

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ ЖУРНАЛА:

*Союз общественных объединений
«Международное научно-техническое
общество приборостроителей и метрологов»*

**ПРИ УЧАСТИИ И ПОДДЕРЖКЕ
Южно-Уральского государственного
университета,**

*Московского государственного
технического университета
имени Н.Э. Баумана,*

*Министерства промышленности
и торговли РФ,*

*Федерального агентства по техническому
регулированию и метрологии*

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Шестаков А.Л., д.т.н., проф.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Акилин В.И., к.т.н., проф.; Алексеев В.В., д.т.н., проф.;

Ануфрик С.С., д.ф.-м.н., проф., Р. Беларусь;

Артемьев Б.В., д.т.н., проф.;

Богомолов Ю.А., к.т.н., зам. гл. редактора;

Басараб М.А., д.ф.-м.н., проф.;

Еремин Е.В., к.т.н.; Егоров Г.А., д.т.н.;

Ивченко В.Д., д.т.н., проф.;

Клюев В.В., акад. РАН;

Комшин А.С., д.т.н., проф.;

Кондратенко В.С., д.т.н., проф., зам. гл. редактора;

Кононов С.А., д.т.н., проф.;

Кривов А.С., д.т.н., проф.; Ларионов В.А., д.т.н., проф.;

Лахов В.М., к.ф.-м.н.; Назаров В.Н., к.т.н.;

Никитаев В.Г., д.т.н., проф.; Прохоров Н.Л., д.т.н., проф.;

Пронякин В.И., д.т.н., проф.;

Селищев С.В., д.ф.-м.н., проф.;

Сенянский М.В., к.т.н.; Серенков П.С., д.т.н., проф.;

Слепцов В.В., д.т.н., проф.;

Соколов В.В., д.ф.-м.н., проф.;

Софиев А.Э., д.т.н., проф.;

Фельдман В.М., д.т.н., проф.;

Шкадаревич А.П., акад. НАН Беларуси, д.ф.-м.н., проф.;

Щепетов А.Г., к.т.н., проф.

РЕДАКЦИЯ

Кавалерова Г.А. (зав. редакцией)

Никулин А.А. (выпускающий редактор)

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ
по делам печати, телерадиовещания и средств
массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-1459

**Журнал «Приборы» зарегистрирован
в ВАК РФ как научное издание**

Сдано в набор 25.03.2025. Подписано в печать 25.04.2025.

Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ. л. 7.

Цена журнала – договорная

Адрес редакции:

119034, г. Москва, Остоженка ул., д. 1/9, оф. 12

Телефон: (495) 695-10-70, 695-10-71 (факс)

E-mail: kavaleroval@mail.ru http://www.pribory-smi.ru

Отпечатано в ООО «Объединенный
полиграфический комплекс».

115114, Россия, г. Москва, Дербеневская наб., д. 7, с. 2.
www.opk.bz, info@opk.bz, 8 (499) 130-60-19

СОДЕРЖАНИЕ

ПРИБОРЫ И СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ

Кравченко В.В., Прусов А.В. Задача защиты вторичных
источников электропитания радиоэлектронных средств от
высоких напряжений и пути ее решения 1

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

Хамракулов У.Ш., Ашуралиев А.А. Интеллектуальный
анализ и управление данными в производственных
процессах 5

Рылов С.А., Решетняк А.О., Пиотровский Д.Л.
Аппаратная архитектура современного предприятия с
применением технологий промышленного Интернета
вещей 12

Попов Д.И. Анализ систем цифровой обработки сигналов
на фоне помех 20

ТЕОРИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЕ

Волков И.А., Андреев Ю.С. Выбор модели машинного
обучения для прогнозирования качества деталей 26

Жматов Д.В., Семенихин К.В., Свиринов Е.А.
Математическая модель визуализации и анализа
энергетических потоков электроподстанций на основе
фрактальных методов 35

Хабибуллин А.Ю., Симонова Л.А. Алгоритм определения
состояния жгутов проводов транспортных средств на основе
нечеткой логики 42

ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Алексеев В.В., Орлова Н.В., Брызгалов В.С.
Информационно-измерительная система контроля состояния
окружающей среды. Создание методики проектирования
развивающихся территорий на базе геоинформационных
технологий 49

© Предупреждаем о правовой защите наименования, товарного знака и
авторских прав на публикуемые материалы.

