

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе и инновациям
Пермского государственного национального
исследовательского университета,
доктор географических наук, профессор
Сергей Васильевич ПЬЯНКОВ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Диссертация *«Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки принятия решений на основе матричного представления нечеткой логики (на примере обслуживания технологического оборудования нефтедобычи)»* выполнена на кафедре прикладной математики и информатики.

В период подготовки диссертации соискатель **Селетков Илья Павлович** работал на кафедрах «Компьютерных систем и телекоммуникаций», «Радиоэлектроники и защиты информации», «Прикладной математики и информатики», занимал должности ассистента, старшего преподавателя и инженера.

В 2011 году окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский государственный университет», получил квалификацию «Радиофизик» по специальности «Радиофизика и электроника».

В 2014 году И.П. Селетков окончил аспирантуру очной формы обучения в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Пермский государственный университет» по специальности 05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Научным руководителем в 2011-2017 гг. являлся **Михаил Андреевич Марценюк**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой компьютерных систем и телекоммуникаций Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет».

С 2017 г. научным руководителем является **Леонид Нахимович Ясницкий**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры прикладной математики и информатики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет».

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

1. Личное участие соискателя ученой степени в получении результатов, изложенных в диссертации.
 - Произвел обзор существующих в предметной области процессов, технологического оборудования, потоков данных, информационных систем.
 - Собрал исходные знания экспертов, выбрал концептуальную интеллектуальную модель для поддержки принятия решений.
 - Предложил использовать нечеткие векторные предикаты для описания предметной области, показал связь с нечеткими (под)множествами.
 - Предложил способ оценки неопределенности нечеткого предиката.

- Выполнил обзор и сравнительный анализ существующих моделей логических операций над нечеткими множествами и предикатами, показал выполнение законов двойного отрицания и коммутативного закона.
- Показал возможность представления сложного дизъюнктивного предиката не коррелирующих между собой параметров в виде суммы независимых предикатов.
- Предложил способ численного определения лингвистической переменной в виде набора векторных нечетких предикатов.
- Предложил способ оценки неопределенности лингвистической переменной.
- Предложил алгоритм формализации лингвистических правил, отличающийся использованием нечетких векторных предикатов.
- Предложил матричную реализацию алгоритма нечеткого логического вывода, отличающуюся использованием векторных нечетких предикатов, применимую для решения любых прикладных задач принятия решений.
- Показал численную связь предложенного алгоритма нечеткого вывода с использованием векторных предикатов с алгоритмом упрощенного нечеткого логического вывода.
- Сравнил вычислительную сложность предложенного алгоритма с существующими алгоритмами нечеткого логического вывода.
- Предложил способ описания работы нечеткого автомата с памятью с помощью матричного представления нечеткой логики.
- Предложил алгоритмическую модель работы нечеткого логического автомата с конечной памятью, отличающаяся использованием для вычислений модифицированной нечеткой комбинационной схемы, анализирующей внешний блок памяти, и матричного представления нечеткого логического вывода, что позволяет избежать оценки трудно формализуемого нечеткого состояния анализируемого объекта.
- Предложил метод построения нечеткой комбинационной схемы, анализирующей внешний блок памяти, по заданной модели нечеткого автомата с конечной памятью.
- Разработал ПО «МИРМ» для поддержки принятия решений операторами и автоматизации процесса обслуживания технологического оборудования нефтедобычи. Построил модели процессов, потоков данных, базу знаний о предметной области, логическую модель ПО «МИРМ».
- Собрал, обработал данные, численно оценил практические эффекты от использования ПО «МИРМ» в пилотном проекте в процессе обслуживания технологического оборудования нефтедобычи ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» (в рамках договоров № 16Z.1394 от 01 июня 2016 г. и № Ф6/0285/18/18Z0686 от 17 апреля 2018 г. между ООО «Свифт» и ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ»).

2. Научная новизна исследования.

Научная новизна исследования заключается в развитии матричного представления нечеткой логики и разработке новых моделей интеллектуальных алгоритмов, что представлено совокупностью следующих положений:

- Предложен алгоритм формализации лингвистических правил, отличающийся использованием нечетких векторных предикатов, что позволяет численно обрабатывать эти правила с применением матричного аппарата нечеткой логики.
- Предложена матричная реализация алгоритма нечеткого логического вывода, отличающаяся использованием векторных нечетких предикатов, применимая для решения любых прикладных задач принятия решений.
- Предложена алгоритмическая модель работы нечеткого логического автомата с конечной памятью, отличающаяся использованием для вычислений

модифицированной нечеткой комбинационной схемы, анализирующей внешний блок памяти, и матричного представления нечеткого логического вывода, что позволяет избежать оценки трудно формализуемого нечеткого состояния анализируемого объекта.

3. Степень достоверности результатов, проведенных соискателем ученой степени.

Теоретическая обоснованность разработанных моделей, методов и алгоритмов подтверждается отзывами, собранными соискателем в ходе выступления на международных и всероссийских конференциях.

