

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Шаталова Павла Сергеевича «Система поддержки принятия решений по управлению природными пожарами с использованием высокопроизводительных вычислительных систем и данных космического мониторинга», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации (информатика, вычислительная техника, управление)

**Актуальность темы.** Проблема природных пожаров в последнее время привлекает к себе особое внимание, что связано с участившими случаями катастрофических пожаров в лесах, степях и торфяниках и тяжелыми последствиями, вызываемыми этим природным явлением.

Борьбу с природными пожарами ведут специализированные структуры, которым приходится принимать множество оперативных решений. Системы поддержки принятия решений в области управления природными пожарами подразумевают наличие расчетного компонента, осуществляющего прогнозирование параметров природного пожара для принятия обоснованных решений. Данный компонент может использовать существующие математические модели природных пожаров, которые могут относиться к одной из двух категорий: физические и эмпирические.

Физические математические модели подробно описывают все физико-химические процессы, происходящие при горении и распространении пожара, вследствие чего они обладают высокой вычислительной сложностью и требуют для своей реализации использования сверхпроизводительных вычислительных систем. С их помощью можно изучать особенности процессов при пожарах и решать другие исследовательские задачи, но они не пригодны для оперативного прогноза динамики пожара.

В основе эмпирических математических моделей использованы упрощенные физические зависимости и экспериментальные данные. Эти модели характеризуются высоким быстродействием, но невысокой точностью прогноза, что также не позволяет их использовать в системах принятия решений.

Поэтому актуальной является проблема разработки математических моделей, способных оперативно и точно прогнозировать распространение природных пожара, и на этой основе давать возможность принимать обоснованные решения.

Не менее важной проблемой является информационное обеспечение системы поддержки принятия решений необходимыми входными данными о природных горючих материалах, погоде и ландшафте.

Таким образом, существует междисциплинарная системная проблема создания эффективных математических моделей и их реализации с помощью современных вычислительных средств. Рассматриваемая диссертационная работа посвящена решению указанной проблемы, что делает ее, на наш взгляд, безусловно актуальной.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Автором проведен системный анализ рассматриваемой предметной области, изучены нормативные документы по пожароуправлению, а также актуальные публикации по теме диссертации. Рассмотрены известные модели динамики природных пожаров и процессов борьбы с ними. Освоен и локализован на кластере Сибирского федерального университета программный пакет WFDS (Wildland-urban interface Fire Dynamics Simulator), достаточно точно описывающий процессы горения растительных материалов и позволивший осуществить комплекс исследований по оценке достоверности имеющихся математических моделей и разработке более совершенных гибридных моделей. Часть результатов автора получена в результате совместной работы со специалистами лаборатории Pacific Wildland Science Lab Лесной службы США. Важное значение имеет предложенная и обоснованная автором методика оценки параметров природных горючих материалов на основе таксационных описаний лесов, а также использование космических снимков для получения характеристик инфраструктуры местности и лесных массивов. Впервые задачи поддержки принятия решений при борьбе с природными пожарами решены в 3D пространстве.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация П.С. Шаталова изложена на 134 страницах, структурно она состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, содержащего 164 источника, и пяти приложений. Оформление диссертации соответствует требованиям, предъявляемым к работам на соискание ученой степени кандидата технических наук.

**В первой главе** рассмотрены основные нормативные документы, регламентирующие деятельность по пожароуправлению в нашей стране, проведен анализ структуры пожароуправления, выделены типовые задачи принятия решений при пожароуправлении.

**Во второй главе** проведен обзор и классификация существующих математических моделей, используемых при принятии решений в системе пожароуправления, а также существующих программных средств прогнозирования динамики природных пожаров. Рассмотрен программный комплекс WFDS, который был выбран автором в качестве основы проведения его дальнейших исследований. Сформулированы выводы о целесообразности использования подсистемы WFDS-LS как достаточно эффективного средства при поддержке принятия решений по оперативному управлению борьбой с пожарами.

**Третья глава** посвящена методике уточнения существующих математических моделей природных пожаров путем проведения ряда компьютерных экспериментов в среде WFDS. В качестве примера приводится уточнение модели Мак Артура и создание на её основе новой математической модели. Рассмотрен принцип создания так называемой "гибридной модели", объединяющей в себе элементы как физической, так и эмпирической математических моделей, который позволяет существенно увеличить точность результатов прогнозирования, обладая при этом достаточным для оперативных целей быстродействием.

**В четвертой главе** предложены методы и алгоритмы получения данных о характеристиках природных горючих материалов на основе таксационных описаний лесов и спутниковых карт рельефа местности. Предложена модель "тонкого слоя горючего", в которой лесной покров рассматривается как однородный слой на поверхности Земли с усредненными характеристиками горючих материалов, что существенно упрощает построение прогнозов.

**Пятая глава** посвящена рассмотрению функциональных задач поддержки принятия решений по пожароуправлению, решаемых с помощью разработанных моделей и алгоритмов. Рассмотрены как задачи, связанные с противопожарным устройством лесов и безопасностью прилегающих к ним объектов, так и динамические задачи, связанные с взаимодействием человека с природным пожаром.

**В приложениях** приведено полное описание математической модели системы WFDS, характеристики растительных горючих материалов, а также документы об использовании результатов диссертации.

**Основные результаты** диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Разработана методика уточнения эмпирических математических моделей природных пожаров путем проведения ряда компьютерных экспериментов и обработки полученных данных. В качестве базовой

компьютерной системы моделирования предложено использовать программу WFDS.