Ответственность за содержание и достоверность публикуемых материалов
несут авторы статей и рекламных объявлений.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.

Перепечатка материалов допускается только с разрешения редакции и с
обязательной ссылкой на журнал «ПРИБОРЫ».

А.Ю. Хабибуллин, Л.А. Симонова

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ЖГУТОВ ПРОВОДОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Аннотация

Предлагается модель работы нечеткой логики, для решения задачи получения информации о наличии и характере неисправностей в электрических жгутах автомобилей с возможностью использования данной модели для проектирования полноценного нечеткого логического контроллера, который, в свою очередь, может быть использован для интеллектуальной надстройки в системе диагностирования состояния электрических жгутов проводов транспортных средств.

Ключевые слова: нечеткая логика, жгуты проводов автомобиля, продукционные правила, лингвистическая переменная, функция принадлежности, диагностика электропроводки, интеллектуальная надстройка.

Введение

Жгуты проводов транспортных средств являются важной составляющей любого транспортного средства, так как выполняют задачу связи между узлами автомобиля в случае информационных линий связи и задачу электропитания в случае силовых линий. По этой причине очевидно, что от состояния жгутов, а также от своевременного диагностирования их неполадок зависит корректное функционирование транспортного средства в целом. Таким образом, возрастает востребованность в различных аппаратных и программных методах, направленных на определение состояния жгутов проводов транспортных средств.

Формирование базы знаний

Для реализации модели по алгоритму определения состояния жгутов проводов транспортных средств на основе нечеткой логики предлагается представить ее как продукционную систему, основанную соответственно на продукционных правилах. Продукционные правила сегодня широко используются в искусственном интеллекте, когнитивных науках и формальных моделях обработки данных и позволяют описывать понятным и естественным языком сложные процессы, обрабатывают внесенную информацию для формирования выходной зависимости от вышеуказанных данных [1], [2]. В рамках данной модели они помогут сделать вывод о наличии и характере неисправности в электрических жгутах транс-

портных средств на основе известных параметров жгута и/или данных, полученных экспериментально, что в совокупности будет являться данными физического уровня. После формулирования продукционных правил их хранение будет происходить в виде зависимостей и функций принадлежности, актуализация которых, как и само их формирование, будут возможны при помощи неформальных знаний специалиста-эксперта в данной области. Однако продукционное правило должно быть основано на знании. Соответственно, видится необходимость составления алгоритма формирования базы знаний. Формирование базы знаний предлагается производить по алгоритму, представленному на *рис. 1*.

Формирование первоначальной базы правил

Составлять правила предлагается исходя из данных физического уровня, перечисленных в [3], из которых представляется возможным составить формализованные знания с последующим созданием лингвистических переменных. Лингвистические переменные характеризуются следующим кортежем:

$$\langle \beta, T, E, G, M \rangle,$$

где β – имя лингвистической переменной; T – базовое терм-множество лингвистической переменной β , т. е. множество лингвистических значений (лексем, термов) лингвистической переменной, причем каждое из этих значений представляет собой наименование отдельной нечеткой пере-

менной α ; G – синтаксическое правило, имеющее обычно форму грамматики и порождающее названия (термы) $t \in T$ значений лингвистической переменной β ; множество T и $G(T)$, где $G(T)$ – множество сгенерированных термов, называется расширенным терм-множеством лингвистической переменной; M – семантическое правило, которое ставит в соответствие каждому значению β его смысл $M(\beta)$ – нечеткое подмножество E [4].

