

# ОПИСАНИЕ ПРОГНОЗНО-РАСЧЕТНЫХ ЗАДАЧ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Антонов С.Ю.

Согласно Веберу [1], все математические модели лесных пожаров могут быть поделены на три группы: эмпирические (или статистические), полуэмпирические (или полуфизические модели), физические (или аналитические). Все системы оценки лесной пожарной опасности, применяемые в мире, используют либо эмпирические, либо полуэмпирические модели.

Эмпирические модели не используют никакого физического моделирования для описания теплопереноса из зоны горения в еще нетронутый огнем участок. Эмпирические формулы были выведены из анализа накопленных данных о пожарах и погодных условиях. На базе их были построены, например, канадская и австралийская системы оценки лесной пожарной опасности.

В основе системы оценки лесной пожарной опасности в Австралии широко используются индексы МкАртура [2-3], которые были разработаны и апробированы в юго-восточной Австралии. Показатель лесной пожарной опасности FFDM рассчитывается на основе температуры, относительной влажности, скорости ветра, запаса ЛГМ, наклона поверхности и фактора сухости. Показатель FFDM позволяет предсказывать вероятность возникновения пожара, скорость его распространения, его интенсивность, трудность подавления. На основе индекса FFDM исследовательская группа CSIRO по лесным пожарам разработала компьютерную систему SiroFire (2004) - приложение поддержки принятия решений для PC-компьютера [4-5].

Исследования в области эмпирического моделирования в Канаде привели к модели прогноза лесной пожарной опасности FBP. Она вместе с погодным индексом FWI входит в состав Канадской системы оценки лесной пожарной опасности (CFFDRS). Погодный индекс FWI зависит от других индексов, которые рассчитываются через температуру, относительную влажность, скорость ветра и осадки. Подсистема FBP имеет в качестве входных данных: тип ЛГМ, скорость ветра и направление, топографию, расположение Солнца (высоту, широту, долготу и дату), истекшее время и точку или линию возгорания, а также индексы из FWI. Эта подсистема выдает скорость распространения, расход ЛГМ, интенсивность фронта пожара и др. прогнозную информацию. Система CFFDRS является одной из самых разработанных и широко применяющихся схем. Кроме Канады, ее адаптировали для своих территорий Новая Зеландия, Фиджи, Мексика, Аляска, Флорида и в странах юго-восточной Азии. Оценки этой системы предприняты недавно в Хорватии, России, Чили и штате Мичиган (США).

Российская система оценки пожарной опасности использует метеорологический показатель Нестерова, который тоже является примером эмпирической модели. Комплексный метеорологический индекс Нестерова [4], использует данные региональных метеостанций и определяется через

температуры воздуха и точки росы в 13 ч 15 ч местного времени текущего дня и коэффициент учета осадков. Недостатком подхода Нестерова является то, что в ней учитываются только метеорологические показатели и не учитываются реальные физические процессы, происходящие в слое ЛГМ, поэтому не всегда класс пожарной опасности, вычисленный по индексу Нестерова, соответствует реальному классу. Другим недостатком является тот факт, что этот индекс нельзя применить на обширных малонаселенных территориях, на которых сеть метеостанций редка или отсутствует совсем.

Таким образом, использование эмпирических моделей в экосистемах, для которых они были созданы, было чрезвычайно успешным, но для других экосистем они, как правило, работают плохо. Отсутствие физической основы подчеркивает изначальную неадекватность эмпирических моделей; они не могут быть экстраполированы за пределы тех условий, для которых были созданы.

Полуэмпирические модели комбинируют методики статистики и физического моделирования. Эти модели характеризуются тем, что они постулируют тепловой поток, необходимый для зажигания лесных материалов, без строго рассмотрения как режима передачи тепла, так и механизма поглощения тепла (теплопередача, конвекция или излучение). Различные константы, отвечающие за изменение теплового потока и поглощение, обычно выводятся экспериментально.

Наиболее важная полуэмпирическая модель была создана Ротермелом [5], которая положена в основу многих систем прогноза в США и в других странах. Модель была разработана для предсказания скорости распространения огня во фронте пожара в зависимости от типа ЛГМ, погодных условий и особенностей рельефа. Входные данные для модели Ротермел делит на три типа:

- 1) свойства частиц ЛГМ (теплосодержание, минеральное содержание, плотность частиц),
- 2) структура массива частиц ЛГМ (запас ЛГМ, средний размер частиц, средняя высота слоя),
- 3) параметры окружающей среды (скорость ветра, влагосодержание ЛГМ, наклон поверхности).

