления интенсивностью охлаждения поверхностей обрабатываемых изделий. Нечеткая модель состоит из четырех шагов. На первом шаге осуществляется расчет степеней истинности функций принадлежности. Входные функции принадлежности имеют треугольную форму, а выходная переменная представлена синглтонной функцией. На втором шаге выполняется расчет степеней предпосылок двадцати семи нечетких правил. На третьем шаге производится расчет одиннадцати уровней заключений нечетких правил. На четвертом шаге реализована дефаззификация четкого значения на основе упрощенного нечеткого вывода. После этого определяются коэффициент масштабирования, уровень выходного напряжения. Также осуществляется проверка условия равенства коллекторного тока расчетному значению. В случае невыполнения данного условия, осуществляется перерасчет уровня выходного напряжения, до тех пор, пока не будет выполняться заданное условие. Основной проблемой при работе данной системы является расчет напряжения на выходе микроконтроллера, соответствующего требуемой силе тока на термоэлементе с максимальным быстродействием. Для обеспечения высокого быстродействия при расчете напряжения, устройство, выполняющее эту операцию, реализовано на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС), и в нечеткой системе дефаззификация основана на упрощенном нечетко-логическом выводе. В статье приведено численное моделирование, поясняющее суть предложенного технического решения. Представлены временные диаграммы работы устройства управления охлаждением и устройств преобразования напряжения-ток в системе управления охлаждением изделий.*

**Ключевые слова:** нечеткая логика; ПЛИС; преобразование напряжения; термоэлемент.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-4-135-147

**Ссылка для цитирования:** Устройство преобразования напряжения для нечеткой системы управления охлаждением изделий / М.В. Бобырь, А.Е. Архипов, Н.А. Милостная, М.А.А. Абдулджаббар // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 4(79). С. 135-147.

\*\*\*

### Введение

Большинство современных устройств управления различными технологическими процессами используют нечеткую логику для расчета управляющих параметров. Например, в работе [1] для прогнозирования технического состояния объектов управления при вибрации используется нейро-нечеткая модель. В статье

[2] нечеткая модель используется для решения задачи оценки интегральных метрик маршрутов в QoS-ориентированных протоколах. В статье [3] рассмотрен расчет силы тока для управления температурным режимом на основе методов нечеткой логики. Следует отметить, что управление техническими объектами осуществляется в современных системах

управления с помощью программируемых логических контроллеров [4], которые формируют на выходе только сигналы управляющего напряжения. Большинство нечетких моделей, предложенных в различных научных исследованиях, рассчитывают выходные сигналы, которые не являются уровнями напряжения, формируемого на выходе управляющего контроллера. Поэтому разработка устройств, позволяющих преобразовывать выходные переменные, полученные в нечетких моделях, в сигналы управляющего напряжения, является актуальной задачей.

#### **Постановка задачи**

Заключается в разработке вычислительного устройства, способного преобразовать расчетные величины, полученные с помощью нечетких моделей, в сигнал электрического напряжения, передаваемый на исполнительные механизмы с высоким быстродействием, порядка сотен наносекунд.

На практике существуют программные методы решения данной проблемы. Следует учитывать, что большинство устройств, реализующие эти модели, обрабатывают информацию последовательно. Так, например, при использовании логических контроллеров и/или микропроцессоров арифметические операции  $a+b+c+d=e$  и  $e+f=g$  будут выполнены за 4 такта, так как каждое вычисление “+” выполняется за один такт. Программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) за счет параллельно-конвейерной обработки информации выполняют эту операцию за 2 такта, что позволяет существенно увеличить производитель-

ность любого вычислительного устройства. Варианты использования ПЛИС в устройствах преобразования напряжения-ток представлены в статьях [5–7]. Однако гибридным моделям, сочетающим модели нечеткой логики с устройствами преобразования напряжения-ток, мало уделено времени в научной литературе. В статье рассмотрена гибридная модель расчета управляющей величины силы тока для управления термоэлементами в устройстве охлаждения изделий на оборудовании с ЧПУ и назначения управляющего напряжения формируемого на выходе микроконтроллера.

#### **Метод и устройство управления охлаждением изделий**

Рассмотрим задачу преобразования величины управляющего сигнала в напряжение, которое необходимо сформировать на выходе микроконтроллера. На рис. 1 представлена схема устройства для вычисления силы тока, передаваемой на термоэлемент, с целью охлаждения поверхностей изделий в процессе их обработки на оборудовании с ЧПУ.

Устройство работает следующим образом. Расчет силы тока, передаваемой на термоэлемент 7, осуществляется в ПЛИС 1 по математической модели, состоящей из последовательного решения 4 шагов [6].

**Шаг 1.** Расчет степеней функции принадлежности входных переменных по формуле (1), причем функции принадлежности входных переменных представлены на рисунке 2 [8, 9].