Степень принадлежности значений физической переменной к терму определяется так называемой функцией принадлежности $\mu(x)$. Значения функции принадлежности определяются в

пределах от 0 до 1 на интервале от $x = a$, где $\mu(a) = 0$, до $x = b$, где $\mu(b) = 0$. Внутри интервала $[a, b]$ есть точка $x = c$, где $\mu(c) = 1$ [5].

Таким образом, для экспериментально полученных результатов с помощью метода контроля [6] можно предложить лингвистические переменные для входных параметров, представленных в виде тока и напряжения. Для обоих входных параметров было решено использовать треугольные функции принадлежности. Выходной параметр также можно описать треугольными функциями. Треугольная функция принадлежности была выбрана, исходя из свойств, описанных ниже.

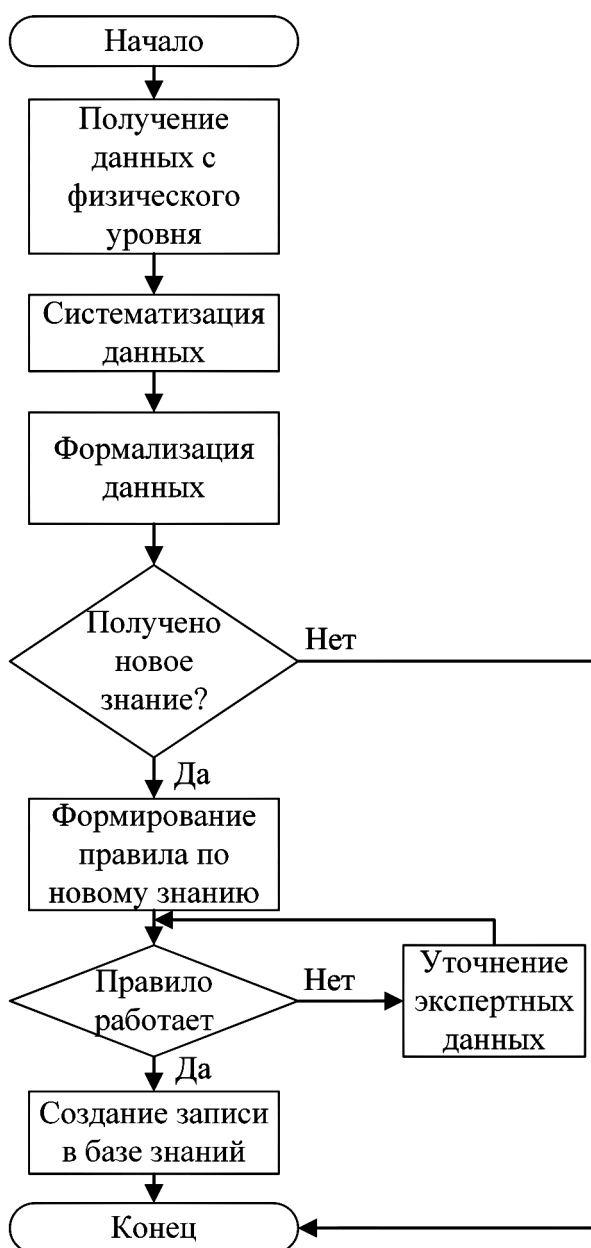


Рис. 1. Алгоритм формирования базы знаний

Треугольные функции принадлежности описываются всего тремя параметрами (левая точка, вершина, правая точка), что делает их вычислительно простыми. На текущем этапе нет возможности детализированно описать поведение параметра; другими словами, границы между состояниями невозможно установить критично, а значит, переходы между состояниями не требуют сложной аппроксимации, так как диапазоны параметров хорошо разделяются линейными функциями [7]. Помимо этого, треугольные функции максимально просты в визуализации, что делает их интуитивно понятными для настройки экспертом. Это важно в случае работы с формируемой системой, где правила формируются или корректируются на основе эмпирических данных и опыта инженеров [8]. В дальнейшем, при изменении исходных данных, параметр, представленный треугольной функцией принадлежности, можно будет относительно просто преобразовать в другой тип функции принадлежности.