Национальная система оценки лесной пожарной опасности NFDRS (1972) и компьютерная система прогноза пожаров BEHAVE (1984) - обе основаны на модели Ротермела. Система BEHAVE представляла собой набор программ, написанных для операционной системы DOS. Затем было выпущено ее обновление в виде BehavePlus - с графическим интерфейсом для Windows и с другими добавлениями, касающимися верховых пожаров. На основе системы NFDRS были выпущены другие компьютерные системы, например, FarSite [6]. Совместно с моделью Ротермела часто используется модель Байрама [47].

Она дает интенсивность фронта пожара (кВт/м) на основе удельной теплоты ЛГМ (Дж/г), запаса ЛГМ (г/м<sup>2</sup>) и скорости распространения огня (м/с). Модели Ротермела и Байрама были использованы в широком диапазоне

экосистем и лесных горючих материалов: Северной Америке, Южной Африке, Южной Франции и Австралии. Было замечено, что точность предсказания по модели Ротермела в простых системах лугов и саванн была разумной в широком диапазоне параметров. В то же время, значительные проблемы возникали в более сложных по структуре экосистемах.

Работающие на службе в настоящий момент модели распространения пожаров являются либо эмпирическими, либо полуэмпирическими. Вебер [1] замечает, что на многие ключевые вопросы о пожаре не могут быть найдены ответы в рамках таких моделей, так как они часто характерны именно для тех условий, в которых они были разработаны.

Особый интерес представляет модель Гришина А.М. [6], который предложил модель лесных пожаров с учетом течения в пограничном слое атмосферы, базирующуюся на основных физических и химических процессах нагревания, сушки, пиролиза и горения.

Физические модели лесных пожаров

Классификация математических моделей лесных пожаров может быть проведена по-разному. Например, возможна следующая классификация моделей:

1. Определяющие количественные параметры пожара, такие как скорость распространения и интенсивность пожара;
2. Предсказывающие окончательные контуры пожаров и площади распространения.

В работе А.М. Гришина [6] все математические модели лесных и торфяных пожаров разбиты на четыре группы:

1. модели прогноза скорости распространения лесного пожара;
2. модели прогноза контуров лесного пожара;
3. модели прогноза характеристик течения, тепло- и массопереноса во фронте и зоне пожара;
4. общие математические модели, в рамках которых могут быть предсказаны все характеристики (скорость распространения, контур лесного пожара, поля температур, концентраций компонентов и скоростей) во фронте и в зоне лесного пожара.

Последние десятилетия активно развивается математическое моделирование лесных пожаров и разрабатываются новые методы их прогноза. Во многих странах существуют свои собственные методы их прогноза. По проблеме моделирования и прогнозирования лесных пожаров было издано несколько книг, в числе самых недавних [1], [5].

Физико-математическая теория лесных пожаров.

#### Литература.

1. Сухинин А.И. Система космического мониторинга лесных пожаров в Западной Сибири. // Сибирский экологический журнал. 2016. Т.3. № 1. С.85-91.

2. Егоров В.А., Ильин В.О., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Флитман Е.В. Возможности построения автоматизированных систем обработки спутниковых данных на основе программного комплекса XV\_SAT, //Сборник научных статей, Москва, Полиграф сервис, 2004 – С. 431-436.

3. Барталев С.А., Егоров В.А., Лупян Е.А. Картографирование повреждений пожарами бореальных экосистем по данным спутниковых наблюдений // Сборник тезисов докладов. 31- я Конференция по глобальному мониторингу для устойчивого развития и безопасности ISRSE., Санкт-Петербург, 2017, CD-ROM.

4. Коровин Г.Н., Андреев Н.А. Авиационная охрана лесов. // М.: Агропромиздат. 2010, 220 с.

5. Абушенко Н.А., Е.В. Флитман. Система сбора, обработки и доставки спутниковых данных для решения оперативных задач службы пожароохраны лесов России. Научные технологии. 2015. т. 1. № 2. 4-18 с.

6. Справочник потребителя спутниковой информации / Под ред. Асмуса В.В., Милехина О.Е.. СПб.: Гидрометеиздат, 2012. 168 с.