Достоверность и обоснованность результатов в части решения прикладной задачи подтверждается ручной проверкой соответствия выводов заложенным знаниям экспертов-технологов, внедрением и опытной эксплуатацией разработанных методов, моделей, алгоритмов в составе системы «МИРМ» в рамках пилотного проекта на базе ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ».

4. Теоретическая и практическая значимость исследования.

Теоретическая значимость исследования состоит в развитии матричного представления нечеткой логики, реализации возможности его применения для решения любых прикладных задач принятия решений.

Практическая значимость исследования состоит в разработке интеллектуальной системы поддержки принятия решений, внедрённой в ПО для мобильных устройств «Мобильное информационное рабочее место оператора (МИРМ Оператора)», позволившей сократить время выработки оператором и повысить качество и адекватность управляющих воздействий на технологическое оборудование добычи нефти и газа. В свою очередь, использование ПО «МИРМ» на пилотном проекте на 588 технологических объектах ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» позволило

- повысить коэффициент эксплуатации добывающих скважин на 1%;
- снизить количество недоборов нефти по непредвиденным причинам на 50%;
- повысить производительности труда операторов на 10%.

Снижение количества недоборов по непредвиденным причинам означает сокращение числа внеплановых остановок скважин, вызванных непредвиденными причинами - поломками оборудования, и не означает сокращение плановых остановок или увеличение производительности скважин в рабочем режиме.

5. Обязательные ссылки на авторов или источник заимствования материалов или отдельных результатов. При использовании в диссертации результатов научных работ, выполненных соискателем ученой степени лично и (или) в соавторстве, соискатель ученой степени обязан отметить в диссертации это обстоятельство.

Диссертационная работа представляет собой оригинальное исследование с корректным указанием ссылок на источники цитируемых материалов. Автор работы корректно ссылается как на научные работы, выполненные им лично, так и в соавторстве.

6. Соответствие диссертации научной специальности по действующей номенклатуре специальностей научных работников.

Диссертационная работа посвящена разработке и развитию методов и алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия решений на основе матричного представления нечеткой логики. Практическая апробация разработанных методов произведена на примере обслуживания технологического оборудования нефтедобычи.

Разработанные методы и алгоритмы могут быть также использованы для построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений и в рамках

информационных систем в очень широком спектре предметных областей, знаниями о функционировании которых обладают люди-эксперты.

Указанная область исследования соответствует паспорту специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические и информационные системы):

- п.2 «Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации»;
- п.4 «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации»;
- п.13 «Методы получения, анализа и обработки экспертной информации».

7. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем ученой степени (с включением списка опубликованных работ по теме диссертации).

По теме диссертационной работы опубликовано 12 печатных и приравненных к ним работ, в том числе: 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, 11 статей, 3 из которых в журналах, входящих в Перечень рекомендованных ВАК РФ, из них 1 – в издании, индексируемом в базе Scopus.

- 1) **Seletkov, I. P.** Application of Matrix Fuzzy Logic in Machine Independent Temperature Controller = Применение матричной нечеткой логики в аппаратно-независимом регуляторе температуры / I. P. Seletkov, L. N. Yasnitsky. // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2019. – Vol. 850. – P. 443–449. – Ст. на англ. (**Scopus**)

В данной работе производится обзор матричного представления нечеткого вывода, методов фаззификации и дефаззификации с использованием нечетких векторных предикатов. Предлагается модель нечеткого логического автомата в виде нечеткой комбинационной схемы, анализирующей внешний блок памяти.

Описываются алгоритмы управления и результаты проведенного эксперимента по управлению температурой жидкости с различными параметрами самой жидкости и нагревающего элемента, и показывается возможность применения разработанных подходов для построения универсальных контроллеров, не требующих предварительной калибровки. (Вклад соискателя 80%)

- 2) **Марценюк, М. А.** Нечеткий алгоритм многофакторной оценки рейтинга студента / М. А. Марценюк, В.Б. Поляков, **И. П. Селетков** // *Прикладная информатика*. – 2014. – № 5 (53). – С.41–49. (*из Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук*)

В данной работе производится обзор матричного представления нечетких логических операций, нечеткого логического вывода для высказываний. Предлагаются способ формализации лингвистических правил и способы проведения нечеткого логического вывода с использованием нечетких векторных предикатов, развиваемые в качестве основного математического подхода в диссертационной работе.

Корректность, адекватность и применимость предлагаемых методов показывается на решении задач из нескольких предметных областей, в частности оценки рейтинга студента по различным несвязанным друг с другом критериям. (Вклад соискателя 70%)

- 3) **Селетков, И.П.** Применение матричного аппарата нечеткой логики для поддержки принятия решений в процессе обслуживания технологического оборудования нефтедобычи / И.П. Селетков // *Прикладная математика и вопросы управления / Applied Mathematics and Control Sciences*. – 2020. – №4. – С.65–88. (*из Перечня рецензируемых*

научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук)

В данной работе производится обзор предметной области обеспечения процесса добычи нефти: основные виды применяемого оборудования, используемые информационные системы, потоки и источники данных, знаний, проблемы, с которыми сталкиваются операторы оборудования. Делается вывод о необходимости разработки системы поддержки принятия решений, использующей в своей основе аппарат нечеткой логики.