Таблица 1

Переменные для тока

Имя переменной	Тип функции принадлежности	Диапазон изменения
Минимальный	Треугольная	[0,01963 0,01963 0,01971]
Средний	Треугольная	[0,01963 0,01971 0,01976]
Максимальный	Треугольная	[0,01971 0,01976 0,01976]

Таблица 2

Переменные для напряжения

Имя переменной	Тип функции принадлежности	Диапазон изменения
Минимальное	Треугольная	[32,3 32,3 33,3]
Среднее	Треугольная	[32,3 33,3 39,2]
Максимальное	Треугольная	[33,3 39,2 39,2]

Треугольная функция принадлежности имеет следующий вид:

$$\mu_A(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b; \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x < c; \\ 0, & x \geq c, \end{cases}$$

где a, b, c, d – некоторые числовые параметры, принимающие произвольные действительные значения и упорядоченные соотношением $a \leq c \leq b$ [5]. Зададим входные переменные и получим переменные для тока в амперах (табл. 1) и переменные для напряжения в вольтах (табл. 2).

Тогда функцию принадлежности тока можно представить в виде

- минимальный

$$\mu_A(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x < 0,0196; \\ \frac{x-0,0196}{0,01963-0,0196}, & 0,0196 \leq x \leq 0,01963; \\ \frac{0,01971-x}{0,01971-0,01963}, & 0,01963 < x \leq 0,01971; \\ 0, & x > 0,01971; \end{cases}$$

- средний

$$\mu_A(x, a, b) = \begin{cases} 0, & x < 0,01963; \\ \frac{x-0,01963}{0,01971-0,01963}, & 0,01963 \leq x \leq b; \\ \frac{0,01976-x}{0,01976-0,01971}, & 0,01971 < x \leq 0,01976; \\ 0, & x > 0,01976; \end{cases}$$

- максимальный

$$\mu_A(x, a, b) = \begin{cases} 0, & x < 0,01971; \\ \frac{x-0,01971}{0,01976-0,01971}, & 0,01971 \leq x \leq 0,01976; \\ \frac{0,0198-x}{0,0198-0,01976}, & 0,01976 < x \leq 0,0198; \\ 0, & x > 0,0198. \end{cases}$$

Функцию принадлежности напряжения можно представить в виде:

- минимальное

$$\mu_A(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x < 30; \\ \frac{x-30}{32,3-30}, & 30 \leq x \leq 32,3; \\ \frac{33,3-x}{33,3-32,3}, & 32,3 < x \leq 33,3; \\ 0, & x > 33,3; \end{cases}$$

- среднее

$$\mu_A(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & 32,3 < 39,2; \\ \frac{x-32,3}{33,3-32,3}, & 32,3 \leq x \leq 33,3; \\ \frac{39,2-x}{39,2-33,3}, & 33,3 < x \leq 39,2; \\ 0, & x > 39,2; \end{cases}$$

- максимальное

$$\mu_A(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x < 33,3; \\ \frac{x - 33,3}{39,2 - 33,3}, & 33,3 \leq x \leq 39,2; \\ \frac{42 - x}{42 - 39,2}, & 39,2 < x \leq 42; \\ 0, & x > 42. \end{cases}$$

Графически функции принадлежности входных параметров, созданные в пакете Fuzzy Logic Toolbox программного обеспечения MATLAB посредством FIS-редактора, представлены на рис. 2 и 3, и на рис. 4 для выходных параметров.

После анализа функций принадлежности и данных [6] были получены следующие правила:

1. ЕСЛИ (ток минимальный) И (напряжение минимальное), ТО (кабель целый).

2. ЕСЛИ (ток средний) И (напряжение среднее), ТО (кабель с нарушением внешней изоляции).

3. ЕСЛИ (ток максимальный) И (напряжение максимальное), ТО (кабель с нарушением внутренней изоляции).

