

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук Колодкина Владимира Михайловича на диссертационную работу Вилисова Валерия Яковлевича «Модели, методы и алгоритмы информационно-аналитической поддержки принятия решений по распределению сил и средств при ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.4. Управление в организационных системах (технические науки)

Актуальность темы

Диссертационная работа посвящена разработке моделей, методов и алгоритмов для систем поддержки принятия решений (СППР) при управлении ликвидацией пожаров и чрезвычайных ситуаций (ЧС).

Важными факторами роста сложности задач управления при ликвидации пожаров и ЧС являются такие как: рост сложности технологических объектов территориальной и экономической инфраструктуры; рост площади и плотности застройки городских и сельских поселений; рост количества потенциально опасных причин техногенных аварий; появление новых материалов с непредсказуемыми свойствами пожарной нагрузки; рост информационной нагрузки на лиц, принимающих решения (ЛПР); ужесточение нормативных показателей ликвидации пожаров и ЧС. В этой связи разработка моделей, методов и алгоритмов для повышения эффективности поддержки принятия решений по распределению сил и средств при ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций является важным для повышения уровня пожарной безопасности.

Поэтому исследование Вилисова Валерия Яковлевича является актуальным и лежит в области разработки моделей, методов и алгоритмов для систем поддержки принятия решений по распределению сил и средств (СиС) при управлении ликвидацией пожаров и ЧС с использованием технологии машинного обучения, риск-ориентированного управления, организационных инноваций, что и определяет цель диссертационного исследования.

Вх. № 7/59 от 02.03.2022

Задачи и объект исследования:

Исходя из поставленной цели, соискатель сформулировал следующие задачи исследования:

1. Провести комплексный анализ особенностей, противоречий и организационно-технических проблем информационно-аналитической поддержки принятия управленческих решений в информационной среде систем управления и организации МЧС России.

2. Проанализировать и классифицировать математические модели принятия управленческих решений, наиболее адекватных горизонту оперативного управления силами и средствами при ликвидации пожаров и ЧС.

3. Разработать принципы и методические основы эффективного согласованного человеко-машинного принятия решений при ликвидации пожаров и ЧС.

4. Разработать модели, методы и алгоритмы выявления и представления реальных критериев лиц, принимающих решения, в повторяющихся процедурах формирования управленческих решений при ликвидации пожаров и ЧС.

5. Проанализировать подходы и методы эффективного применения автономных мобильных роботов и их групп для мониторинга и ликвидации последствий пожаров и ЧС, разработать необходимые алгоритмы построения машинообучаемых моделей для таких робототехнических систем.

6. Формализовать влияние степени риска в решениях ЛПР и его персональных характеристик на качество выбора управленческих решений и разработать методы их учета в практике принятия решений при ликвидации пожаров и ЧС.

7. Выполнить моделирование и апробацию разработанных концепций, методов, моделей и алгоритмов для информационно-аналитической поддержки принятия решений при ликвидации пожаров и ЧС.

8. Проанализировать и оценить возможности применения технологий страхования для возмещения ущерба от пожаров и для материально-технического обеспечения пожарно-спасательных подразделений.

В качестве объекта исследования соискатель определил деятельность пожарно-спасательных подразделений при ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций.

Теоретическая значимость и научная новизна диссертационной работы:

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в развитии методологии информационно-аналитической поддержки принятия управленческих решений при ликвидации пожаров и ЧС на основе применения машинообучаемых моделей, построенных с привлечением опыта принятия решений ЛПР в

аналогичных ситуациях в прошлом. Предложенный в работе подход позволяет обеспечить эффективное сопряжение, в рамках двухконтурной схемы, быстропротекающих процессов развития обстановки на пожаре или в ЧС с более медленными циклами анализа ситуации и выбора ЛПР наилучшего варианта решения на основе построения моделей, адекватных предпочтениям опытных ЛПР.