Далее дается обзор матричного аппарата нечеткой логики, приводится подробное описание предлагаемого матричного представления алгоритма нечеткого логического вывода с использованием нечетких векторных предикатов.

Для анализа истории изменения параметров оборудования предлагаются модели нечеткого автомата с памятью и аналогичной комбинационной схемы, анализирующей внешний блок памяти, работающие на основе новой матричной реализации алгоритма нечеткого логического вывода с использованием нечетких векторных предикатов.

В заключительной части работы описывается процесс разработки и опытной эксплуатации системы поддержки принятия решений, и приводятся основные результаты тестирования. (Вклад соискателя 100%)

- 4) Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017613226 от 14.03.2017. «Мобильное информационное рабочее место оператора (МИРМ оператора)». / **И. П. Селетков**. Заявка № 2016662870; поступл. 24.11.2016. (Вклад соискателя 100%)
- 5) Марценюк, М. А. Матричная реализация алгоритмов нечеткого вывода / М. А. Марценюк, В. Б. Поляков, И. П. Селетков // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2012. – № 6 (162). – С. 133–141. (Вклад соискателя 70%)
- 6) Марценюк, М. А. Приведение конечного нечеткого автомата к нечеткой комбинационной схеме с блоком памяти / М. А. Марценюк, И. П. Селетков // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2014. – № 6 (210). – С. 67–80. (Вклад соискателя 80%)
- 7) Марценюк, М. А. Нечеткий клеточный автомат для регулирования поля температуры / М. А. Марценюк, И. П. Селетков // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2015. – № 2-3 (212-217). – С. 125–138. (Вклад соискателя 85%)
- 8) Марценюк, М. А. Матричная реализация алгоритмов нечеткого вывода / М. А. Марценюк, **И. П. Селетков** // Актуальные проблемы механики, математики, информатики: сб. тез. науч.-практ. конф. (Пермь, 30 октября – 1 ноября 2012 г.) / гл. ред. В. И. Яковлев; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2012. – С. 63. (Вклад соискателя 70%)
- 9) Марценюк, М. А. Применение матричного аппарата для реализации нечеткого автомата / М. А. Марценюк, **И. П. Селетков** // Современные проблемы математики и ее прикладные аспекты. Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых с международным участием: материалы конф. (Пермь, 29-31 октября 2013 г.) / гл. ред. В. И. Яковлев; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2013. – С. 58. (Вклад соискателя 70%)
- 10) Марценюк, М. А. Алгоритмы нечеткого вывода: обзор и матричная реализация / М. А. Марценюк, **И. П. Селетков** // Вестник Пермского университета. Информационные системы и технологии. – 2013. – № 13. – С. 17–21. (Вклад соискателя 70%)

- 11) Селетков, И. П. Формализация задачи поддержки принятия решений при обслуживании технологического оборудования нефтедобычи / И. П. Селетков // Искусственный интеллект в решении актуальных социальных и экономических задач XXI века: сб. ст. по материалам Четвертой всерос. науч.-практ. конф. (г. Пермь, 21–24 мая 2019 г.) Ч. II. / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2019.– С. 165–168. (Вклад соискателя 100%)
- 12) Селетков, И. П. Заметки по созданию автономной интеллектуальной системы поддержки принятия решений при обслуживании технологического оборудования нефтедобычи / И. П. Селетков // XVIII всерос. науч. конф. «Нейрокомпьютеры и их применение». Тезисы докладов. – М: ФГБОУ ВО МГППУ, 2020. – С. 141–143. (Вклад соискателя 100%)

Диссертация «Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки принятия решений на основе матричного представления нечеткой логики (на примере обслуживания технологического оборудования нефтедобычи)» Ильи Павловича Селеткова рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические и информационные системы).

Заключение принято на заседании кафедры прикладной математики и информатики.

Присутствовало на заседании 13 человек.

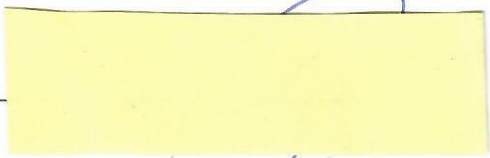
Результаты голосования:

«за» - 13 чел.;

«против» - 0 чел.;

«воздержалось» - 0 чел.

Протокол № 6 от «02» февраля 2021 г.


Заведующий кафедрой прикладной математики и информатики,
доктор физико-математических наук, профессор
Сергей Владимирович Русаков

Подпись С. В. Русаков заверяю
Исполнительный секретарь совета

