

УДК 004.896

И.А. ТАРАСОВА

*Донецкий национальный технический университет, Украина*

## НЕЧЕТКОЕ УПРАВЛЕНИЕ НА ОСНОВЕ ПЕРЕМЕННЫХ С МНОГОМЕРНЫМИ ФУНКЦИЯМИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ В ДИАГНОСТИКЕ И ЛЕЧЕНИИ ГИПЕРТЕНЗИВНЫХ ОСЛОЖНЕНИЙ БЕРЕМЕННОСТИ

*В статье рассмотрена проблема автоматизации управления процессом введения медикаментов при терапии беременных женщин с преэклампсией различной степени тяжести. Разработана модель системы нечеткого управления на основе переменных с многомерными функциями принадлежности, которая формирует рекомендации по введению необходимых доз медикаментов в зависимости от состояния больного, что дает возможность повысить эффективность интенсивной терапии пациентов. Применение метода нечеткого управления на основе термов с многомерными функциями принадлежности позволило сократить количество правил нечетких продукций на 67% при улучшенном качестве управления по сравнению с классическим алгоритмом нечеткого вывода Мамдани.*

**Ключевые слова:** автоматизация, искусственный интеллект, нечеткое управление, модель системы, многомерная функция принадлежности, процесс введения медикаментов, эффективность терапии

### Введение

Акушерская патология, в частности преэклампсия различной степени тяжести, при беременности требует от врача своевременной диагностики и правильного оказания неотложной, а в некоторых ситуациях – и реанимационной помощи. Существующие подходы к диагностике и лечению данной патологии не обеспечивают комплексной оценки протекающих процессов, а низкая скорость оценки состояния пациента и оказания медицинской помощи являются основными их недостатками.

Автоматизация управления процессом введения медикаментов при терапии беременных женщин с преэклампсией различной степени тяжести увеличивает своевременность терапии. Информация о методике лечения носит экспертный характер, следовательно, для автоматизации процесса целесообразно использовать средства искусственного интеллекта, в частности, нечеткую логику.

Анализ процесса диагностики и введения медикаментов при лечении гипертензивных осложнений беременности показал, что он характеризуется нелинейными зависимостями. Кроме того, лингвистические переменные имеют сложную физическую природу, требующую при определении их значения использовать несколько связанных параметров. Это приводит к тому, что использование методов нечеткого управления на основе переменных с функциями принадлежности одного аргумента, таких как Мамдани, Цукамото, Ларсена, Сугено является затруднительным, что связано с необходимостью описания всех взаимосвязей в базе нечетких про-

дукций. Поэтому для автоматизации процесса диагностирования и введения медикаментов при лечении беременных женщин с преэклампсией различной степени тяжести необходимо использовать метод нечеткого управления на основе термов с многомерными функциями принадлежности, который позволяет сохранить в нечеткой модели управления нелинейные взаимосвязи между переменными объекта [1].

### 1. Постановка задачи

Целью данной работы является повышение эффективности терапии беременных женщин с преэклампсией различной степени тяжести за счет автоматизации процесса введения доз медикаментов на основе нечеткого управления с использованием переменных с многомерными функциями принадлежности.

В данной работе решаются следующие задачи:

- разработка метода нечеткого управления введением медикаментов при лечении беременных женщин с преэклампсией различной степени тяжести;
- синтез этапов нечеткого вывода;
- анализ модели нечеткого управления.

### 2. Разработка модели нечеткого управления

Разработка модели нечеткого управления процессом введения доз медикаментов с использованием переменных с многомерными функциями принадлежности включает в себя:

- разработку структуры модели нечеткого управления;
- формализацию входных и выходных переменных;
- формирование базы правил системы нечеткого вывода.

Структура модели нечеткого управления введением медикаментов при лечении беременных женщин с преэклампсией различной степени тяжести представлена на рисунке 1.