**Шаг 2.** Расчет двадцати семи степеней истинности предпосылок нечетких правил [10–16].

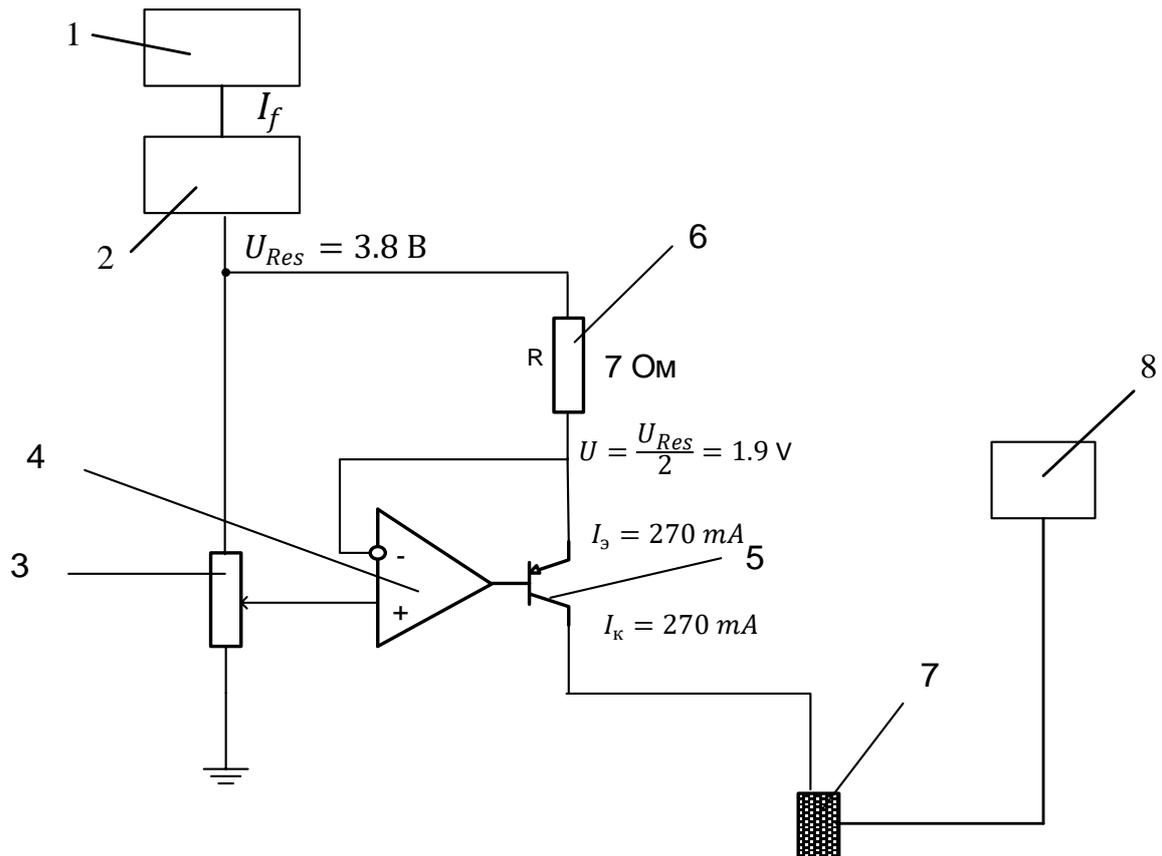


Рис. 1. Устройство управления охлаждением деталей: 1 – ПЛИС, 2 – блок преобразователя; 3 – потенциометр; 4 – операционный усилитель; 5 – биполярный транзистор; 6 – резистор; 7 – термоэлемент; 8 – источник питания

$$f(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b; \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c; \\ 0, & c \leq x. \end{cases} \quad (1)$$

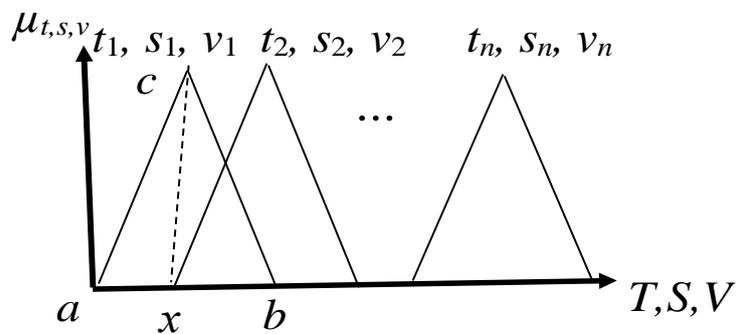


Рис. 2. Функции принадлежности входных переменных: T, S, V – значения температуры в зоне резания, подачи и скорости резания, соответственно

Таблица 1

Формулы для расчета степеней истинности предпосылок нечетких правил

$N_1 = \min(t_1, s_1, v_1)$	$N_{10} = \min(t_2, s_1, v_1)$	$N_{19} = \min(t_3, s_1, v_1)$
$N_2 = \min(t_1, s_1, v_2)$	$N_{11} = \min(t_2, s_1, v_2)$	$N_{20} = \min(t_3, s_1, v_2)$
$N_3 = \min(t_1, s_1, v_3)$	$N_{12} = \min(t_2, s_1, v_3)$	$N_{21} = \min(t_3, s_1, v_3)$
$N_4 = \min(t_1, s_2, v_1)$	$N_{13} = \min(t_2, s_2, v_1)$	$N_{22} = \min(t_3, s_2, v_1)$
$N_5 = \min(t_1, s_2, v_2)$	$N_{14} = \min(t_2, s_2, v_2)$	$N_{23} = \min(t_3, s_2, v_2)$
$N_6 = \min(t_1, s_2, v_3)$	$N_{15} = \min(t_2, s_2, v_3)$	$N_{24} = \min(t_3, s_2, v_3)$
$N_7 = \min(t_1, s_3, v_1)$	$N_{16} = \min(t_2, s_3, v_1)$	$N_{25} = \min(t_3, s_3, v_1)$
$N_8 = \min(t_1, s_3, v_2)$	$N_{17} = \min(t_2, s_3, v_2)$	$N_{26} = \min(t_3, s_3, v_2)$
$N_9 = \min(t_1, s_3, v_3)$	$N_{18} = \min(t_2, s_3, v_3)$	$N_{27} = \min(t_3, s_3, v_3)$

**Шаг 3.** Расчет одиннадцати уровней заключений нечетких правил.

Таблица 2

Формулы для расчета уровней заключений нечетких правил

$I_{11} = N_1$		
$I_{10} = \max(N_2; N_4)$	$I_7 = \max(N_9; N_{11}; N_{13})$	$I_4 = \max(N_{18}; N_{20}; N_{22})$
$I_9 = \max(N_3; N_5; N_7)$	$I_6 = \max(N_{12}; N_{14}; N_{16})$	$I_3 = \max(N_{21}; N_{23}; N_{25})$
$I_8 = \max(N_6; N_8; N_{10})$	$I_5 = \max(N_{15}; N_{17}; N_{19})$	$I_2 = \max(N_{24}; N_{26})$
$I_1 = N_{27}$		

**Шаг 4.** Расчет четкого значения величины силы тока, передаваемой на термоэлемент, по формуле

$$I_f = \frac{\sum_{i=1}^{11} I_i M_i}{\sum_{i=1}^{11} I_i} = \frac{I_1 M_1 + I_2 M_2 + \dots + I_{11} M_{11}}{I_1 + I_2 + \dots + I_{11}}, \quad (2)$$

где  $M_i, i=1..n$  – значение (по оси абсцисс) меток синглтонной функции принадлежности выходной переменной.

При работе устройства управления охлаждением деталей (см. рис. 1) необходимо учитывать, что выходными сигналами ПЛИС являются только значения напряжения. Формировать уровни силы тока ПЛИС не может. Следовательно, возникает задача преобразования величины силы тока в напряжение. Для этого вначале необходимо рассчитать коэффициент масштабирования PS1:

$$PS1 = \left( \frac{100 * (I_f - I_{min})}{I_{max} - I_{min}} \right) * (U_{max} - U_{min}), \quad (3)$$

где  $I_f$  – величина требуемой силы тока, передаваемой на термоэлемент, рассчитывается по формуле (2);  $I_{min}, I_{max}$  – мини-

мальное и максимальное значение величины силы тока, передаваемой на термоэлемент;  $U_{min}, U_{max}$  – минимальное и максимальное значение напряжения, передаваемого с выхода ПЛИС.