Научная новизна диссертационной работы Вилисова В.Я. заключается в следующем:

- разработана методология построения оптимизационных моделей принятия решений при ликвидации пожаров и ЧС, на основе их машинного обучения, что обеспечивает согласованное двухконтурное управление в человеко-машинном режиме с учетом динамики протекающих процессов;

- разработаны методы и алгоритмы, обеспечивающие эффективную настройку параметров моделей, адаптирующихся к целевым предпочтениям ЛПР, что обеспечивает снятие априорной и текущей неопределенностей параметров моделей в условиях нестационарности среды и предпочтений ЛПР;

- разработан подход, модели и алгоритмы машинного обучения мультиагентных робототехнических систем, предназначенных для ликвидации последствий пожаров и ЧС с учетом опыта управления операторов;

- разработаны модели и алгоритмы для мониторинга готовности к выполнению боевых задач пожарно-спасательными подразделениями, основанные на риск-ориентированной технологии внутреннего контроля, обеспечивающие более обоснованный выбор управленческих решений;

- разработаны модели и предложены варианты модификации организационной структуры ликвидации пожаров и ЧС, включающие страховые, лизинговые и аутсорсинговые элементы, позволяющие более эффективно функционировать противопожарным службам.

Практическая значимость работы:

Практическая значимость работы заключается в разработке алгоритмов и процедур, позволяющих решить ряд задач, актуальных для управления ликвидацией пожаров и ЧС, в частности: распределение СиС по одновременным вызовам; назначение оптимального ранга пожара; оценивание склонности к риску лиц, принимающих решения; машинное обучение автономных роботов планированию операций; мониторинг готовности к выполнению боевых задач подразделениями пожарной охраны на разных уровнях иерархии управления; оценивание потенциала увеличения эффективности управления силами и средствами; оценивание объема страхового возмещения ущерба от пожаров и величины страховой нагрузки на

страхователей. Апробация предложенных в работе подходов, методов, моделей и алгоритмов была выполнена на разнообразных исходных данных в рамках учебного процесса в высших учебных заведениях как пожарного, так и технического профиля.

Содержание работы:

Диссертационная работа Вилисова Валерия Яковлевича построена логически правильно, обладает внутренним единством, содержит совокупность новых научных результатов и положений в области разработки методов, моделей и алгоритмов информационно-аналитической поддержки принятия управленческих решений при распределении сил и средств при ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций, в том числе с применением робототехники, на основе принципов машинного обучения, организационных инноваций и с учетом факторов риска.

Важной отличительной особенностью данного исследования является то, что модели, методы и алгоритмы принятия решений основываются на опыте лиц, принимающих решения, при управлении ликвидацией пожаров и ЧС, что позволяет строить адаптивные схемы управления, обеспечивающие согласованное взаимодействие быстропротекающих при пожарах и ЧС процессов с ограниченной и низкой пропускной способностью лиц, управляющих их ликвидацией.

Структура диссертационной работы соответствует ее содержанию и представляет собой научный труд. Работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и четырех приложений. Общий объем диссертационной работы составляет 433 страницы. Работа иллюстрирована 122 рисунками и содержит 58 таблиц. Библиографический список включает в себя 479 наименований источников литературы.

Во **введении** автором обоснована актуальность диссертации, определены основные направления исследования.

Первая глава посвящена анализу методов и технологий поддержки принятия решений при управлении силами и средствами при ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций. Классифицируются и обсуждаются существующие на сегодня модели управления СиС на различных уровнях иерархии управления. Обосновывается двухконтурная структура систем поддержки принятия решений с машинообученной моделью в качестве хранилища знаний о предпочтениях опытных лиц, принимающих решения. Предлагается, в качестве основного элемента машинного обучения моделей, технология решения обратных задач. Построены регрессионные модели, отражающие связи параметров реагирования с показателями ущерба, используемые далее для оценивания эффективности управления.

Во **второй главе** представлены полученные соискателем результаты исследования возможности применения машинообучаемых моделей транспортного типа для управления ликвидацией пожаров, имеющие очевидные перспективы своего развития и более широкого применения. Автором выполнен комплексный и глубокий анализ пожарной статистики в части одновременных вызовов, показана статистически значимая зависимость увеличения удельного ущерба при росте количества пожаров. Показано, что существенным фактором этого может быть не оптимальность и недостаточная гибкость распределения ресурсов пожарно-спасательных подразделений (ПСП) по одновременным вызовам. Приведены прямая и обратная постановки транспортной задачи (модели) для распределения ограниченных Сис, разработаны методы и рекуррентные алгоритмы обучения модели в человеко-машинном режиме с применением процедур экспертного оценивания и оптимального планирования эксперимента. Показано в режиме имитационного моделирования, что имеется существенный потенциал снижения ущерба при одновременных вызовах за счет применения в составе систем поддержки принятия решений (СППР) машинообучаемых моделей.