Для учета промежуточных или смешанных случаев, когда один из параметров отклоняется от своего типичного значения для заданного состояния кабеля, имеет смысл вывести дополнительные правила, но не на основе экспертных знаний, а на основе текущих [9]. Такие правила

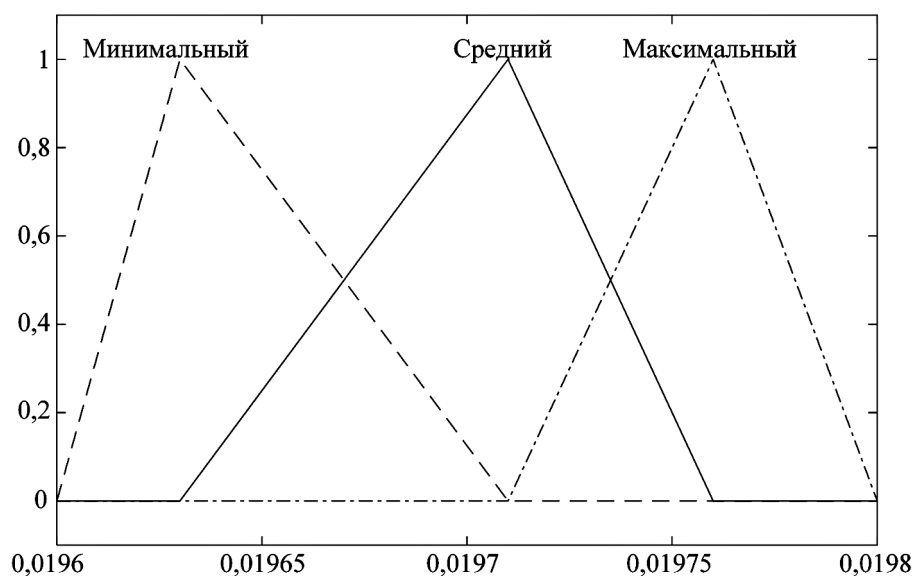


Рис. 2. Функции принадлежности тока

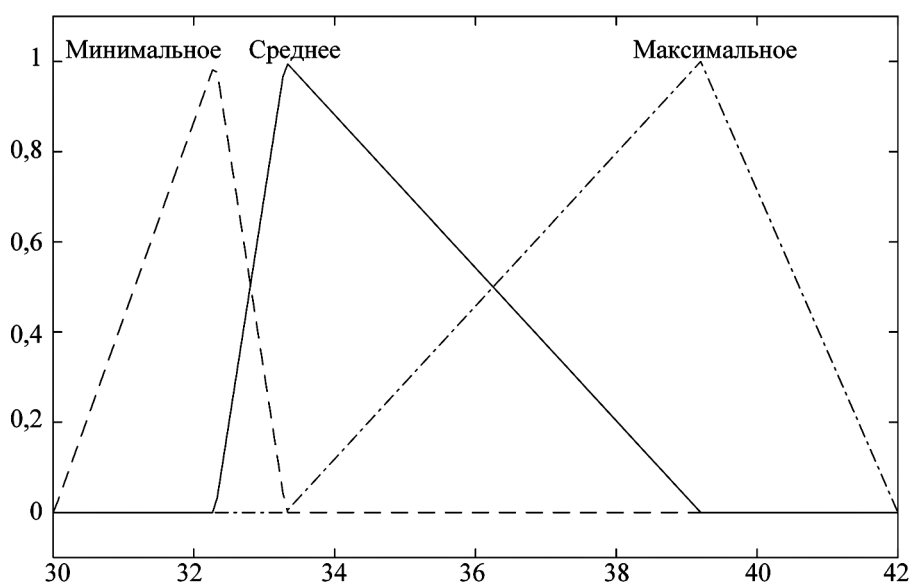


Рис. 3. Функции принадлежности напряжения

добавят гибкость в обработку данных в тех ситуациях, когда значения параметров находятся в пограничных зонах между различными состояниями. В реальных системах данные не всегда идеально соответствуют эталонным значениям. Дополнительные правила повышают устойчивость модели, позволяя ей работать с шумами, измерительными погрешностями или ситуациями, не учтенными основными правилами [10].