Расчет выходного значения напряжения  $U_{Res}$ , передаваемого с выхода ПЛИС, осуществляется по формуле

$$U_{Res} = U_{min} + \left( \frac{PS1}{100} \right) * (U_{max} - U_{min}). \quad (4)$$

После расчета выходного напряжения необходимо смоделировать процесс генерации расчетного значения силы тока коллектора биполярного транзистора 5. Пусть потенциометр 3 устанавливается на 50%, доля напряжение  $U_{Res}$  пополам, то есть на неинвертирующем входе операционного усилителя 4 будет напряжение, равное  $U = U_{Res}/2$  (см. рис. 1). Операционный усилитель 4 выполнен по схеме повторителя напряжения, следовательно, в точке соединения резистора 6 и инвертирующего входа операционного усилителя

теля 4 напряжение также будет равняться  $U_{Res}/2$ . Таким образом, ток эмиттера  $I_3$  биполярного транзистора 5 будет равняться  $I_3 = \frac{U}{R} = \frac{U_{Res}}{2 \cdot R}$ . Как известно, в биполярном транзисторе 5 ток эмиттера  $I_3$  приблизительно равен току коллектора  $I_k$ , следовательно, на термозлемент 7 будет подаваться ток коллектора, равный

$$I_k = \frac{U}{R} = \frac{U_{Res}}{2 \cdot R},$$

и он должен соответствовать значению, полученному при расчете  $I_f$  по формуле (2). Условие соответствия равенства проверяется по формуле:

$$I_k = I_f = \frac{U_{Res}}{2 \cdot R}. \quad (5)$$

Величина силы тока, определенной с помощью нечеткой модели (2) в сигнал

напряжения  $U_{Res}$ , преобразуется в блоке 2 и передается на потенциометр 3.

### Быстродействующее устройство преобразования напряжения

Устройство преобразования напряжения для нечеткой системы управления охлаждением изделий работает следующим образом (рис. 3). На вход устройства преобразователя напряжения 2 поступают от ПЛИС 1 следующие сигналы: минимальное и максимальное значение силы тока  $I_{min}$ , и рассчитанное по формуле (1) значение силы тока  $I_f$ , а также минимальное  $U_{min}$  и максимальное  $U_{max}$  значение напряжения с ПЛИС.

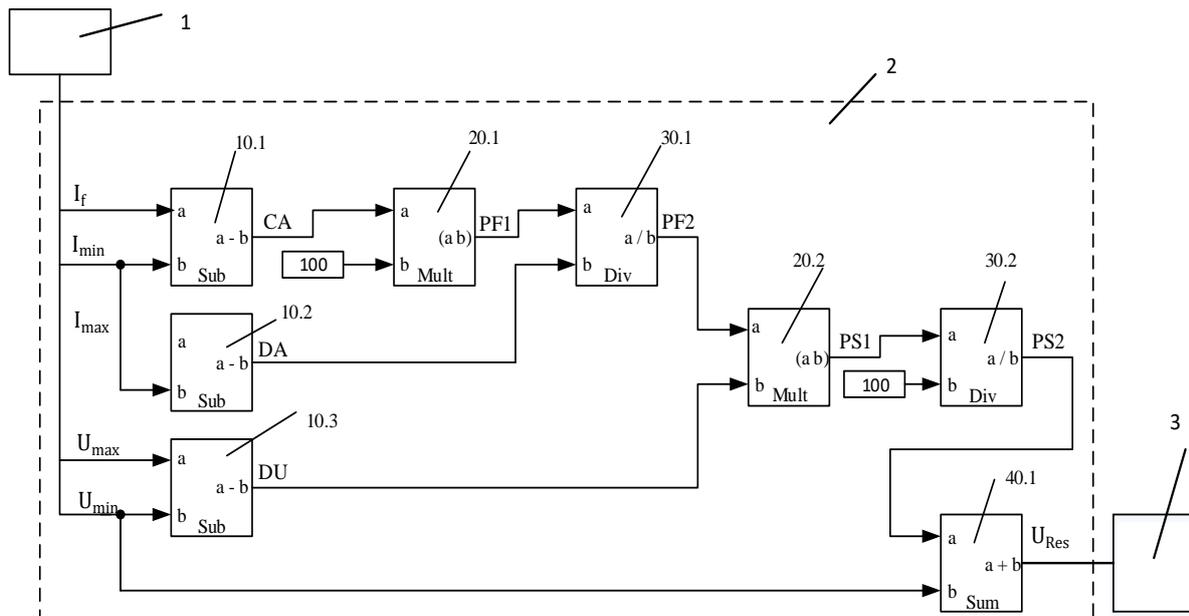


Рис. 3. Схема устройства преобразователя напряжения: 1 – ПЛИС; 2 – блок преобразователя напряжения; 3 – потенциометр; 10.1, 10.2, 10.3 – вычитатели; 20.1, 20.2 – умножители; 30.1, 30.2 – делители; 40.1 – сумматор

В блоках 10.1, 10.2, 10.3, 20.1, 30.1 и 20.2 по формуле (3) осуществляется расчет коэффициента масштабирования PS1. Далее в блоках 30.2 и 40.1 выполняется по формуле (4) расчет величины выходного напряжения  $U_{res}$ .

С целью увеличения производительности работы устройства, представленного на рисунке 2, и учитывая особенность работы ПЛИС, модернизируем расчетную схему вычисления результирующего напряжения  $U_{res}$ .

Для этого преобразуем формулу (3) вычисления коэффициента масштабирования PS1 в формулу

$$PS1 = (I_f - I_{min}) \cdot (U_{max} - U_{min}). \quad (6)$$

После этого вычисление результирующего значения напряжения осуществ-

ствится по формуле:

$$U_{Res} = U_{min} + \frac{PS1}{I_{max} - I_{min}}. \quad (7)$$

Быстродействующее устройство, реализующее преобразование на основе формулы (7), представлено на рисунке 4.