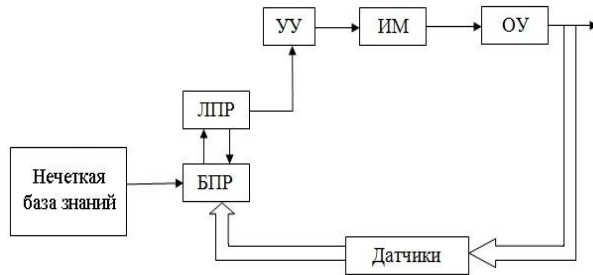


Рис. 1. Структура модели нечеткого управления

Как видно на рис. 1, в качестве объекта управления (ОУ) выступает человек, параметры состояния которого, через соответствующие измерительные приборы, поступают на вход блока принятия решений (БПР). Окончательное решение лица, принимающего решение (ЛПР), будет необходимым для подтверждения или опровержения предложенных системой решений о введении медикаментов. Для формирования базы правил нечетких продукций, по которым определяются дозы медикаментов, необходимо сформировать лингвистические переменные.

На основании анализа процесса диагностирования и введения медикаментов при лечении беременных женщин с преэклампсией различной степени тяжести выделены множества входных и выходных лингвистических переменных:

$V = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$  – множество входных лингвистических переменных;

$W = \{w_1, w_2, \dots, w_s\}$  – множество выходных лингвистических переменных.

В качестве входных переменных следует использовать:

- параметр  $\alpha_1$  детрентного флуктуационного анализа (DFA), который на этапе фаззификации преобразуется в лингвистическую переменную  $\beta_1$ ;
- уровень омега-потенциала, который на этапе фаззификации преобразуется в лингвистическую переменную  $\beta_2$ ;

– тип variability сердечного ритма, включающий в себя вагосимпатический индекс как отношение LF/HF, отношение амплитуд компонентов VLF и HF спектрального вида variability сердечного ритма, общую мощность спектра вариации

сердечного ритма, TINN. Описанная переменная на этапе фаззификации преобразуется в лингвистическую переменную  $\beta_3$ .

В блоке принятия решений модели проводится обработка значений входных переменных с использованием алгоритма нечеткого вывода, результатом которой является диагноз, представленный в виде лингвистической переменной, которая включает в себя дозировки следующих медикаментов: сульфат магния, лакардия, эбрантил.

Для определения элементов терм-множеств и их функций принадлежности проводится нечеткая кластеризация на основе собранных статистических данных. Для получения термов переменных необходимо присвоить кластерам названия. В качестве терм-множества лингвистической переменной  $\beta_1$  выбрано множество  $T_1 = \{\text{«оптимальный»}, \text{«нормальный»}, \text{«повышенный»}, \text{«высокий»}, \text{«максимальный»}\}$  с функциями принадлежности, изображенными на рис. 2.

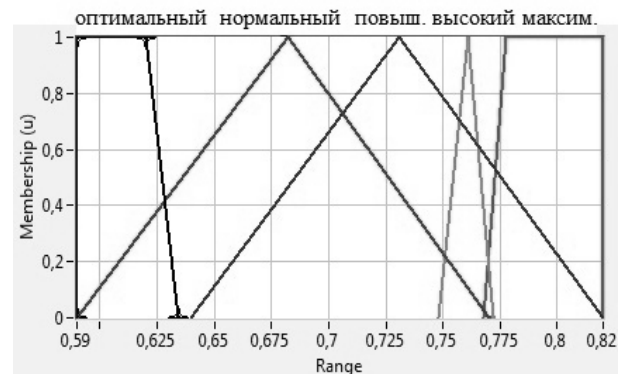


Рис. 2. График функций принадлежности для термов лингвистической переменной  $\beta_1$

В качестве терм-множества лингвистической переменной  $\beta_2$  используется множество  $T_2 = \{\text{«повышенный»}, \text{«оптимальный»}, \text{«сниженный»}, \text{«низкий»}, \text{«минимальный»}\}$  с функциями принадлежности, изображенными на рис. 3.