Например, максимальное напряжение (характерное для нарушения внутренней изоляции) более явно указывает на нарушение внутренней изоляции, чем средний ток. То есть можно заключить, что при небольших отклонениях тока (например от максимального к среднему) состояние кабеля все еще может быть определено как с нарушенной внутренней изоляцией. На этой основе можем добавить следующее правило:

4. ЕСЛИ (ток средний) И (напряжение максимальное), ТО (кабель с нарушенной внутренней изоляцией).

Кроме того, максимальный ток, характерный для нарушения внутренней изоляции, преобладает при определении нарушения внутренней изоляции, даже если напряжение не достигло максимального значения. То есть можно добавить еще одно правило:

5. ЕСЛИ (ток максимальный) И (напряжение среднее), ТО (кабель с нарушенной внутренней изоляцией).

Графическая визуализация работы правил представлена на *рис. 5*.

Визуализация нечеткого вывода, представленная на *рис. 6*, позволяет провести анализ поверхности зависимостей входных и выходных параметров.

Заключение

Полученные алгоритм формирования базы знаний и модель нечеткого вывода могут служить отправными точками для наращивания базы знаний путем экспериментального подтверждения сформированной в настоящей работе базы правил и ее дополнения или корректировки путем использования неформальных знаний специалиста-эксперта в данной предметной области, что приблизит к реализации систему, структурная модель которой приводится в [3].

Список литературы:

1. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. – М.: Вильямс, 2022. 1152 с.
2. Anderson J.R. Cognitive Psychology and Its Implications. – New York: Worth Publishers, 2015. 592 p.
3. Хабибуллин А.Ю., Симонова Л.А. Разработка структурной модели автоматизированной системы контроля состояния жгутов транспортных средств на основе элементов искусственного интеллекта // Научно-технический вестник Поволжья. 2023. № 12. С. 557-559.