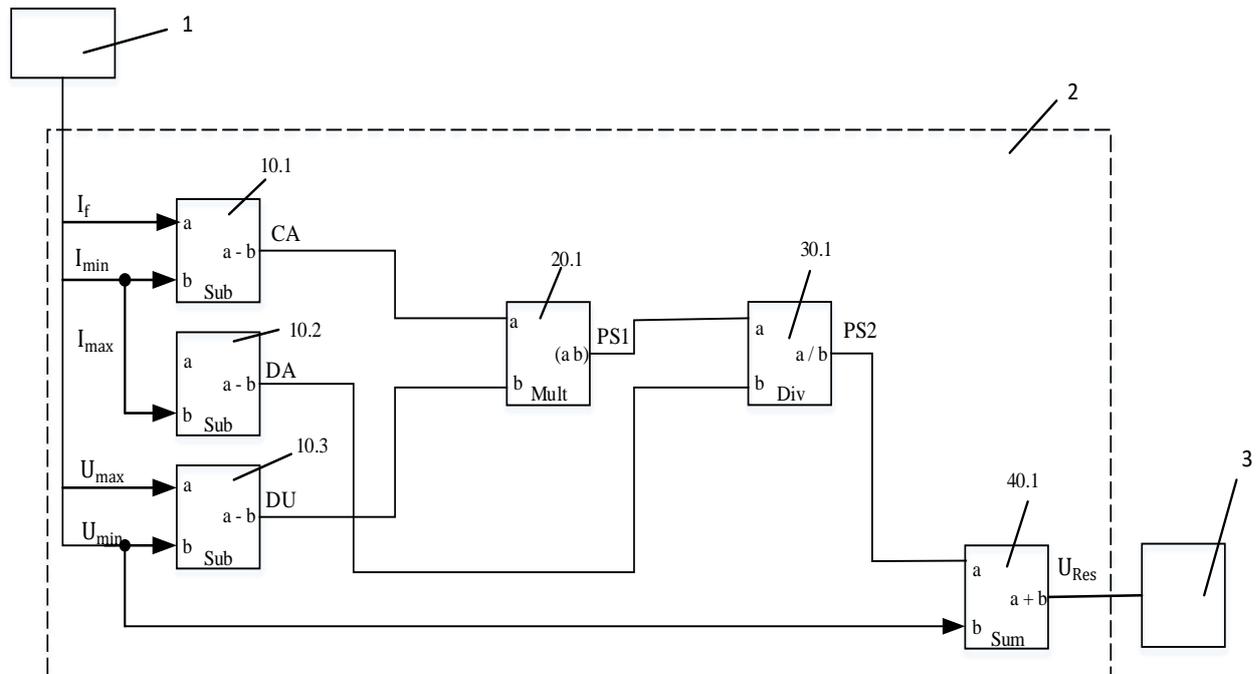


Рис. 4. Быстродействующее устройство преобразования напряжения: 1 – ПЛИС; 2 – быстродействующий блок преобразователя напряжения; 3 – потенциометр; 10.1, 10.2, 10.3 – вычитатели; 20.1 – умножитель; 30.1 – делитель; 40.1 – сумматор

В блоках 10.1, 10.3 и 20.1 по формуле (6) осуществляется расчет коэффициента масштабирования PS1. Далее блоки 10.2, 20.1, 30.1 и 40.1 выполняют по формуле (7) расчет величины выходного напряжения  $U_{res}$ .

По сравнению с устройством, предложенным на рисунке 3, в быстродействующем устройстве (рис. 4) исключены по одной операции умножения и деления. Следует отметить, что операция деления является одной из самых труднореализуемых операций в ПЛИС, поэтому ее исключение повышает быстродействие устройства.

### Численное моделирование и эксперимент

Построение функций принадлежности (ФП) для входных величин температуры, подачи, скорости резания ( $T$ ,  $S$ ,  $V$ ) и выходной переменной силы тока  $I_f$  [9]. Графики функций принадлежности приведены на рисунке 5.

Моделирование расчета результирующего напряжения  $U_{Res}$ , в зависимости от требуемого значения силы тока  $I_f$  осуществляется следующим образом. Пусть  $t=159$  °C (рис. 3, а),  $s=0,3$  мм/об (рис. 3, б) и  $v=160$  м/мин (рис. 3, в), и  $I_{min} = 230$  мА,  $I_{max} = 350$  мА,  $U_{min} = 3.2$  В,  $U_{max} = 5$  В.