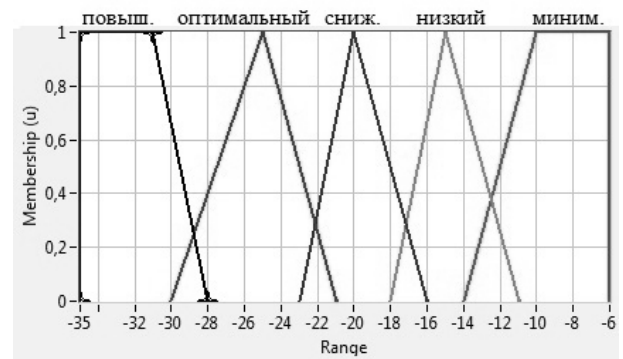


Рис. 3. График функций принадлежности для термов лингвистической переменной  $\beta_2$

В качестве терм-множества лингвистической переменной  $\beta_3$  используется множество  $T_3 = \{\text{«оптимальный»}, \text{«бародисфункциональный»}, \text{«ваготонический»}, \text{«депрессивный вариант 1»}, \text{«депрессивный вариант 2»}, \text{«гиперадаптивный»}\}$ . В качестве примера, часть полученных значений функции принадлежности для термина «оптимальный» приведена в табл. 1.

Таблица 1  
Значения функции принадлежности для термина «оптимальный» лингвистической переменной  $\beta_3$

| LF/HF | VLF/HF | TP   | TINN  | $\mu$       |
|-------|--------|------|-------|-------------|
| 0,86  | 0,092  | 976  | 81,4  | 0,00538519  |
| 0,875 | 0,0925 | 990  | 82,25 | 0,019585547 |
| 0,89  | 0,093  | 1004 | 83,1  | 0,064793687 |
| 0,905 | 0,0935 | 1018 | 83,95 | 0,150721829 |
| 0,92  | 0,094  | 1032 | 84,8  | 0,281761316 |
| 0,935 | 0,0945 | 1046 | 85,65 | 0,450265078 |
| 0,95  | 0,095  | 1060 | 86,5  | 0,632541337 |
| 0,965 | 0,0955 | 1074 | 87,35 | 0,795718225 |
| 0,98  | 0,096  | 1088 | 88,2  | 0,913903471 |
| 0,995 | 0,0965 | 1102 | 89,05 | 0,979234486 |

В качестве терм-множества лингвистической переменной  $w_1$  выбрано множество  $T_4 = \{\text{«нормоадаптация»}, \text{«гиперадаптация»}, \text{«гипоадаптация»}, \text{«параадаптация»}, \text{«дизадаптация»}\}$ .

Используя выделенные лингвистические переменные, на основании экспертных знаний ведущих специалистов в области акушерской интенсивной терапии сформировано множество правил нечетких продукций Р вида:

$$\text{Правило } R_r: \text{Если } \bigcap_{i=1}^{N_r} \text{ПУ}_{ir}^{lk} \text{ ТО } \bigcap_{j=1}^{M_r} \text{ПЗ}_{jr}^{zb}$$

$$\text{ПУ}_{ir}^{lk} : \beta_l \text{ есть } \beta_{t_{lk}},$$

где  $\beta_{t_{lk}}$  – k-тый терм входной лингвистической переменной  $\beta_l$ ;

$$\text{ПЗ}_{jr} : w_z \text{ есть } w_{t_{zb}},$$

где  $w_{t_{zb}}$  – b-тый терм выходной лингвистической переменной  $w_z$ .

В данной задаче система нечеткого вывода содержит 35 правил нечетких продукций. В качестве примера приведены следующие правила:

1. ЕСЛИ  $\beta_1 = \text{«оптимальный»}$  И  $\beta_2 = \text{«повышенный»}$  И  $\beta_3 = \text{«оптимальный»}$ , ТО  $w_1 = \text{«нормоадаптация»}$ .

2. ЕСЛИ  $\beta_1 = \text{«нормальный»}$  И  $\beta_2 = \text{«повышенный»}$  И  $\beta_3 = \text{«бародисфункциональный»}$ , ТО  $w_1 = \text{«гиперадаптация»}$ .

