

## ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертацию Александра Ивановича Филькова  
***“Физико-математическое моделирование возникновения природных  
пожаров и исследование особенностей сушки, пиролиза и зажигания  
горючих материалов”***,

представленную на соискание ученой степени доктора физико-  
математических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и  
теоретическая теплотехника»

Диссертация А.И. Филькова представляет собой рукопись объемом 359 страниц, состоящую из введения, шести глав, заключения, списка использованной литературы, содержащего 248 наименований (в том числе, 94 на иностранных языках) и 8 приложений.

**Актуальность.** Проблема природных пожаров во всем мире приобрела масштабы, с которыми человечество столкнулось впервые. Особенно актуальна эта проблема для России, где сосредоточена почти треть мировых запасов леса. При этом проблема состоит не только в ликвидации возникающих пожаров, но охватывает и множество других аспектов, связанных как с оценкой пожарных рисков, предотвращением условий возникновения пожаров, так и с детектированием возникающих пожаров на основе космических средств, управлением противопожарными силами и средствами, с оценкой экономического ущерба, наносимого пожарами. В то же время, лесные пожары являются важным лесообразующим фактором, который необходимо учитывать как при разработке стратегии лесопользования, так и при изучении глобальных экосферных процессов, в частности, эмиссии углерода в атмосферу. Усилия по решению всего комплекса проблем, вызываемых природными пожарами, формулируется в настоящее время как пожароуправление.

Пожароуправление требует принятия множества решений на различных административных уровнях, для чего создаются соответствующие системы поддержки принятия решений, основанные, как правило, на использовании различных математических моделей и соответствующих информационных систем. В ряде стран созданы национальные системы, осуществляющие поддержку принятия решений при управлении пожарными ситуациями в лесах и других природных объектах.

Начиная с 90-х годов, произошло резкое сокращение ассигнований на охрану леса в России, что потребовало пересмотра стратегии и методов охраны лесов. В новых условиях еще более возрастает роль научного обоснования требуемого уровня противопожарной защиты и рационального использования имеющихся ресурсов.

Таким образом, актуальность работы А.И. Филькова, которая посвящена созданию и верификации физико-математических моделей, связанных как оценкой пожарной опасности в лесах, так и с описанием

процессов сушки и горения растительных материалов, в том числе торфа, не вызывает сомнений.

Рассмотрим кратко содержание диссертации.

**Во введении** обосновывается актуальность работы, формулируется ее цель и задачи, указывается научная новизна и практическая значимость.

**В первой главе** проведен подробный анализ известных методов прогноза пожарной опасности в лесах, рассмотрены существующие в мире системы данного назначения. Рассмотрена также проблема прогноза пожарной опасности на торфяниках, показана необходимость изучения кинетики процессов сушки и горения и создания для этой цели физически обоснованных детерминированно-вероятностных систем.

**Вторая глава** посвящена разработке детерминированно-вероятностной методики прогноза пожарной опасности в лесу, основанная на использовании модели низкотемпературной сушки растительных горючих материалов. Созданная модель была протестирована на реальных данных и показала определенные преимущества по точности предсказания возникающих пожаров по сравнению с традиционной методикой.

**В третьей главе** рассмотрена детерминированно-вероятностная система прогноза пожарной опасности на торфяниках. Автором предложена физическая модель процесса сушки торфа. Эта модель была протестирована по данным о торфяных пожарах и показала более точное предсказание времени возникновения пожара.

**Четвертая глава** диссертации посвящена кинетическим исследованиям процесса сушки и пиролиза растительных горючих материалов. Рассмотрены постановка и решение обратной кинетической задачи для определения термокинетических параметров сушки степных горючих материалов, а также сушки и пиролиза торфа.

Исследование характеристик и особенностей горения природных горючих материалов выполнено **в пятой главе**. Автором на основе материалов полевых экспедиций проведено исследование плотности и неоднородности напочвенного покрова на скорость распространения низового лесного пожара. Также исследованы процессы зажигания древесных материалов и состав горящих частиц при растительном пожаре.

**В шестой главе** представлен ГИС-ориентированный программный комплекс для визуализации результатов прогноза возникновения и распространения лесных пожаров. Описаны состав и структура комплекса, функциональные блоки для прогноза пожарной опасности в лесах, степях и на торфяниках. Разработан также программный модуль для прогнозирования динамики контуров низового лесного пожара.

**В заключении** подведены итоги работы и перечислены полученные результаты.

**В приложениях** приводятся: акт об использовании результатов диссертации Департаментом лесного хозяйства Томской области; справка о внедрении результатов работы в учебный процесс Томского университета, копия патента на изобретение «Испытательный комплекс для моделирования

лесных, степных и торфяных пожаров»; данные о свойствах лесного горючего для задачи прогнозирования пожарной опасности; данные об обнаружении возникших пожарах в Тимирязевском лесхозе Томской области; сравнение классов ПО по предлагаемой методике и методике Нестерова; данные о возникновении торфяных пожаров и теплофизических свойствах торфа в Бакчарском районе Томской области.

По мнению оппонента, **наиболее важными новыми научными результатами** диссертации являются следующие.

1. Разработаны физически обоснованные детерминировано-вероятностные методики прогноза лесных, степных и торфяных пожаров, учитывающие все известные причины, вызывающие возникновение этих пожаров, а также метеорологическую информацию и характеристики почвенного покрова. В результате ретроспективного анализа показано, что новые методики прогноза более точно указывают на день возникновения пожара.

