

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, доктора физико-математических наук, профессора Б.В. Алексеева

на диссертацию Филькова Александра Ивановича

«ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СУШКИ, ПИРОЛИЗА И ЗАЖИГАНИЯ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ»,

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

Диссертационная работа А. И. Филькова «Физико-математическое моделирование возникновения природных пожаров и исследование особенностей сушки, пиролиза и зажигания горючих материалов» посвящена решению трех проблем: 1) построение математических моделей сушки горючих материалов, 2) исследование вероятностных моделей прогноза природной пожарной опасности, 3) экспериментальное исследование кинетики сушки и пиролиза горючих материалов.

Исследование охватывает широкие диапазоны изменения параметров природной среды, в частности, действия сухих гроз и условий погоды. Это положительно отличает данную работу от работ предшествующих авторов, которые, как правило, исследовали частные или модельные случаи.

Актуальность и значимость проблемы. Работа актуальна, прежде всего, для прогноза пожарной опасности при осложняющих природных факторах и антропогенных нагрузках. Приложения содержат акты внедрения результатов диссертационной работы, включая геоинформационный программный комплекс прогноза возникновения и распространения природных пожаров на примере Жуковского лесничества и Бакчарского района Томской области.

Содержание работы. Работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка цитированной литературы и восьми приложений. В первой главе содержится краткий обзор литературы по теме диссертации, методик прогноза лесной и торфяной пожарных опасностей, а также общих методов прогноза катастроф.

Главы 2 и 3 содержат детерминировано-вероятностные методики прогноза лесной и торфяной пожарной опасности. Методики базируются на решении одномерных нестационарных уравнений теплопроводности при наличии осложняющих факторов (см.

стр. 138 и стр. 172). Локальные уравнения содержат первые производные по времени и вторые производные по координатам.

Вообще говоря, использование локальных кинетических и гидродинамических моделей может приводить к принципиальным трудностям в теории процессов переноса. По мнению оппонента прежде, чем приводить расчетные данные, необходимо было бы обсудить точность и пределы применимости использованной локальной физической модели, а также привести полную математическую формулировку поставленной задачи. Обсуждение этих вопросов содержится в моем отзыве в разделе «Обоснованность выводов».

Глава 4 содержит решение обратных задач аэротермохимии для определения термокинетических постоянных. На примере исследования трех основных типов торфа показано, что ни масштаб, ни тип торфа не оказывают сильного влияния на кинетику процесса сушки. Однако, (вывод 6, стр. 226) исследование пиролиза различных видов торфа показало, что масштаб образца торфа влияет на кинетику пиролиза и может приводить к увеличению энергии активации. В частности, еще в начале шестидесятых годов (см. Б.В. Алексеев. «Пограничный слой с химическими реакциями» Изд. Вычислительного Центра АН СССР, 1967 г.) было установлено, что изменение пористости может приводить к изменению эффективного коэффициента  $A$  в формуле Герца-Кнудсена (4.2) в самых широких пределах.

В главе 5 реализовано исследование характеристик особенностей горения природных горючих материалов для конкретных районов Томской области. Доказано на примере двух районов Томской области, что предложенные методики прогноза лесной, степной и торфяной пожарной опасности позволяют получать более достоверную информацию о прогнозе пожаров с учетом действия сухих гроз, антропогенной нагрузки и метеорологических факторов, чем использование стандартной методики ГОСТ Р 22.1.09-99, основанной на формуле Нестерова.

Отметим, что автор диссертации исследует также особенности пожаров в США. В частности, 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, и только несколько из них более 0,1 г. Около 80 % всех частиц имели площадь поверхности в диапазоне  $(0-20) \times 10^{-5} \text{ м}^2$ . Количество частиц уменьшалось с увеличением их площади поверхности.

Глава 6 содержит программный комплекс для визуализации в геоинформационных системах результатов прогноза возникновения и распространения лесных пожаров. Важно

отметить, что программный комплекс носит дружественный, по отношению к пользователю, характер и легко может быть использован сотрудником, не являющимся специалистом в прикладной математике.