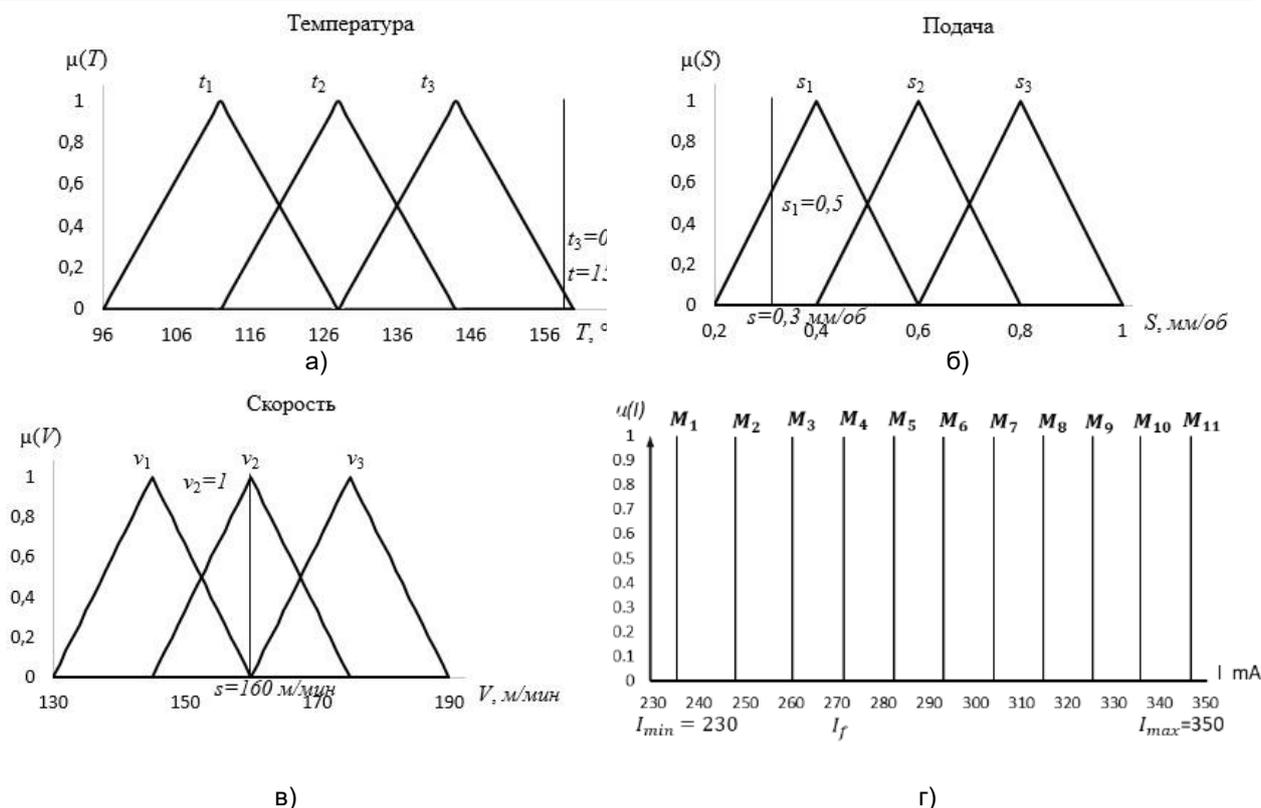


Рис. 5. Графики функций принадлежности: а – входная переменная температура в зоне резания ( $t_1, t_2, t_3$ ); б – входная переменная подача ( $s_1, s_2, s_3$ ); в – входная переменная скорость резания ( $v_1, v_2, v_3$ ); г – выходная переменная сила тока ( $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7, I_8, I_9, I_{10}, I_{11}$ )

Тогда степени функций принадлежности будут равны:

$$t = (t_1, t_2, t_3) = (0; 0; 0,033);$$

$$s = (s_1, s_2, s_3) = (0,5; 0; 0);$$

$$v = (v_1, v_2, v_3) = (0; 1; 0).$$

Степени принадлежности предпосылок нечетких правил определяются по следующим формулам:

$N_1 = \min(t_1, s_1, v_1) = 0$	$N_{10} = \min(t_2, s_1, v_1) = 0$	$N_{19} = \min(t_3, s_1, v_1) = 0$
$N_2 = \min(t_1, s_1, v_2) = 0$	$N_{11} = \min(t_2, s_1, v_2) = 0$	$N_{20} = \min(t_3, s_1, v_2) = 0,033$
$N_3 = \min(t_1, s_1, v_3) = 0$	$N_{12} = \min(t_2, s_1, v_3) = 0$	$N_{21} = \min(t_3, s_1, v_3) = 0$
$N_4 = \min(t_1, s_2, v_1) = 0$	$N_{13} = \min(t_2, s_2, v_1) = 0$	$N_{22} = \min(t_3, s_2, v_1) = 0$
$N_5 = \min(t_1, s_2, v_2) = 0$	$N_{14} = \min(t_2, s_2, v_2) = 0$	$N_{23} = \min(t_3, s_2, v_2) = 0$
$N_6 = \min(t_1, s_2, v_3) = 0$	$N_{15} = \min(t_2, s_2, v_3) = 0$	$N_{24} = \min(t_3, s_2, v_3) = 0$
$N_7 = \min(t_1, s_3, v_1) = 0$	$N_{16} = \min(t_2, s_3, v_1) = 0$	$N_{25} = \min(t_3, s_3, v_1) = 0$
$N_8 = \min(t_1, s_3, v_2) = 0$	$N_{17} = \min(t_2, s_3, v_2) = 0$	$N_{26} = \min(t_3, s_3, v_2) = 0$
$N_9 = \min(t_1, s_3, v_3) = 0$	$N_{18} = \min(t_2, s_3, v_3) = 0$	$N_{27} = \min(t_3, s_3, v_3) = 0$

Уровни заключений нечетких правил будут рассчитаны следующим образом:

$I_{11} = N_1 = 0$		
$I_{10} = \max(N_2; N_4) = 0$	$I_7 = \max(N_9; N_{11}; N_{13}) = 0$	$I_4 = \max(N_{18}; N_{20}; N_{22}) = 0,033$
$I_9 = \max(N_3; N_5; N_7) = 0$	$I_6 = \max(N_{12}; N_{14}; N_{16}) = 0$	$I_3 = \max(N_{21}; N_{23}; N_{25}) = 0$
$I_8 = \max(N_6; N_8; N_{10}) = 0$	$I_5 = \max(N_{15}; N_{17}; N_{19}) = 0$	$I_2 = \max(N_{24}; N_{26}) = 0$
$I_1 = N_{27} = 0$		

Величина силы тока, передаваемой на термоэлемент, определится

$$I_f = 270 \text{ мА.}$$

С учетом формулы (3) вычисляется коэффициент масштабирования:

$$PS1 = \left( \frac{100 \cdot (I_f - I_{min})}{I_{max} - I_{min}} \right) \cdot (U_{max} - U_{min}) = \left( \frac{100 \cdot (270 - 230)}{350 - 230} \right) \cdot (5 - 3.2) = 60.$$

По формуле (4) определится величина выходного напряжения:

$$U_{Res} = U_{min} + \left( \frac{PS1}{100} \right) = 3.2 + \left( \frac{60}{100} \right) = 3.8 \text{ В.}$$

Проверка условия равенства требуемого значения силы тока  $I_f$  с рассчитанным значением напряжения осуществляется по формуле

$$I_f = I_k = \left( \frac{U_{Res}}{2R} \right) = \left( \frac{3.8}{2 \cdot 7} \right) = 0.270 \text{ А.}$$

Рассчитанное значение тока коллектора  $I_k = 0.270 = I_f$ , передаваемого на термоэлемент, совпадает с расчетом значения требуемого тока  $I_f$ .

В быстродействующем устройстве коэффициент масштабирования имеет значение

$$PS1 = (I_f - I_{min}) \cdot (U_{max} - U_{min}) = (270 - 230) \cdot (5 - 3.2) = 72. \quad (6)$$

После этого результирующее значение напряжения будет определено:

$$U_{Res} = U_{min} + \frac{PS1}{I_{max} - I_{min}} = 3.2 + \frac{72}{350 - 230} = 3.8. \quad (7)$$

Проверка условия равенства требуемого значения силы тока  $I_f$  так же, как и для устройства преобразования напряжения (рис. 3), дает положительный ответ.

Разработанные три устройства управления охлаждением деталей (см. рис. 1), преобразования напряжения (см. рис. 3), быстродействующее устройство преобразования напряжения (см. рис. 4) были спроектированы на программируемой интегральной логической схеме Spartan 3E семейства Xilinx. Временные тесты при частоте 50 МГц, выполненные в программной среде Modelsim, показали, что для вычисления величины силы тока  $I_f$  по формулам (1)-(2), подаваемой на устройство преобразования напряжения, составляет около 380 нс (рис. 6).