3. ЕСЛИ  $\beta_1 = \text{«нормальный»}$  И  $\beta_2 = \text{«повышенный»}$  И  $\beta_3 = \text{«ваготонический»}$ , ТО  $w_1 = \text{«гиперадаптация»}$ .

4. ЕСЛИ  $\beta_3 = \text{«депрессивный вариант 2»}$ , ТО  $w_1 = \text{«параадаптация»}$ .

На основании сформированной модели разработаны этапы нечеткого вывода.

### 3. Синтез этапов нечеткого вывода

В соответствии с методом нечеткого управления на основе термов с многомерными функциями принадлежности нечеткий вывод включает этапы:

- фаззификация входных переменных;
- агрегирование подусловий в нечетких правилах продукций;
- активизация подзаключений в нечетких правилах продукций;
- аккумуляирование заключений нечетких правил продукций;
- дефаззификация выходных переменных.

Процедура фаззификации заключается в установлении соответствия между конкретным значением отдельной входной переменной системы нечеткого вывода и значением  $S_{ir}$  степени истинности i-го подусловия r-го правила на основе значения функции принадлежности соответствующего ей термина входной лингвистической переменной, которая, в случае многомерных функций, рассчитывается по формуле многомерной табличной интерполяции (полиномами Эрмита):

$$S_{ir} = \mu_{lk}(\bar{x}_1), \quad (1)$$

где  $\bar{x}_1$  – значение входной переменной системы нечеткого вывода;

$\mu_{lk}(\bar{x}_1)$  – функция принадлежности k-го термина, входящего в подусловие  $\text{ПУ}_{ir}^{lk}$ .

Агрегирование представляет собой процедуру определения степени истинности условий  $S_r$  по каждому из правил системы нечеткого вывода на основе известных значений истинности подусловий. При этом для определения результата используется формула:

$$S_r = \min_i S_{ir}. \quad (2)$$

На этапе активизации для каждой из выходных лингвистических переменных, входящих в отдельные подзаключения правил нечетких продукций, определяются функции принадлежности нечетких множеств их значений.

Расчет значения функции принадлежности каждого из подзаключений для рассматриваемых вы-

ходных лингвистических переменных осуществляется по формуле:

$$\mu_r^{zb}(\bar{y}_z) = \min\{Z_{jr}^{zb}, \mu_{zb}(\bar{y}_z)\}, \quad (3)$$

где  $\mu_{zb}(\bar{y}_z)$  – функция принадлежности b-того терма выходной переменной системы нечеткого вывода  $\bar{y}_z$ ;

$Z_{jr}$  – степень истинности каждого из подзаключений, рассчитываемая по формуле:

$$Z_{jr} = S_r \cdot K_r, \quad (4)$$

где  $K_r$  – весовой коэффициент правила.

Этап аккумуляции заключается в том, чтобы объединить или аккумулятировать с использованием операции max–дизъюнкции все степени истинности заключений для получения функции принадлежности каждой из выходных переменных:

$$\mu_z^*(\bar{y}_z) = \bigcup_{r=1}^p \bigcup_{b=1}^{q_z} \mu_r^{zb}(\bar{y}_z). \quad (5)$$

Дефазификация заключается в том, чтобы, используя результаты аккумуляции выходной лингвистической переменной, получить обычное количественное значение выходной переменной, определяющее необходимые дозировки каждого из представленных медикаментов, на основании которых устройство управления (УУ) вырабатывает сигнал на исполнительный механизм (ИМ) для осуществления введения необходимого количества лекарства. Для многомерного случая используется обобщение метода центра тяжести:

$$y_{zn}^* = \frac{1}{V_z} \iint \dots \int y_{zn} \cdot \mu_z^*(\bar{y}_z) dv, \quad (6)$$

где  $y_{zn}^*$  – результат дефазификации;

$V_z$  – объем фигуры, образованной функцией принадлежности  $\mu_z^*(\bar{y}_z)$ .

С целью установления адекватности разработанной модели нечеткого управления был проведен ее анализ.