2. Выполнены серьезные исследования, связанные с изучением пирологических свойств торфа. На примере исследования трех основных типов торфа показано, что ни масштаб образца, ни тип торфа не оказывают сильного влияния на кинетику процесса сушки.

3. Разработана однотемпературная математическая модель сушки слоя торфа, состоящего из сухого органического вещества, свободной и связанной воды, газовой фазы. Показано, что для получения оптимальной точности максимальная температура сушки не должна превышать 330 К, а время прогноза - одну неделю.

4. Изучен процесс воспламенения древесины под влиянием теплового излучения. Установлено, что начальная температура образца древесины однозначно влияет на время воспламенения образцов, но при потоке лучистой энергии свыше 1400 кВт/м<sup>2</sup> разница во времени воспламенения становится незначительной.

5. Изучены количество и характеристики (масса и размеры) образования горящих частиц, на примере натурального пожара на юге штата Нью-Джерси США. Установлено, что большинство частиц (от 70 до 89 %) были кусочками коры. Около 30 % всех частиц имели массу от 10 до 20 мг, 80 % - площадь поверхности в диапазоне  $(0-20) \times 10^{-5}$  м<sup>2</sup>. Количество частиц уменьшалось с увеличением их площади поверхности.

6. Создан ГИС-ориентированный программный комплекс, предназначенный для прогноза возникновения и распространения природных пожаров на примере двух районов Томской области.

Следует отметить большой объем фактического материала о пожарной опасности и возникших лесных пожарах в одном из регионов Томской области, что подтверждает достоверность выводов диссертанта о качестве прогнозирования этого показателя.

Достоверность выводов о пирологических свойствах торфа наряду с результатами математического моделирования подтверждается также многочисленными экспериментальными данными.

Интерес представляют также результаты исследования горящих частиц, образующихся при лесном пожаре, которое было проведено автором в США совместно с американскими специалистами.

Достоверность результатов работы в целом определяется глубоким знанием предметной области, знакомством с современными публикациями как отечественных, так и зарубежных специалистов, умением ставить и решать задачи моделирования процессов тепло- и массообмена, а также большим числом проведенных экспериментальных исследований.

Результаты диссертации изложены в двух монографиях и 51 статье, из которых 18 опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертаций. Апробация работы осуществлялась на многочисленных международных и Всероссийских конференциях. Автор участвовал в выполнении 18 грантов и федеральных целевых программ, причем в 9 из них являлся руководителем. Сказанное характеризует А.И. Филькова как сложившегося эффективно работающего научного работника.

Работа написана ясным языком (несмотря на отдельные опечатки), хорошо оформлена. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

**В качестве замечаний** по диссертации хотелось бы отметить следующее.

1. По мнению оппонента, автор не вполне корректно использует термин «вероятность возникновения пожара». Дело в том, что на охраняемой площади за определенное время может не возникнуть ни одного пожара, может возникнуть один пожар, два пожара и т.д. Таким образом, число возникающих пожаров представляет собой случайную величину, принимающую дискретные значения 0, 1, 2, ... с соответствующими вероятностями  $p_0, p_1, p_2, \dots$ , и их-то и нужно определять при прогнозировании пожарной опасности. Что касается данной работы, то, на наш взгляд, правильной было бы говорить о вероятности возникновения хотя бы одного пожара, которая равна  $1 - p_0$ .

2. Представляется сомнительной формула (1.54) на стр. 116, поскольку при большом числе участков леса  $N$  вероятность  $P_j$  может оказаться больше единицы.

3. В работе предложены методы и модели для оценки пожарной опасности и возможности возникновения пожаров в лесах и на торфяниках. Эти методы позволяют более точно предсказывать возникновение пожара по сравнению с показателем В.Г. Нестерова. Но автор не оценивает трудоемкость практического использования этих методик, поскольку для этого требуется знание большого числа физических параметров лесного горючего и внешней среды для каждого лесного участка, получение которых на практике достаточно проблематично. Кроме того, нельзя сказать, что показатель Нестерова совсем лишен физического смысла: в него входят накопленная сумма произведений дневной температуры на дефицит влажности воздуха, что характеризует движущую силу процесса сушки. Поэтому показатель

Нестерова и разработанные на его основе показатели влажности ПВ1 и ПВ2 продолжают использоваться в пожароуправлении лесами благодаря своей простоте и достаточной эффективности.

Следует отметить, что данные замечания не носят принципиального характера и не снижают ценности работы.

### Заключение

Из вышеизложенного следует вывод о том, что диссертация А.И. Филькова представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, которая вносит значительный вклад в область теоретической теплотехники, связанной с изучением физико-химических процессов, происходящих при лесных пожарах, и имеет важное социально-экономическое и хозяйственное значение.

Работа соответствует критериям 9 – 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. N 842, а ее автор Александр Иванович Фильков заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Официальный оппонент

Заведующий кафедрой системотехники

Сибирского государственного технологического университета,

доктор технических наук, профессор



Г.А. Доррер

Составитель Доррер Георгий Алексеевич

660049, г. Красноярск, пр. Мира, д. 82

Тел. раб. 8 (391) 227-63-89,

Email: g\_a\_dorrer@mail.ru