При использовании устройства преобразования напряжения (см. рис. 3) временные тесты показали, что расчет напряжения  $U_{Res}$  осуществляется за 370 нс (см. рис. 7).

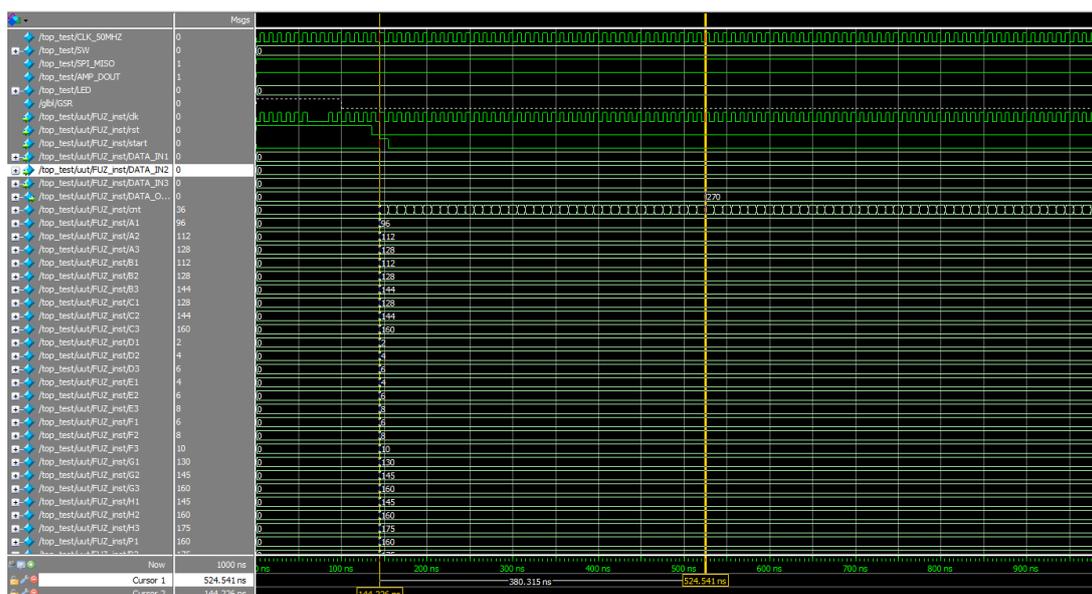


Рис. 6. Диаграмма времени расчета величины  $I_f$  устройства управления охлаждением изделий

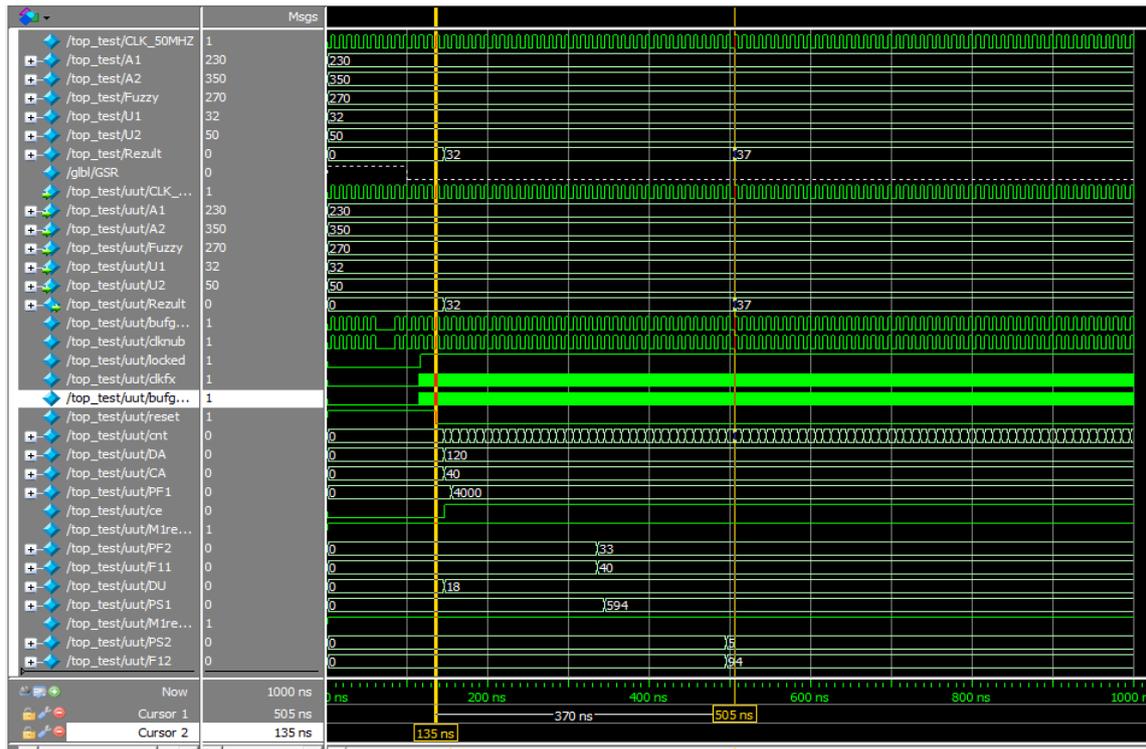


Рис. 7. Диаграмма времени расчета величины  $U_{res}$  для устройства преобразования напряжения

При использовании быстродействующего устройства преобразования напряжения (см. рис. 4) временные тесты показали, что расчет напряжения  $U_{Res}$  осуществляется за 190 нс (рис. 8).

Сравнение с известными моделями предложенного устройства представлено в таблице 3.