2. Разработан гибридный алгоритм, позволяющий совместно использовать элементы физических и эмпирических моделей. Программная реализация программы, созданной на основе WFDS, показала эффективность, сопоставимую с эффективностью физической модели, при существенно возросшей скорости вычислений.
3. Разработаны алгоритмы получения информации о горючих материалах и ландшафте местности на основе обработки спутниковых снимков рельефа, снимков лесов и таксационных описаний.
4. Решен ряд задач по поддержке принятия решений при пожароуправлении.

**Научная новизна** заключается в следующем:

1. Впервые предложен метод уточнения параметров экспериментальных моделей природных пожаров отличающийся тем, что дорогостоящие натурные эксперименты заменены компьютерным моделированием в системе WFDS, что позволило повысить точность моделирования без серьезных затрат.

2. Впервые предложена методика создания гибридных моделей, объединяющая возможности экспериментальных и аналитических систем, что позволяет повысить точность моделирования при сохранении достаточного быстродействия. Методика продемонстрирована на примере учета в экспериментальной модели эффекта турбулентности локальных воздушных потоков перед фронтом пожара, рассчитанного с помощью аналитической модели.

3. Впервые решена комплексная задача по созданию информационной основы для моделирования растительных пожаров, включающая следующие элементы:

- Разработан алгоритм оценки параметров растительного горючего по данным таксационного описания лесных участков, что позволило привязать систему WFDS к отечественной системе лесоустройства.
- Предложена «модель тонкого слоя» (граничная модель), при которой характеристики горючего оцениваются на основе космических снимков лесных территорий и карт лесов, что необходимо для моделирования крупных природных пожаров.
- Разработан алгоритм получения входных данных о топографии местности для системы WFDS на основе свободно распространяемых

цифровых моделей высот (Digital Elevation Model - DEM) со спутников SRTM и ASTER GDEM.

4. Впервые на основе физически обоснованных моделей в 3D-пространстве предложены алгоритмы по поддержке принятия управленческих решений в ряде задач пожароуправления:

- Преодоление пожаром противопожарных разрывов
- Определение теплового потока от природного пожара, действующего на объект инфраструктуры;
- Оценка времени достижения природным пожаром населенного пункта;
- Определение путей локализации пожара противопожарными командами;
- Расчет безопасных путей эвакуации людей из зоны природного пожара.

**Достоверность результатов** диссертационной работы определяется хорошим знакомством автора с современным состоянием исследований в выбранной области, грамотной постановкой задач исследования, корректным использованием математического аппарата и современных программных средств, совпадением результатов математического моделирования с экспериментальными данными.

**Практическую значимость** работы представляют методика уточнения экспериментальных моделей природных пожаров путем компьютерного эксперимента; гибридный алгоритм моделирования динамики пожара и его программная реализация на основе WFDS; алгоритмы получения входных данных о растительном горючем и ландшафте местности, применимые в WFDS; модель тонкого слоя; решения основных задач пожароуправления с применением разработанных алгоритмов, реализованных в программном коде WFDS.

Показателем значимости работы П.С. Шаталова является включение его результатов в проект 1.6 «Разработка математических моделей, алгоритмов и программного обеспечения для прогнозирования и расчета параметров крупных и катастрофических природных пожаров на территории Российской Федерации» по программе фундаментальных исследований Президиума РАН №18 «Алгоритмы и математическое обеспечение для вычислительных систем сверхвысокой производительности», а также использование материалов диссертации в учебном процессе Сибирской пожарно-спасательной академии и Сибирского государственного технологического университета.

Результаты диссертации опубликованы в 14 статьях, из которых 4 помещены в журналах из списка изданий, рекомендуемых ВАК для публикации результатов кандидатских и докторских диссертаций. Апробация

работы состоялась на 14 международных и всероссийских конференциях. Работа П.С. Шаталова написана грамотно, хорошо оформлена и проиллюстрирована.

Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

**Замечания** по диссертационной работе П.С.Шаталова.

1. Автор использует понятие «точность моделирования», не всегда поясняя, что при этом имеется в виду: то ли совпадение с натурными наблюдениями, то ли совпадение с результатами расчета по точной модели.

2. Метод построения «гибридных» моделей, которые относятся к одному из важных результатов автора, описан, на наш взгляд недостаточно подробно.

3. В четвертой главе автор описывает алгоритм получения исходных данных о ландшафте на основе цифровых моделей высот (Digital Elevation Model). Приводится пример работы алгоритма на спутниковых снимках территории Красноярского края, где разрешение составляет 30х30 метров. Следовало бы проанализировать необходимое пространственное разрешение снимков в зависимости от требуемой точности расчета контура пожара.

4. В четвертой главе в описании «тонкого слоя горючего» не приводится список параметров горючих материалов, задаваемых в WFDS при расчетах.

5. В пятой главе, которая наиболее близка к профилю специальности, по которой защищается работа, автор, на наш взгляд, увлекся численным моделированием и недостаточно уделил внимания постановкам и исследованию задач. Так, в задачах по моделированию локализации пожара и эвакуации людей из опасной зоны не рассмотрены вопросы о разрешимости задач, о необходимом и достаточном соотношении скоростей фронта пожара и противопожарных команд для успешной борьбы с пожаром.

6. В работе имеется ряд опечаток (стр.56, 109).

Сделанные замечания не влияют на положительную оценку работы в целом.

**Заключение.** Диссертация «Система поддержки принятия решений по управлению природными пожарами с использованием высокопроизводительных вычислительных систем и данных космического мониторинга» представляет собой законченное научное исследование, соответствующее требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, соответствует положениям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 ( ред. от 30.07.2014). Автор диссертации Шаталов Павел