#### 4. Анализ модели нечеткого управления

Анализ модели нечеткого управления включает в себя:

- численный анализ адекватности модели нечеткого управления;
- сравнение результатов метода нечеткого управления на основе термов с многомерными функциями принадлежности с результатами классического метода нечеткого управления.

С целью установления адекватности, разработанная модель нечеткого управления была испытана в отделении интенсивной терапии в Донецком региональном центре охраны материнства и детства. Анализ результатов при различных значениях входных переменных представлен в табл. 2.

Таблица 2  
Анализ результатов нечеткого вывода

|    | Входные данные |       |       |        |      |      | Дозировка        |     |           |     |           |     |
|----|----------------|-------|-------|--------|------|------|------------------|-----|-----------|-----|-----------|-----|
|    |                |       |       |        |      |      | сульфат-магнезии |     | лакар-дия |     | эбран-тил |     |
|    | alfa           | omega | LF/HF | VLF/HF | TP   | TINN | PC               | ВФ  | PC        | ВФ  | PC        | ВФ  |
| 1  | 0,73           | -34   | 0,9   | 0,09   | 1200 | 90   | 423              | 423 | 0         | 0   | 0         | 0   |
| 2  | 0,62           | -25   | 2,0   | 0,25   | 900  | 60   | 443              | 451 | 0         | 0   | 0         | 0   |
| 3  | 0,62           | -30   | 2,0   | 0,25   | 900  | 60   | 610              | 618 | 234       | 240 | 0         | 0   |
| 4  | 0,68           | -33   | 1,5   | 0,2    | 720  | 70   | 874              | 887 | 250       | 257 | 0         | 0   |
| 5  | 0,73           | -21   | 3,0   | 0,27   | 987  | 59   | 854              | 869 | 300       | 309 | 0         | 0   |
| 6  | 0,7            | -18   | 1,6   | 0,18   | 890  | 65   | 855              | 878 | 300       | 309 | 0         | 0   |
| 7  | 0,76           | -15   | 3,5   | 0,3    | 512  | 41   | 676              | 684 | 490       | 498 | 58,1      | 59  |
| 8  | 0,77           | -17   | 0,7   | 0,08   | 691  | 45   | 748              | 748 | 508       | 508 | 60        | 61  |
| 9  | 0,78           | -7    | 5     | 0,39   | 720  | 52   | 748              | 753 | 0         | 0   | 100       | 102 |
| 10 | 0,79           | -15,6 | 4,2   | 0,4    | 571  | 48   | 749              | 756 | 505       | 515 | 60        | 62  |

Незначительное отклонение дозировки медикаментов, рассчитанных системой (РС), от дозровок, введенных фактически (ВФ), подтверждает адекватность разработанной модели нечеткого управления.

Был проведен сравнительный анализ результатов работы созданного алгоритма с данными, полученными в ходе испытаний и с помощью классического алгоритма Мамдани. В качестве примера, результаты сравнения дозровок сульфата магнезии представлены в виде графиков на рис. 4.

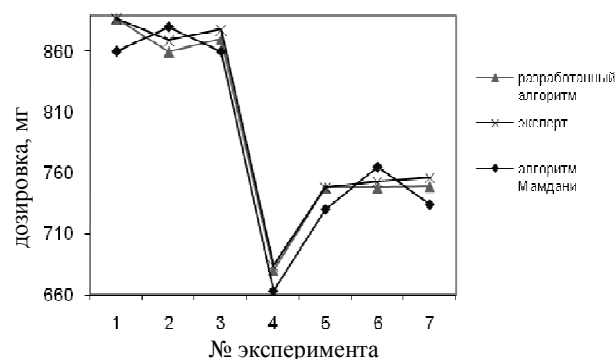


Рис. 4. Сравнительный анализ значений дозровок лекарств

Как видно на рис. 4, значения управляющей переменной разработанного алгоритма больше приближены к значениям дозровок сульфата магнезии, которые вводились фактически врачом, а также обеспечивает более плавный переход из одного состояния в другое по сравнению с алгоритмом Мамдани. Следует отметить, что при таком резуль-

тате применение метода нечеткого управления на основе термов с многомерными функциями принадлежности позволило сократить количество правил в нечеткой базе знаний на 67% по сравнению с алгоритмом Мамдани.