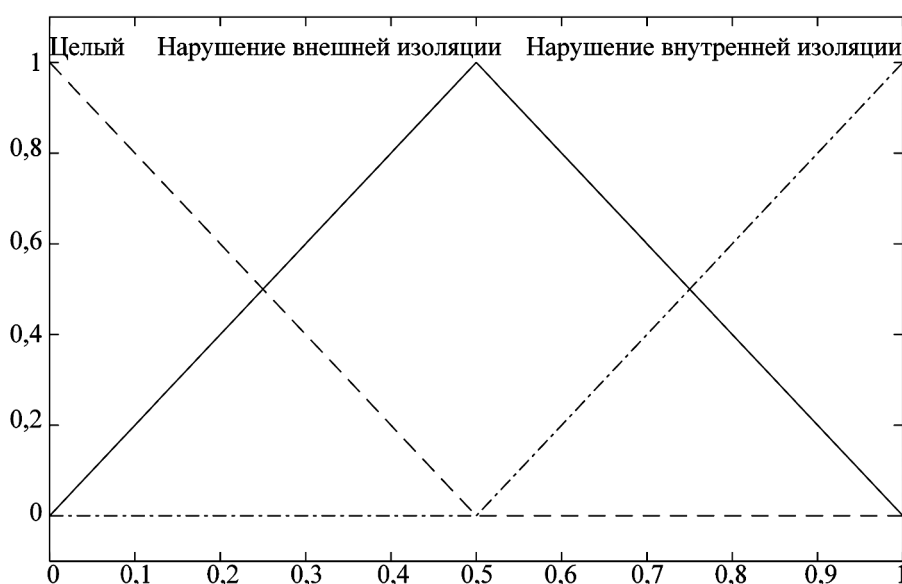


Рис. 4. Функции принадлежности состояния кабеля

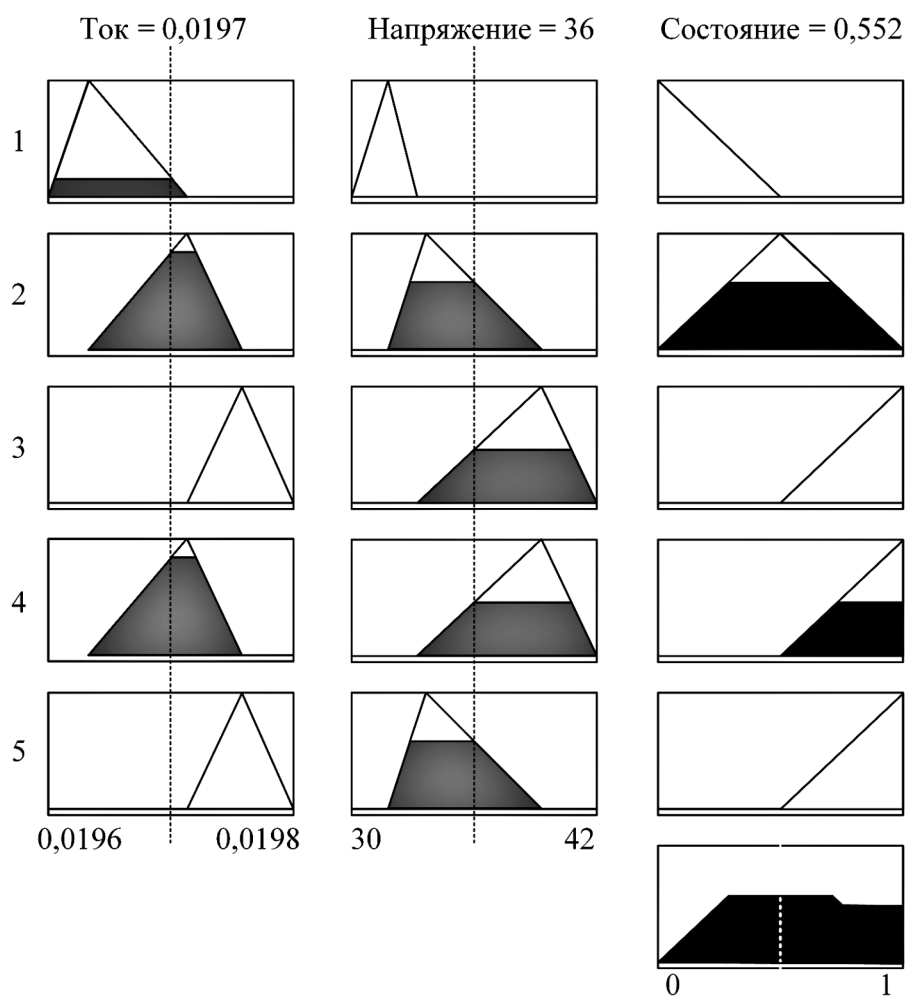


Рис. 5. Визуализация работы правил

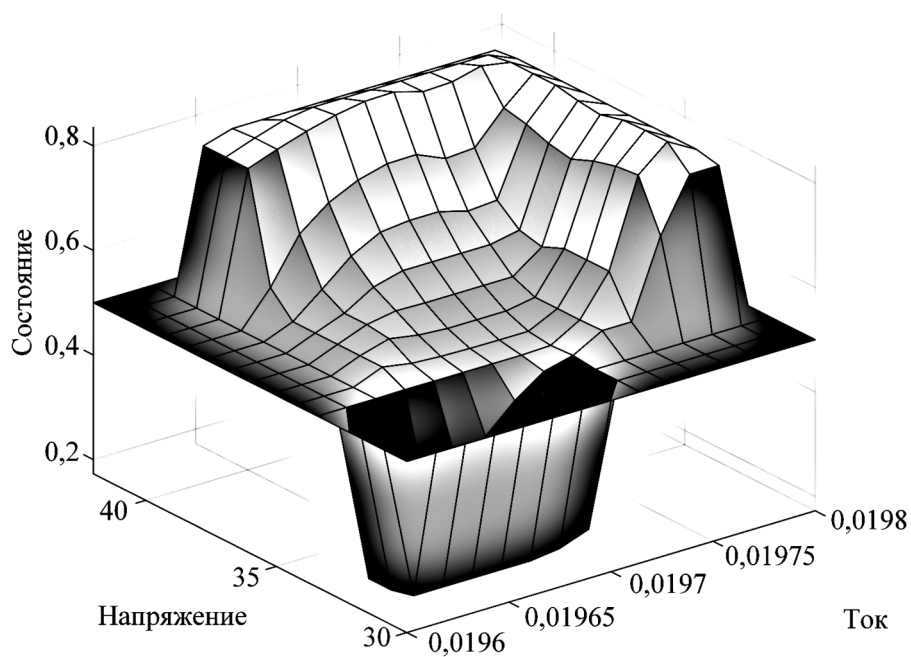


Рис. 6. Визуализация нечеткого вывода

4. Филимонов А.Б., Филимонов Н.Б. Основы нечеткой логики. – М.: РТУ МИРЭА, 2019. 88 с.
5. Воронин П.А. Системы управления на основе фаззи-логики. – Оренбург: ОГУ, 2012. 26 с.
6. Сайфутдинов З.Г., Башмаков Д.А., Ильин В.И. Система мониторинга и диагностики электрических кабелей // Приборы. 2023. № 9 (279). С. 46-50.
7. Ross T.J. Fuzzy Logic with Engineering Applications. – Wiley, 2010. 606 p.
8. Jang J.-S.R., Sun C.-T., Mizutani E. Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence. – Prentice Hall, 1997. 614 p.
9. Passino K.M., Yurkovich S. Fuzzy Control. – Addison-Wesley, 1998. 475 p.
10. Mendel J.M. Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems: Introduction and New Directions. – Prentice Hall, 2001. 360 p.

Аяз Юнусович Хабибуллин,
аспирант,

Лариса Анатольевна Симонова,

д-р техн. наук, профессор,

кафедра «Автоматизация и управление»,

Набережночелнинский институт (филиал)

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский)

федеральный университет»,

г. Набережные Челны,

e-mail: ayaz.khabibullin@mail.ru

**Международное научно-техническое общество приборостроителей
и метрологов (МНТО ПМ) – учредитель и издатель журнала
«Медицинская техника».**