В **третьей главе** диссертационной работы дано описание разработанных автором и предназначенных для СППР при управлении пожарной безопасностью машинообучаемых вариантов марковских и игровых моделей. Приведено описание двух типов марковских моделей – это марковские цепи, с помощью которых моделируются переходы между стадиями ликвидации пожара (для прогнозирования их параметров), и управляемые марковские цепи (УМЦ), с помощью которых определяется оптимальная стратегия выбора ранга пожара. В марковской цепи процесс развития пожара представлен переходами в дискретные моменты времени между состояниями, которым соответствуют укрупненные фазы развития пожара – свободное горение, тушение, ликвидация последствий пожара, «нет пожара». Матрица вероятностей перехода марковской цепи оценивается путем решения обратной задачи по статистическим данным о временных характеристиках реагирования ПСП, что дает возможность строить персонифицированную для конкретного ПСП прогностическую модель. Для определения ранга пожара по марковской цепи привлекаются экономические данные (переменные издержки и компенсация ущерба), на основании чего строятся байесовские оценки вариантов рангов. Использование УМЦ для определения ранга пожара основано на принятой в работе методологии машинного обучения, т.е. на решении обратной задачи по ретроспективным данным. Машинообучаемые матричные игровые модели построены в контексте управления эвакуацией людей из горящего здания. В

модельных экспериментах показана эффективность разработанных автором рекуррентных алгоритмов обучения игровых моделей.

В четвертой главе представлен комплекс алгоритмов обучения автономных мобильных роботов, используемых при ликвидации последствий пожаров и ЧС в ситуациях, где участие человека-оператора невозможно. В качестве прототипов роботов рассмотрены отечественные роботы, находящиеся на вооружении МЧС России. Алгоритмы, используемые для управления как роботами, входящими в состав группы, так и отдельными, позволяют обучать модели в соответствии с технологией машинного обучения, разработанной автором. В число таких моделей включены задача линейного программирования (для планирования работ в группе роботов переменного состава), транспортная задача (для распределения заданий в группе роботов), управляемая марковская цепь (для управления роботами разведки). Обучение моделей, используемых во встраиваемых бортовых системах роботов и в модуле супервизорного управления, производится в условиях полигона с участием опытных операторов. Предложена схема концептуального проектирования мультиагентной робототехнической системы (на примере использования беспилотной авиационной системы для мониторинга пожароопасного района), построена имитационная модель, выполнен параметрический анализ эффективности работы системы и определены ее оптимальные параметры.

В пятой главе представлены модели и алгоритмы контроля готовности пожарно-спасательных подразделений и управления рисками в задачах поддержки принятия решений при ликвидации пожаров и ЧС. Предложены методы и алгоритмы внутреннего контроля (ВК) готовности к реагированию на пожары и ЧС на различных уровнях иерархии управления. Разработанные элементы технологии ВК основаны на риск-ориентированном подходе, позволяющем перейти от управления по отклонениям выходных показателей от нормы к управлению по возмущениям факторов, влияющих на выходные показатели. Предложено оценивание рисков по бинарным тестам ПСП и сотрудников, как потенциальных источников рисков событий. Тесты представлены двумя группами – для оценивания рисков и для оценивания состояния системы ВК. Разработаны алгоритмы работы с тестами. Предложен алгоритм планирования внешних проверок по данным ВК. В контексте РСЧС выполнено моделирование межуровневого взаимодействия иерархических организационных систем в условиях переходных режимов. Разработаны алгоритмы построения нейросетевых и регрессионных моделей межуровневых взаимосвязей показателей с использованием процедур экспертного оценивания. В рамках реализации риск-ориентированного подхода предложен, основанный на матричных играх и деревьях решений, метод оценивания уровня риска, возникающего при

управлении СиС при пожарах и ЧС, где параметром степени риска служит параметр пессимизма-оптимизма критерия Гурвица. Показано, что предложенные методы снижения риска за счет проверок приводят к улучшению времени реагирования ПСП и, соответственно, к существенному снижению ущерба.