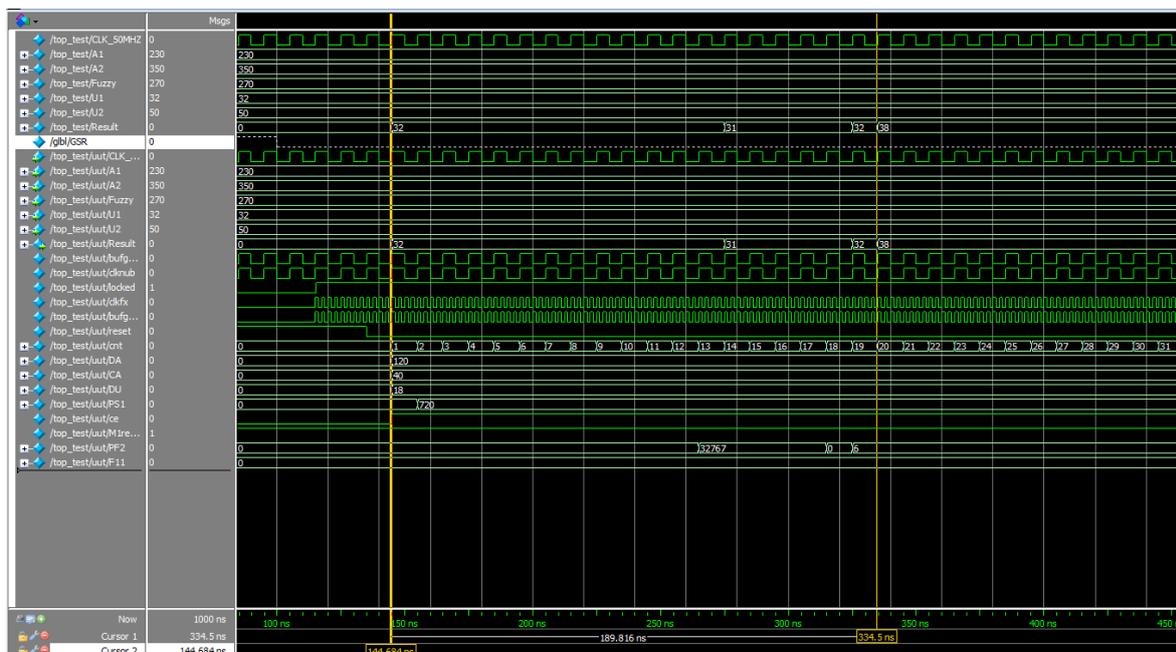


Рис. 8. Диаграмма времени расчета величины  $U_{res}$  для быстродействующего устройства преобразования напряжения

Таблица 3

## Эксплуатационные характеристики устройства

Модель	Вычислитель, нс	Преобразователь, нс	Суммарное время, нс
[5]	2000000	320	2000320
[6]	–	–	20000000
[7]	–	–	10 000 000
Преобразователь (рис. 3)	380	370	740
Быстродействующий преобразователь (рис. 4)	380	190	560

Таким образом, в случае возникновения внешних воздействий, действующих при охлаждении изделий при обработке деталей на оборудовании с ЧПУ в режиме реального времени, за 550 нс будет принято решение о назначении новой величины силы тока.

**Обсуждение результатов и заключение**

Предлагаемое устройство управления охлаждением деталей, основанное на нечеткой логике, позволяет с большой вычислительной скоростью по сравнению с известными моделями рассчитывать управляющие сигналы, передаваемые на систему охлаждения, выполненную на термоэлементе. Высокое быстродействие реализации нечеткой модели на ПЛИС достигается за счет использования упрощенного нечеткого вывода при дефаззификации расчета величины силы тока, передаваемой на термоэлемент.

Обеспечение требуемого питания термоэлемента выполняет быстродействующий преобразователь напряжения, реализованный на ПЛИС. За счет рационального сокращения числа арифметических операций возможно повышение его быстродействия. Временные диаграммы, представленные в статье, показывают его высокие эксплуатационные характеристики.

**Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МД-707.2017.8 и Госзадания: Соглашение №2.3440.2017/4.6.*

**Список литературы**

1. Круглова Т.Н. Применение аппарата нечеткой логики и нейронных сетей для управления техническим состоянием модулей движения технологического оборудования // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2010. № 8. С. 28-35.
2. Симаков Д.В. Применение систем нечеткого вывода для расчета интегральных метрик сетевых маршрутов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2015. № 10 (136). С. 38-43.
3. Бобырь М.В., Кулабухов С.А. Моделирование процесса управления температурным режимом в зоне резания на основе нечеткой логики // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2017. № 3. С. 76-82.
4. Новожилов Б.М. Вычисление производной аналогового сигнала в программируемом логическом контроллере // Аэрокосмический научный журнал. 2016. № 4. С. 1-12.

5. Karakuzu, C., Karakaya, F., Zavuşlu, M. A. (2016). FPGA implementation of neuro-fuzzy system with improved PSO learning // *Neural Networks*, 79, 128–140. URL: <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2016.02.004>
6. Joseph Anthony Prathap, T.S. Anandhi, T.S. Sivakumaran Xilinx Spartan 3A DSP FPGA based DC Voltage Regulators for PV Systems // *Selection and Peer-review under responsibility of International Conference on Processing of Materials, Minerals and Energy*. 2018. Pp. 1348–1358.
7. Karthigeyan P., Senthil Raja M., Siva Kumar T., SR Siva Ganesh, J Lavanya simulation of bi-directional DC-DC converter using FPGA // *7th International Conference on Communication, Computing and Virtualization*. 2016. P. 708 – 714.
8. Бобырь М.В. Метод нелинейного обучения нейро-нечеткой системы вывода // *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2018. № 1. С. 67-75.
9. Бобырь М.В., Кулабухов С.А., Милостная Н.А. Обучение нейро-нечеткой системы на основе метода разности площадей // *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2016. № 4. С. 15-26.
10. Бобырь М.В., Кулабухов С.А. Дефаззификация вывода из базы нечетких правил на основе метода разности площадей // *Вестник компьютерных и информационных технологий*. 2015. № 9 (135). С. 32-41.
11. Bobyr M.V., Milostnaya N.A., Kulabuhov S.A. A method of defuzzification based on the approach of areas' ratio // *Applied Soft Computing*. 2017. Vol. 59. P. 19-32.
12. Бобырь М.В., Титов Д.В., Кулабухов С.А. О некоторых свойствах мягкого алгоритма нечетко-логического вывода // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2015. № 2 (59). С. 39-51.
13. Титов В.С., Бобырь М.В., Яхонтова Е.С. Адаптивный алгоритм нечетко-логического вывода и его обучение // *Известия Юго-Западного государственного университета*. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. № 2-2. С. 17-23.
14. Бобырь М.В., Кулабухов С.А. Дефаззификация вывода из базы нечетких правил на основе метода разности площадей // *Вестник компьютерных и информационных технологий*. 2015. № 9 (135). С. 32-41.
15. Chernova I.V., Sumin S.A., Bobyr M.V., Seregin S.P. forecasting and diagnosing cardiovascular disease based on inverse fuzzy models // *Biomedical Engineering*. 2016. Vol. 49. no. 5. P. 263-267.
16. Бобырь М.В., Милостная Н.А. Анализ использования мягких арифметических операций в структуре нечетко-логического вывода // *Вестник компьютерных и информационных технологий*. 2015. № 7 (133). С. 7-15.