Журнал «Медицинская техника» издается с 1967 года. Журнал отражает на своих страницах последние научно-технические достижения и основные тенденции в развитии медицинской техники как в нашей стране, так и за рубежом. Журнал освещает опыт работы НИИ, КБ и предприятий, занятых созданием и изготовлением изделий медицинской техники (приборов, аппаратов, оборудования, инструментов, очковой оптики), а также опыт их использования в лечебно-профилактических учреждениях. Публикуемые материалы предназначены для разработчиков, научных работников, производителей, медицинских работников и затрагивают вопросы исследований, конструирования, расчетов, технологии производства медицинской техники, а также вопросы экономики и организации ее производства и эксплуатации. Журнал информирует о новых изделиях медицинской техники промышленного выпуска, о международных и региональных выставках, съездах, симпозиумах, посвященных медицинской технике. Журнал «Медицинская техника» переводится на английский язык издательством «Springer» под названием «Biomedical Engineering».

Журнал зарегистрирован в ВАК РФ как научное издание.

Журнал выходит 6 раз в год и распространяется по подписке.

В редакции можно оформить льготную подписку на 2025 год.

Стоимость годовой подписки (6 экз.) – 9000 руб.

Заявки принимаются по тел./факсу: **(495) 695-10-71**

или по e-mail: **kavalerov@mail.ru**.

Более подробная информация о журнале «Медицинская техника» –
на сайте: **www.mtjournal.ru**.