В **шестой главе** представлены модели и анализ подходов повышения эффективности ликвидации пожаров и ЧС за счет использования организационных и инновационных факторов, в числе которых – страхование, лизинг и аутсорсинг. Построена модель страхового обеспечения деятельности ПСП, учитывающая страховую нагрузку на различные категории граждан и позволившая получить оценки приемлемых страховых тарифов для различных конфигураций организации финансирования ПСП, использования инноваций, лизинга и аутсорсинга при организации и управлении ликвидацией пожаров и ЧС. На основе построенной модели были получены оценки необходимых объемов страховых средств, построены соответствующие зависимости показателей от параметров, что позволяет планировать страховые сборы в зависимости от необходимой суммы и допустимого уровня страховой нагрузки на страхователей.

В **заключении** сформулированы основные результаты и выводы по диссертационной работе.

В **приложениях** приведены данные для моделирования транспортной задачи, алгоритм решения обратной задачи линейного программирования, акты о внедрении результатов исследования и свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Замечания по диссертации

В качестве замечаний и рекомендаций по работе можно отметить следующее:

1. Как следует из диссертационной работы разработаны машинообучаемые модели, методы, алгоритмы позволяющие переложить часть функций подготовки решений на СППР. Однако, далее в работе недостаточно показана процедурная часть интеграции разработанных моделей и алгоритмов в автоматизированную систему управления.

2. В пятой главе автором предложен ряд подходов, моделей и алгоритмов, отражающих не только процедуры оценивания готовности пожарных подразделений на основе риск-ориентированного внутреннего контроля, но также методы оценивания показателя склонности ЛПР к риску и моделирование взаимодействия ЛПР в многоуровневых системах управления. Однако при этом остался неосвещенным вопрос интеграции таких разнородных задач управления для обеспечения пожарной безопасности.

3. Обеспечение руководителя тушения пожара или ЛПР других уровней исчерпывающей информацией для принятия обоснованного управленческого решения является важным условием эффективного управления. Во второй и третьей главах автором, на основе методов экспертного оценивания и оптимального планирования эксперимента рассмотрены варианты предъявления сокращенного набора данных лицу, принимающему решения, в несколько шагов. Из содержания этих глав остается неясным вопрос о том, в каждой ли новой ситуации принятия решений процесс выбора решения будет многошаговым.

4. В работе встречаются незначительные технические погрешности, например, на странице 216 ошибка в обозначениях. Должно быть: «количество каналов обслуживания роботов, т.е портов зарядки (х3, шт.)».

Указанные замечания и предложения носят рекомендательный характер и не снижают общую положительную оценку диссертации, ее научную ценность и практическую значимость.

Диссертация написана корректным научным языком, очень грамотно оформлена, хорошо иллюстрирована и содержит важные научные результаты, что свидетельствует о высокой квалификации ее автора в избранной специальности и соответствии требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям.

Перечень публикаций позволяет судить о достаточной информированности научно-технической общественности о содержании работы.

Автореферат дает исчерпывающее представление как о самой диссертации, так и о полученных в ней результатах.

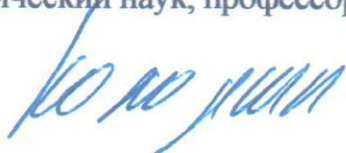
Таким образом, диссертационная работа Вилисова Валерия Яковлевича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой решена важная научная проблема развития теоретических принципов, разработки моделей, методов и алгоритмов информационно-аналитической поддержки принятия решений по распределению сил и средств при ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций на основе применения машинообучаемых оптимизационных моделей, организационных инноваций и с учетом факторов риска.

Вывод: по своему содержанию, научно-теоретическому уровню диссертационная работа Вилисова Валерия Яковлевича соответствует требованиям, установленным Положением о присуждении учёных степеней, утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к докторским диссертациям, паспорту специальности 2.3.4. Управление в организационных системах (технические науки), а ее автор

заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.4. Управление в организационных системах (технические науки).

Официальный оппонент:

Профессор Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего
образования «Удмуртский государственный
университет», доктор технических наук, профессор



Колодкин Владимир Михайлович

«21» февраля 2022 г.

Подпись руки Колодкина Владимира Михайловича удостоверяю:
Ученый секретарь Ученого совета ФГБОУ ВО «УдГУ»

М.П.



Л.А. Пушина

Почтовый адрес:
426034, Удмуртская Республика, г. Ижевск, Университетская ул., д.1, корпус.1
Tel.: +7(3412) 916-085, Fax: +7(3412) 68-38-31, E-mail: kolodkin@rintd.ru