*Поступила в редакцию 12.07.18*

UDC 004.896

**M.V. Bobyr**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk, Russia)  
(e-mail: fregat\_mn@rambler.ru)

**A.E. Arkhipov**, Candidate of Engineering Sciences, Southwest State University (Kursk, Russia)  
(e-mail: alex.76\_09@mail.ru)

**N.A. Milostnaya**, Candidate of Engineering Sciences, Southwest State University (Kursk, Russia)  
(e-mail: nat\_mil@mail.ru)

**M.A. Abduldgabar**, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk, Russia)  
(e-mail: mohammed88@mail.ru)

## DEVICE OF CONVERSION VOLTAGE FOR CONTROL COOLING DETAILS BASED ON THE FUZZY LOGIC

*Simulation of control parameters calculating process in the problem of cooling the parts surfaces machined on CNC equipment is considered in the article. A fuzzy model for determining the transmitted to the thermoelement current to control surfaces details cooling intensity proposed in the article. The fuzzy model consists of four steps. At the first step, the calculation of the degrees of the membership functions is produced. Input membership functions are having a triangular shape, and the output variable is represented by a singleton function. The second step, the degrees of the premises of the twenty-seven fuzzy rules is calculated. The third step, the eleven levels of conclusions of fuzzy rules is calculated. At the fourth step, defuzzification a crisp value from a simplified fuzzy inference is derived. After that, the scaling ratio and the output voltage level are determined. Also the condition of equality of the collector current for the calculated value is checked. If this condition is not implemented, the level of the output voltage is recalculated, until the set condition is fulfilled. The main problem in the system operation is the voltage calculation at the microcontroller output corresponding to the required current on the thermoelement with the maximum speed. To provide voltage calculating high speed in device was made on a field-programmable gate array (FPGA). Defuzzification in the fuzzy inference is based on a simplified fuzzy inference. The explaining the essence of the proposed technical solution numerical modeling is presented in the article. Timing diagrams of the cooling control device and voltage-current conversion devices in the cooling control system are presented in the article.*

**Key words:** fuzzy logic; FPGA; conversion voltage; thermoelement.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-4-135-147

**For citation:** Bobyr M.V., Arkhipov A.E., Milostnaya N.A., Abduldgabar M.A. Device of Conversion Voltage for Control Cooling Details Based on the Fuzzy Logic. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 4(79), pp. 135-147 (in Russ.).

\*\*\*

### Reference

1. Kruglova T.N. Primenenie apparata nechetkoj logiki i nejronnyh setej dlja upravlenija tehničeskim sostojaniem modulej dvizhenija tehnologičeskogo oborudovanija. *Vestnik komp'juternyh i informacionnyh tehnologij*, 2010, no. 8, pp. 28-35.

2. Simakov D.V. Primenenie sistem nechetkogo vyvoda dlja rasčeta integral'nyh metrik setevyh maršrutov. *Vestnik komp'juternyh i informacionnyh tehnologij*, 2015, no. 10 (136), pp. 38-43.

3. Bobyr' M.V., Kulabuhov S.A. Modelirovanie processa upravlenija temperaturnym rezhimom v zone rezanija na os-

nove nechetkoj logiki. *Problemy mashinostroenija i nadezhnosti mashin*, 2017, no. 3, pp. 76-82.

4. Novozhilov B.M. Vychislenie proizvodnoj analogovogo signala v programmiruemom logicheskom kontrollere. *Ajerkosmicheskij nauchnyj zhurnal*, 2016, no. 4, pp. 1-12.

5. Karakuzu C., Karakaya F., Zavuşlu M. A. (2016). FPGA implementation of neuro-fuzzy system with improved PSO learning. *Neural Networks*, 79, pp. 128–140. URL: <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2016.02.004>

6. Joseph Anthony Prathap, Anandhi T.S., Sivakumaran T.S. Xilinx Spartan 3A DSP FPGA based DC Voltage Regulators for PV Systems. Selection and Peer-review under responsibility of International Conference on Processing of Materials, Minerals and Energy, 2018, pp. 1348–1358.

7. P Karthigeyan, M Senthil Raja, T Siva Kumar, SR Sivaa Ganesh, J Lavanya simulation of bi-directional DC-DC converter using FPGA. 7th International Conference on Communication, Computing and Virtualization, 2016, pp. 708 – 714.

8. Bobyr' M.V. Metod nelinejnogo obuchenija nejro-nechetkoj sistemy vyvoda. *Iskusstvennyj intellekt i prinjatje reshenij*, 2018, no. 1, pp. 67-75.

9. Bobyr' M.V., Kulabuhov S.A., Milostnaja N.A. Obuchenie nejronechetkoj sistemy na osnove metoda raznosti ploshhadej. *Iskusstvennyj intellekt i prinjatje reshenij*. 2016, no. 4, pp. 15-26.

10. Bobyr' M.V., Kulabuhov S.A. Defazzifikacija vyvoda iz bazy nechetkih pravil na osnove metoda raznosti ploshhadej. *Vestnik komp'juternyh i informacionnyh tehnologij*, 2015, no. 9 (135), pp. 32-41.

11. Bobyr M.V., Milostnaja N.A., Kulabuhov S.A. A method of defuzzification based on the approach of areas' ratio. *Applied Soft Computing*, 2017, vol. 59, pp. 19-32.

12. Bobyr' M.V., Titov D.V., Kulabuhov S.A. O nekotoryh svojstvah mjadkogo algoritma nechetko-logicheskogo vyvoda. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, no. 2 (59), pp. 39-51.

13. Titov V.S., Bobyr' M.V., Jahontova E.S. Adaptivnyj algoritm nechetko-logicheskogo vyvoda i ego obuchenie. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie*, 2012, no. 2-2, pp. 17-23.

14. Bobyr' M.V., Kulabuhov S.A. Defazzifikacija vyvoda iz bazy nechetkih pravil na osnove metoda raznosti ploshhadej. *Vestnik komp'juternyh i informacionnyh tehnologij*, 2015, no. 9 (135), pp. 32-41.

15. Chernova I.V., Sumin S.A., Bobyr M.V., Seregin S.P. forecasting and diagnosing cardiovascular disease based on inverse fuzzy models. *Biomedical Engineering*. 2016, vol. 49, no. 5, pp. 263-267.

16. Bobyr' M.V., Milostnaja N.A. Analiz ispol'zovanija mjadkih arifmeticheskikh operacij v strukture nechetko-logicheskogo vyvoda. *Vestnik komp'juternyh i informacionnyh tehnologij*, 2015, no. 7 (133), pp. 7-15.