Обоснованность выводов. Автор использует математические вычислительные модели в рамках локальных статистических теорий. Мои последующие замечания относятся, прежде всего, к общему состоянию локальных неравновесных статистических теорий. Легко понять (на примере взаимодействия частиц – твердых сфер), почему учет нелокальных эффектов приводит к поправкам пропорциональным средней длине пробега между столкновениями. Представим себе физически малый объем ( $\Phi MO_1$ ) – контрольный контур, в котором по предположению локальных статистических теорий, устанавливается локальное термодинамическое равновесие. Больцмановские, точечные, частицы во время движения могут находиться либо внутри, либо снаружи этого контура. Частицы конечного диаметра в некоторый момент времени могут перекрывать границу контура, приводя к флуктуациям массы (а, следовательно, и других гидродинамических величин) в контуре. Более того, частица, испытавшая последнее столкновение в упомянутом  $\Phi MO_1$  и направляющаяся в соседний  $\Phi MO_2$ , вносит информацию о функции распределения и ее моментах в  $\Phi MO_2$  и наоборот. Очевидно этот эффект будет существовать при любом разбиении макроскопической системы на  $\Phi MO$ , а величина эффекта определяется средним временем между столкновениями и временным квантовым пределом теории. Физически бесконечно малый объем ( $\Phi MO$ ) есть *открытая* термодинамическая система при любом разбиении макроскопической системы набором  $\Phi MO$ . Но уравнение Больцмана (УБ)

$$Df/Dt = J^B(f), \quad (1)$$

где  $D/Dt$  есть субстанциональная производная, полностью игнорирует нелокальные эффекты и содержит только локальный интеграл столкновений  $J^B$ . Указанные нелокальные эффекты несущественны только в равновесных системах, где кинетический подход переходит в методы статистической механики. Отсюда и проистекают трудности классической больцмановской физической кинетики. Слабым местом классической больцмановской кинетической теории является и трактовка динамических свойств взаимодействующих частиц. С одной стороны, как следует из так называемого «физического» вывода УБ, больцмановские частицы рассматриваются как материальные точки, с другой стороны – интеграл столкновений в УБ приводит к появлению сечений столкновений. Строгий подход к выводу кинетического уравнения относительно одночастичной функции распределения ( $\Phi P$ )  $f(KU_f)$  основан на использовании

иерархии уравнений Боголюбова. Структура  $KU_f$ , вообще говоря, выглядит следующим образом

$$Df/Dt = J^B + J^{nl}, \quad (2)$$

где  $J^{nl}$  - нелокальный интегральный член. В обобщенной бoльцмановской физической кинетике предлагается аппроксимация для второго интеграла столкновений

$$J^{nl} = D/Dt \left( \tau Df/Dt \right), \quad (3)$$

где  $\tau$  есть среднее время *между* столкновениями частиц, которое в гидродинамическом приближении связано с вязкостью  $\eta$  и давлением  $p$ ,  $p\tau = \Pi\eta$ , где множитель  $\Pi$  определяется моделью столкновения частиц, для нейтрального газа твердых сфер  $\Pi \approx 0.8$ . В общем случае  $\tau$  есть параметр нелокальности. К аппроксимации (3) приводят все известные методы вывода кинетического уравнения относительно одночастичной ФР, в том числе метод многих масштабов, метод корреляционных функций, итерационный метод. Например, в теории корреляционных функций дополнительный (по сравнению с УБ) член соответствует локальной аппроксимации нелокального интегрального столкновительного члена. Указанные нелокальные эффекты могут трактоваться с позиций нарушения неравенств Белла в локальных статистических теориях, поскольку введение ФМО неизбежно приводит к влиянию измерения в  $\Phi MO_1$  на измерение в  $\Phi MO_2$  и наоборот. Отметим, что нарушение неравенств Белла обнаружено в экспериментах. Это означает, что неравновесная локальная статистическая теория может приводить лишь к «правдоподобным» (даже не «минимальным») моделям и переход к физике будущего означает переход к нелокальной физике.