### Выводы

Таким образом, на основе изучения особенностей процесса, разработана модель системы нечеткого управления на основе термов с многомерными функциями принадлежности, которая позволяет автоматизировать процесс введения медикаментов при терапии беременных женщин с преэклампсией различной степени тяжести. Сравнительный анализ работы разработанного алгоритма с классическим алгоритмом Мамдани показал, что применение метода нечеткого управления на основе термов с многомерными функциями принадлежности позволило

сократить количество правил нечетких продукций на 67% при улучшенном качестве управления.

Применение результатов работы дает возможность повысить эффективность интенсивной терапии пациентов.

### Литература

1. Шушура, А.Н. Метод нечеткого управления на основе переменных с многомерными функциями принадлежности [Текст] / А.Н. Шушура, И.А. Тарасова // Искусственный интеллект. – 2010. – №1. – С. 122-128.

2. Актуальность преэклампсии (гестоза) в современном акушерстве [Текст] / Г.Н. Джонбобоева, А.М. Торчинов, С.Г. Цахилова, Д.Х. Сарахова // Проблемы и решения (обзор литературы). Проблемы репродукции. – 2010. – № 3. – С. 87-91.

Поступила в редакцию 30.10.2012

**Рецензент:** д-р физ.-мат. наук, профессор, зав. кафедрой системного анализа и моделирования А.С. Миненко, Донецкий национальный технический университет, Донецк.

## НЕЧІТКЕ УПРАВЛІННЯ НА ОСНОВІ ЗМІННИХ ІЗ БАГАТОВИМІРНИМИ ФУНКЦІЯМИ НАЛЕЖНОСТІ У ДІАГНОСТИЦІ ТА ЛІКУВАННІ ГІПЕРТЕНЗИВНИХ УСКЛАДНЕНЬ ВАГІТНОСТІ

*І.О. Тарасова*

У статті розглянута проблема автоматизації управління процесом введення медикаментів при терапії вагітних жінок з преєклампсією різного ступеня тяжкості. Розроблено модель системи нечіткого управління на основі змінних із багатовимірними функціями належності, яка формує рекомендації щодо введення необхідних доз медикаментів в залежності від стану хворого, що дає можливість підвищити ефективність інтенсивної терапії пацієнтів. Застосування методу нечіткого управління на основі термів з багатовимірними функціями належності дозволило скоротити кількість правил нечітких продукцій на 67% при покращеній якості управління в порівнянні з класичним алгоритмом нечіткого виводу Мамдані.

**Ключові слова:** автоматизація, штучний інтелект, нечітке управління, модель системи, багатовимірні функція належності, процес введення медикаментів, ефективність терапії

## FUZZY CONTROL BASED ON VARIABLES WITH MULTIDIMENSIONAL MEMBERSHIP FUNCTIONS IN THE DIAGNOSIS AND TREATMENT OF HYPERTENSIVE COMPLICATIONS OF PREGNANCY

*I.A. Tarasova*

The article deals with the problem of medicines introduction process automation for the treatment of pregnant women with preeclampsia varying severity. The model of the fuzzy control system based on variables with multidimensional membership functions, which forms the recommendation to introduce the necessary doses of medication depending of the state of the patient, which makes it possible to increase the intensive care patients efficiency has been developed. Application of fuzzy control based on the terms of the multidimensional membership functions reduced the number of fuzzy productions rules by 67% with improved quality control compared to the classical algorithm Mamdani fuzzy inference.

**Key words:** automation, artificial intelligence, fuzzy control, the system model, multidimensional membership function, the medicines introduction process, therapy efficiency

**Тарасова Ирина Александровна** – аспирант кафедри комп'ютеризованих систем управління, Донецкий национальный технический университет, Украина, e-mail: irina\_tarasova@i.ua.