В частности, обобщенная гидродинамика приводит к строгой теории турбулентности вообще и к явной записи колмогоровских мелкомасштабных флуктуаций в частности. «Классическое» уравнение теплопроводности с постоянным коэффициентом теплопроводности приводит к бесконечной скорости распространения тепла. Нелокальные уравнения гидродинамики содержат вторые производные по времени, а также перекрестные члены «время-координаты», что может приводить к изменениям в скорости прогрева материала. Подробное изложение нелокальной неравновесной статистической физики и ее приложений в гидродинамике содержится в монографии (B.V. Alexeev, Generalized Boltzmann Physical Kinetics. Elsevier, 2004. См. также:

1. Alexeev B.V. Generalized Quantum Hydrodynamics and Principles of Non-Local Physics. Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics, Vol.3, 143-158, 2008.

2. Alexeev B.V. Application of Generalized Quantum Hydrodynamics in the Theory of Quantum Soliton's Evolution. Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics, Vol.3, 316-328, 2008.
3. Alexeev B.V. Generalized Theory of Landau Damping. Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics, Vol.4, 186-199, 2009.
4. Alexeev B.V. The Generalized Theory of Landau Damping in Collisional Media. Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics, Vol.4, 379-393, 2009).

Многолетняя практика использования уравнений нелокальной физики обнаруживает удивительную закономерность – во многих случаях результаты, найденные в рамках локальных и нелокальных теорий близки; но там, где локальная теория приводит к «провальным» результатам (например, в теории турбулентности и теории темной материи и энергии) нелокальная теория немедленно исправляет ситуацию. Вместе с тем математическое моделирование пожаров приводит к необходимости введения многих эмпирических параметров с заведомо невысокой точностью. Тем не менее, автором диссертации разработана однотемпературная математическая модель сушки слоя торфа, состоящего из сухого органического вещества, свободной и связанной воды, газовой фазы, которая позволяет осуществлять прогноз динамики влагосодержания слоя торфа на одну неделю с приемлемой точностью. Поэтому использование нелокальных моделей следует рассматривать как пожелание для будущих исследований автора диссертации.

К достоинствам диссертации следует отнести полноту и конструктивный характер разработанных методов и алгоритмов, большое количество приложений, хорошо иллюстрирующих применение предложенных методов на практике. Работа хорошо оформлена, написана в целом хорошим литературным языком

В целом, можно сказать, что обширное и квалифицированное исследование А.И. Филькова представляет ценный материал для прогнозирования и предотвращения природных пожаров.

Замечания не влияют на общую положительную оценку проведенных в диссертации А.И. Филькова исследований за многолетний период его деятельности по указанной тематике. Основные результаты, полученные в диссертации, достаточно полно опубликованы в учебных пособиях и журналах, в том числе и в журналах из перечня ВАК, рекомендованных для публикации научных результатов докторских диссертаций. Автореферат достаточно полно отражает содержание и основные результаты диссертации.

Оценивая диссертационную работу А.И. Филькова в целом, можно сделать вывод, что она представляет собой законченный научный труд, посвященный решению крупной научной проблемы прогнозирования и предотвращения природных пожаров.

Считаю, что диссертационная работа «Физико-математическое моделирование возникновения природных пожаров и исследование особенностей сушки, пиролиза и зажигания горючих материалов» удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Фильков Александр Иванович, заслуживает присуждения ему степени доктора физико-математических наук по специальности по специальности 01.04. 14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

Официальный оппонент

Заведующий кафедрой физики Московского государственного университета тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова,  
заслуженный деятель науки и техники РСФСР,

доктор физико-математических наук, профессор

Составитель Алексеев Борис Владимирович

119571, г. Москва,

проспект Вернадского, д. 86

Тел. раб. 8 (495) 247-16-56,

email: physics@mitht.ru



Б.В. Алексеев

Подпись

Б.В. Алексеев

УДОСТОВЕРЯЮ

Ученый секретарь

МИТХТ им. М.В. Ломоносова



*Handwritten signature of the academic secretary*  
04.09.2014г.